



Rapport final

Evaluation de l'impact sur la végétation de Forêt nord d'une exposition aiguë et ponctuelle de SO₂ atmosphérique le 25 mai 2021

Auteur : BOTA ENVIRONNEMENT et JIDAI
Editeur : OEIL

Date : septembre 2022



Observatoire de l'environnement
en Nouvelle-Calédonie

tel : 23 69 69
www.oeil.nc

TABLE DES MATIERES

Chapitre I - CONTEXTE	8
I.1. Problématique générale	8
I.2. Mesures prises à partir de 2012	8
I.3. Incident du 25 mai 2021	8
Chapitre II - OBJECTIFS ET CALENDRIER	10
II.1. Objectifs.....	10
II.2. Calendrier	10
Chapitre III - METHODOLOGIE	10
III.1. Mission initiale de juillet 2021.....	10
III.1.1. Définition des points méthodologiques principaux	11
III.1.2. Identification des limites spatiales du périmètre impacté	11
III.1.3. Identification des espèces végétales touchées par une exposition au SO ₂	12
III.1.4. Mise en place d'un dispositif de suivi de l'impact de l'exposition au SO ₂	15
III.1.5. Discussion des résultats au regard du fonds documentaire	18
III.2. Missions complémentaires de mai-juin 2022.....	18
III.2.1. Confirmation des limites spatiales du périmètre impacté	18
III.2.2. Vérification de la reprise de la végétation sur les transects	21
Chapitre IV - RESULTATS.....	22
IV.1. Identification des limites spatiales du périmètre impacté.....	22
IV.1.1. Mission initiale de juillet 2021	22
IV.1.2. Missions complémentaires de mai 2022.....	27
IV.2. Identification des espèces végétales touchées par une exposition au SO₂	29
IV.2.1. Similitudes & différences d'observation	29
IV.2.2. Cas de <i>Codia nitida</i>	31
IV.2.3. Symptômes très marqués sur <i>Codia discolor</i>	31
IV.2.4. Mortalité.....	32
IV.3. Mise en place d'un dispositif de suivi de l'impact de l'exposition au SO ₂	32
IV.3.1. Mission initiale de juillet 2021	32
IV.3.2. Missions complémentaires de mai 2022.....	37
Chapitre V - DISCUSSION	48
V.1. Analyse du dépérissement observé sous le vent de l'usine.....	48

V.2. Analyse au regard du suivi de la qualité de l'air.....	53
V.3. Discussion relative aux tests de fumigation en conditions contrôlées	54
V.4. Analyse au regard du suivi par télédétection de trois MFIP	54
Chapitre VI - CONCLUSIONS GENERALES & RECOMMANDATIONS	56
VI.1. Périmètre impacté.....	56
VI.2. Espèces touchées	57
VI.3. Suivi sur les transects	57
VI.4. Discussions au regard du fonds documentaire	58
VI.5. Recommandations	58
Chapitre VII - ANNEXES.....	61
VII.1. Bibliographie	61
VII.2. Évaluation initiale par PRNC du périmètre impacté.....	62
VII.3. Caractérisation de la végétation aux abords des transects	63
VII.4. Photographie des symptômes foliaires sur différentes espèces - juillet 2021	64
VII.5. Discussion au regard du suivi de la qualité de l'air	68
VII.6. Discussion relative aux tests de fumigation en conditions contrôlées	71
VII.7. Comparaison photographique des individus suivis (2021-2022)	74
VII.8. Données brutes de suivi des transects (2021-2022)	125

Résumé exécutif

Titre de l'étude	Evaluation de l'impact sur la végétation de Forêt nord d'une exposition aiguë et ponctuelle de SO ₂ atmosphérique le 25 mai 2021		
Auteurs	BOTA ENVIRONNEMENT – Dr. Alexandre Lagrange et Pascal Ehret JIDAI – Edouard Bourguet		
Collaborateurs	JIDAI – Jade Nizet et Louka Delaire		
Editeurs	OEIL		
Année d'édition du rapport	Juillet 2022	Année des données	

Objectif	<p>Mission de juillet 2021</p> <p>Les objectifs de l'étude commanditée par l'OEIL en juillet 2021 sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none">• Identifier des limites spatiales du périmètre impacté par les symptômes foliaires ;• Identifier la liste des espèces touchées ;• Définir et mettre en œuvre un protocole de suivi de terrain permettant de disposer d'éléments qualitatifs et quantitatifs concernant les perturbations sur les individus. <p>L'atteinte de ces objectifs ayant pour but de :</p> <ul style="list-style-type: none">• Discuter les résultats obtenus au regard des résultats fournis par PRNC ;• Émettre des recommandations générales autour du suivi de la végétation impactée par le SO₂ ; <p>Mission de mai -juin 2022</p> <p>Le bureau d'étude Bota environnement a de nouveau été sollicité par l'OEIL en mai et juin 2022 pour réaliser une deuxième prestation de service comprenant deux missions de terrain supplémentaires, dont les objectifs sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none">• S'assurer d'une reprise de la végétation sur les mêmes transects que ceux mis en place en juillet 2021 ;• Confirmer la délimitation du périmètre impacté par le pic de SO₂ du 25 mai 2021, étant donné que cet objectif n'avait pu être rempli en totalité lors de la première mission.
Contexte	<p>Suite au dépérissement d'une forêt de chêne gomme constaté à l'ouest de l'usine en 2010, zone majoritairement impactée en raison de l'orientation des vents dominants (de secteur sud-est), un suivi symptomatologique annuel de la végétation aux alentours du complexe industriel est engagé par PRNC à partir de 2012 dans le but de suivre les effets chroniques et de long terme du SO₂ sur la végétation. Ce dispositif de suivi a été complété en 2016 avec un dispositif de suivi quadrimestriel ciblant les secteurs qui ont présenté des symptômes lors des suivis annuels engagés depuis 2012.</p>

	<p>Le 25 mai 2021, Prony Ressources a redémarré son usine d'acide sulfurique ce qui a provoqué un pic de SO₂ dans l'atmosphère dans une direction inhabituelle (à l'est de l'usine), liée à l'orientation défavorable du vent (de secteur sud-ouest). Un premier diagnostic post-incident a été réalisé début juin 2021 par l'équipe Conservation du Service Préservation de l'Environnement de PRNC pour évaluer l'état de santé de la végétation et détecter d'éventuels symptômes caractéristiques d'une exposition aiguë et ponctuelle au SO₂.</p> <p>L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie (OEIL), dans le cadre de ses missions de surveillance et d'information, a sollicité le bureau d'étude Bota Environnement spécialisé en écologie des environnements terrestres et pour ses compétences en botanique, afin de réaliser son propre diagnostic post-incident sur la végétation et aussi d'apprécier les résultats des observations fournies par PRNC.</p>
<p>Méthodologie</p>	<p>Mission de juillet 2021</p> <p>Un parcours à pied géoréférencé réunissant les équipes de Bota Environnement, PRNC et l'OEIL a été réalisé afin d'identifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les limites spatiales du périmètre impacté par les symptômes foliaires • La liste des espèces impactées par ces mêmes symptômes foliaires • Des zones adaptées pour la mise en œuvre d'un protocole de suivi sur des transects. <p>Les botanistes de PRNC ayant développé une expertise pointue dans la reconnaissance des symptômes liés au SO₂, ils ont accompagné le botaniste de Bota environnement sur le terrain et l'ont aidé dans l'identification des symptômes spécifiquement liés au SO₂.</p> <p>Afin de préciser les limites hautes du périmètre impacté (où les symptômes sont plus difficilement observables du fait de la hauteur des formations de maquis), l'OEIL souhaitait initialement effectuer des prises de vues par drone de manière indépendante. La demande d'autorisation de vol formulée auprès de PRNC n'a cependant pas été délivrée. Toutefois, des images drone réalisées par PRNC et fournies à l'OEIL ont été analysées.</p> <p>La mise en place d'un dispositif de suivi qui servira d'état de référence pour évaluer les tendances d'évolution du phénomène de dépérissement, s'est déroulée en concertation avec l'équipe de botanistes de PRNC et de la façon suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sélection des zones les plus impactées (maquis arbustif bas à <i>Codia discolor</i>) plus ou moins proche de la source d'émission, avec réalisation d'inventaires floristiques au sein de ces zones ; • Mise en place de deux transects (un par zone) et sélection sur ces transects des espèces indicatrices les plus impactées (du genre <i>Codia</i>) ; • Réalisation de mesures sur les individus balisés permettant d'établir un état de référence du niveau d'impact subi selon 3 critères majeurs (la sévérité des symptômes foliaires, le % de défoliation, la présence ou l'absence de jeunes feuilles). <p>Enfin, les résultats obtenus sur le terrain ont été discutés au regard de la bibliographie existante, à savoir : les études et les suivis menés en lien avec le phénomène de dépérissement de la végétation observé sous le vent de l'usine depuis 2011, les tests de fumigations en conditions contrôlées</p>

	<p>effectués par PRNC entre 2013 et 2015¹ et les mesures de SO₂ atmosphérique effectuées par Scal'Air entre 2019 et 2021 et les mesures réalisées par télédétection sur trois massifs d'intérêt prioritaire, réalisées par Bluecham en 2020.</p> <p>Mission de mai - juin 2022</p> <p>La détermination du périmètre réellement impacté a été réalisée par l'équipe de Bota Environnement en parcourant à pied plus largement la zone potentiellement impactée, c'est-à-dire en allant au-delà du périmètre considéré comme impacté par PRNC.</p> <p>En ce qui concerne la vérification de la reprise sur les transects, elle a consisté à évaluer une seconde fois les individus balisés sur les deux transects à l'aide des mêmes critères d'évaluation que ceux utilisés lors de la première mission de terrain, complétés par des observations supplémentaires sur l'état de santé des jeunes feuilles (taille et forme).</p>
<p>Résultats et conclusions</p>	<p><u>Périmètre impacté</u></p> <p>Mission de juillet 2021</p> <p>Cette première mission de prospection a permis de conclure sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'existence de zones relativement sévèrement impactées par les symptômes foliaires liés au SO₂ atmosphérique (nécroses et défoliation), situées à l'est de l'usine sur la bande de végétation de maquis arbustif semi ouvert longeant la route d'accès à l'usine et sur le maquis arbustif ouvert le long du drain en lisière de la réserve de la Forêt Nord ; • Le fait que la zone de maquis arbustif haut et dense la plus éloignée de l'Usine est moins impactée que la zone de maquis arbustif ouvert proche de l'Usine. Ce différent degré d'impact pourrait s'expliquer par la différence de sensibilité des cortèges floristiques et/ou par une éventuelle diminution de la concentration de SO₂ en fonction de la distance à la source. <p>Mission de mai-juin 2022</p> <p>Cette seconde mission de prospection a permis de conclure sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un périmètre impacté allant au-delà des limites estimées par PRNC en juin 2021 ; • Une reprise constatée sur l'ensemble de la zone. <p><u>Impacts sur les espèces</u></p> <p>Mission de juillet 2021</p> <p>La liste des espèces touchées par symptômes foliaires à l'est de l'usine produite par Bota Environnement, qui recense 26 espèces, est très similaire à celle des botanistes de PRNC. Les espèces les plus sévèrement touchées appartiennent au genre <i>Codia</i> (<i>Codia discolor</i> et <i>Codia</i></p>

¹ Selon une méthodologie développée par le Professeur Francis Murray, spécialiste de l'Université de Murdoch (Australie), référent de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) pour suivre les effets phyto-toxiques des pollutions atmosphériques industrielles sur les écosystèmes terrestres en Australie.

spatulata), espèces très fréquentes dans les maquis de la partie basse du secteur impacté. Ces deux espèces sont classées LC (Préoccupation mineure) selon l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) car très répandues sur les latérites en Nouvelle-Calédonie. Aucune mortalité sur les individus touchés par l'épisode du 25 mai 2021 n'a été observée.

Mission de mai-juin 2022

A l'issue de la seconde mission de terrain, aucune nouvelle espèce n'est venue se rajouter à la liste des espèces considérées comme impactées par l'incident au SO₂ du 25 mai 2021.

Résultats sur les transects

Mission de juillet 2021

L'étude des paramètres du protocole de suivi de l'impact du SO₂ atmosphérique sur la végétation montre que les individus de *Codia* suivis sont, dans une très large majorité, touchés par des symptômes de dépérissement liés au SO₂ (76 % d'individus suivis avec une défoliation et 88 % d'individus suivis avec des symptômes foliaires de SO₂). Ce dépérissement n'a cependant entraîné la mort d'aucun individu sur les transects de suivi.

Il semble que les individus suivis du transect 2 aient été davantage impactés que ceux du transect 1 au regard de l'indice de défoliation (64% des individus du transect 1, contre 97% des individus du transect 2) et de l'indice de présence/absence de jeunes feuilles (25% des individus du transect 1 possèdent des jeunes feuilles, contre seulement 14% des individus du transect 2), et ce malgré la position du transect 2, plus éloignée de 100 m de l'usine d'acide. L'état physiologique des individus et l'exposition en zone plus ouverte du transect 2 sont peut-être à l'origine des différences observées.

Mission de mai-juin 2022

Un an après l'épisode de pollution au SO₂, il est constaté une baisse du nombre d'individus présentant des symptômes foliaires et de la défoliation (72 % d'individus suivis avec une défoliation et 63 % d'individus suivis avec des symptômes foliaires de SO₂), signe d'une amélioration de la situation.

Un deuxième constat encore plus encourageant que le précédent est l'apparition de jeunes feuilles et bourgeons, donc d'une reprise, sur une très forte proportion des individus (90%). Par ailleurs, il est important de signaler que les 10 % d'individus ne manifestant toujours pas de signe de reprise n'étaient pas concernés par des impacts sévères liés au SO₂ en 2021 et 2022, ce qui laisse entendre que cette absence de jeunes feuilles/bourgeons est indépendante de l'épisode de pollution au SO₂ du 25 mai 2021.

Discussions au regard du fonds documentaire

La réflexion menée au regard du dépérissement sous le vent de l'usine semble confirmer que la végétation parviendrait à reprendre une activité biologique normale dans le cas d'absence de nouvelle perturbation.

La réflexion menée au regard des tests de fumigation, du suivi par télédétection et du suivi de la qualité de l'air n'a donné lieu à aucune conclusion. Les résultats de ces différentes études se

	<p>révèlent en effet difficilement comparables à ceux obtenus par Bota Environnement dans le cadre de cette étude.</p> <p><u>Conclusion</u></p> <p>A l'issue de cette étude, un certain nombre de recommandations ont été émises pour améliorer le dispositif de surveillance actuel des impacts du SO₂ atmosphérique sur la végétation alentours.</p>
<p>Limites de l'étude</p>	<p>Deux limites peuvent être évoquées en lien avec cette étude. Tout d'abord, la nécessité d'avoir recours à un appui de PRNC pour reconnaître les symptômes foliaires liés au SO₂, compte tenu de leur expertise reconnue dans ce domaine².</p> <p>Ensuite, le fait que l'OEIL n'ait pas eu la possibilité de réaliser de façon indépendante un vol de drone lors de la mission initiale (lorsque les symptômes étaient encore bien visibles sur le feuillage) et que les images drone de PRNC n'aient pas donné satisfaction pour réaliser une délimitation complète du périmètre impacté.</p>

² Les botanistes de PRNC ont été formés à la reconnaissance des symptômes caractéristiques d'une exposition au SO₂ atmosphérique par le professeur Francis Murray de l'Université de Murdoch (Australie).

Chapitre I - CONTEXTE

I.1. Problématique générale

Des phénomènes de dépérissement de la végétation liés aux dégagements de dioxyde de soufre atmosphérique (SO₂) sous le vent du complexe industriel de Prony sont décrits depuis 2011. Ces impacts sur la végétation concernent plus particulièrement l'état de santé de la forêt à chênes gommés sous le vent dominant du complexe.

La source de ce SO₂ atmosphérique peut être attribuée au stockage de soufre lors d'ignition, aux émissions de nuages au niveau des cheminées de l'usine d'acide sulfurique, ou à la centrale thermique de Prony Energie.

I.2. Mesures prises à partir de 2012

Le constat de ce phénomène de dépérissement a donné lieu à la mise en place dès 2012 par Prony Resources New Caledonia d'un suivi symptomatologique annuel de la végétation aux alentours du complexe industriel, dans le but de suivre les effets chroniques et de long terme que pourraient avoir les émissions ponctuelles et aiguës de SO₂ sur la végétation.

Ce dispositif de suivi a été complété en 2016 par un dispositif de suivi quadrimestriel ciblant les secteurs qui ont présenté des symptômes lors des suivis symptomatologiques annuels.

En parallèle, des suivis de la qualité de l'air ont été réalisés par Scal'air, avec d'une part des stations de surveillance qui mesurent les teneurs de SO₂ en continu, et d'autre part un dispositif de mesure du SO₂ par échantillonneurs passifs.

L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie (OEIL) a commandité en 2017 et 2018 des expertises d'analyse critique du suivi symptomatologique existant (IAC, 2017) ainsi que des expertises de vérification de la mise en œuvre du protocole du suivi (Bota environnement, 2018) afin de proposer des améliorations à ce suivi.

Un suivi annuel de l'état de santé de la canopée forestière par télédétection sur les massifs forestiers d'intérêt prioritaire est par ailleurs également géré par l'exploitant industriel et réalisé par la société Bluecham SAS (Vale NC, 2015).

I.3. Incident du 25 mai 2021

Suite au redémarrage de l'usine d'acide sulfurique sur le site de l'usine de PRNC le 25 mai 2021, un dépassement de la Valeur Limite d'Emission en SO₂ a été enregistré au niveau des cheminées. Comme après chaque incident de ce type, la DIMENC est informée de l'enquête menée et des actions correctives mises en place par PRNC, ce qui permet une amélioration continue des procédures.

En réponse à l'incident, l'équipe Conservation du Service Préservation de l'Environnement de PRNC a été sollicitée pour réaliser une évaluation de l'état de santé de la végétation et détecter d'éventuels symptômes foliaires caractéristiques d'une exposition aiguë et ponctuelle au SO₂ sous le vent de l'usine,

de direction sud-ouest au moment des faits. Cette investigation a été menée dans le cadre de la procédure particulière post-incident lié au SO₂ mise en place par PRNC après chaque incident de cette nature et indépendante du suivi annuel symptomatologique initié en 2012 défini précédemment.

Les zones de prospection ont été sélectionnées par les membres de PRNC en fonction de cette orientation du vent, et les lisières de Forêt Nord, « Forêt McCoy » et la végétation jouxtant le drain périphérique Nord, sous l'influence de ces vents dominants, ont donc été retenus (PRNC, juin 2021).

Une première évaluation symptomatologique a été réalisée les 2 et 3 juin par les botanistes de PRNC. Une seconde vérification symptomatologique par drone a été réalisée le 7 juin afin de compléter les observations des botanistes et préciser le périmètre de la zone impactée.

Selon le rapport réalisé par l'équipe Conservation de PRNC, un secteur (3,15 ha) de végétation de type maquis situé à l'est de l'usine (dont 2,25 ha de maquis dans la Réserve Spéciale Botanique de la Forêt Nord, aire protégée de la province Sud) présente des individus avec des signes de symptômes foliaires caractéristiques d'une exposition aiguë au SO₂. Ces impacts liés au SO₂ sur le feuillage de différentes espèces se traduisent par des chloroses bronze et des nécroses sur les surfaces foliaires, ainsi que, sur certaines espèces, une chute prématurée des feuilles (défoliation), qui s'accumulent alors à la base des arbres.

Ce même rapport signale que 25 espèces différentes seraient impactées par les symptômes foliaires liés au SO₂, avec deux espèces particulièrement touchées : *Codia discolor* et *Codia nitida*.

Chapitre II - OBJECTIFS ET CALENDRIER

II.1. Objectifs

L'OEIL, dans le cadre de ses missions de surveillance et d'information, a sollicité le bureau d'études Bota Environnement, spécialisé en écologie des environnements terrestres calédoniens, et opérant en collaboration avec JIDAI depuis avril 2022 (bureau d'études généraliste spécialisé en environnement) afin de caractériser de manière indépendante les perturbations sur les espèces végétales suite à l'incident du 25 mai 2021 et d'évaluer l'état de santé de la végétation. JIDAI a mobilisé son équipe pour remplacer le Dr. Lagrange.

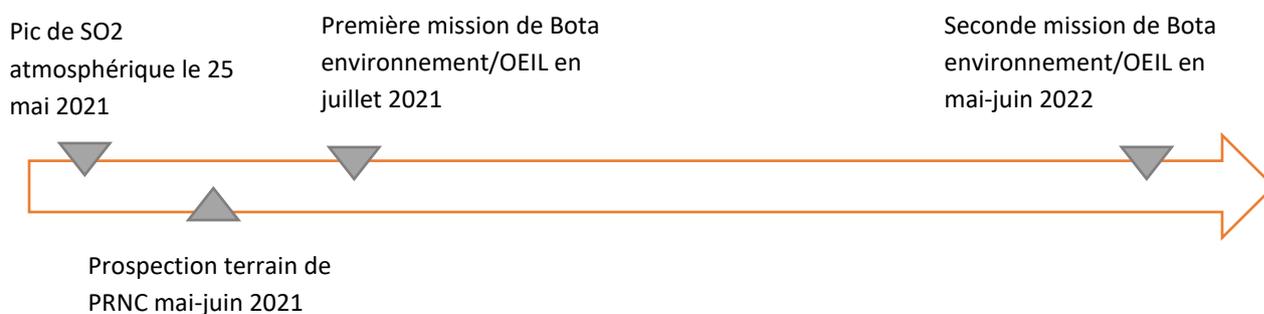
L'étude repose sur la réalisation de travaux de caractérisation et d'analyse de l'impact sur la végétation d'une exposition aigüe et ponctuelle au SO₂ atmosphérique, et vise plus particulièrement à :

- Evaluer qualitativement et quantitativement les impacts de l'exposition au SO₂ sur la végétation suite à l'incident du 25 mai 2021 ;
- Définir aussi précisément que possible le périmètre impacté par cet incident ;

II.2. Calendrier

Cette étude a donné lieu à deux séries d'interventions distinctes :

- Une première, initiale, début juillet 2021, soit un peu plus d'un mois après l'incident ;
- Une seconde, commandité par l'OEIL suite aux résultats de la première intervention, et réalisée en mai 2022, soit un an après l'incident.



Chapitre III - METHODOLOGIE

III.1. Mission initiale de juillet 2021

Suite à la réalisation par l'équipe de l'OEIL d'un entretien avec les équipes de PRNC le 28 juin 2021, ayant permis de disposer des premiers éléments de contexte sur l'incident du 25 mai, une première visite de terrain a été menée le 6 juillet 2021 de 8h30 à 16h00 sur la zone d'observation de phénomènes de

dépérissement de la végétation liés au SO₂ délimitée par PRNC. Elle a réuni les équipes de l'OEIL (2 agents), Prony Ressources NC (2 botanistes) et Bota Environnement (1 botaniste, le Dr. Alexandre Lagrange).

III.1.1. Définition des points méthodologiques principaux

Cette entrevue en contexte a permis d'échanger sur les observations effectuées par l'équipe Conservation du Service Préservation de l'Environnement de PRNC (PRNC, juin 2021) au niveau des maquis jouxtant le drain périphérique Nord sous l'influence des vents dominants lors de l'incident.

Les points méthodologiques principaux pour répondre aux objectifs de l'étude, c'est-à-dire pour l'obtention des données permettant l'évaluation du phénomène de dépérissement de la végétation caractéristique d'une exposition aigüe et ponctuelle au SO₂ atmosphérique, ont été discutés en concertation avec les botanistes de PRNC, disposant d'une expertise reconnue dans ce domaine.

Les membres de l'OEIL, de Bota Environnement et de PRNC (présents pour appui à la caractérisation des symptômes) ont ensuite consacré le reste de la matinée à la prospection de terrain et aux relevés d'informations pour essayer de délimiter la zone impactée. L'après-midi a été dédié à la mise en place de transects de suivi sur la zone la plus impactée.



Figure 1 : illustration de la visite de terrain du 6 juillet 2021

III.1.2. Identification des limites spatiales du périmètre impacté

III.1.2.a. Prospection dans la zone accessible à pied

Le botaniste de Bota Environnement a cheminé avec les membres de l'OEIL et de PRNC sur les surfaces accessibles potentiellement exposées au SO₂ atmosphérique, afin d'évaluer l'étendue des perturbations sur les formations végétales de types maquis. L'observation de symptômes foliaires caractéristiques d'une pollution au SO₂ sur les individus a permis de définir, à l'aide d'un GPS, des limites géographiques apparentes de perturbation. Ces limites observées par Bota Environnement ont ensuite été comparées à celles fournies par PRNC.



Figure 2 : Illustration des prospections à pied

III.1.2.b. Complément par images drone

La zone prospectée accessible à pied ne permettant pas de couvrir complètement le secteur potentiellement impacté (terrain très escarpé sur les reliefs), PRNC a donné accès à une trentaine d'images drone haute résolution (capteur H20T- DGI) géolocalisées réalisées par leurs soins sur la canopée des végétations le 7 juin 2021. Les images haute résolution drone fournies par PRNC ont été prises en compte et sur chaque photographie, les individus visibles ont été analysés par observations d'expert et classés en 3 catégories :

- Individus impactés (ou non) lorsque le drone était positionné au sein du périmètre délimité à pied ;
- Individus impactés lorsque le drone était positionné à l'extérieur du périmètre délimité à pied ;
- Individus non impactés lorsque le drone était positionné à l'extérieur du périmètre délimité à pied.

Il est à noter que l'accès à la canopée des végétations hautes à partir d'images drones étant à considérer pour estimer les symptômes foliaires difficilement visibles depuis le sol, l'OEIL souhaitait initialement effectuer des prises de vues par drone de manière indépendante. La demande d'autorisation de vol formulée auprès de PRNC n'a cependant pas été délivrée.

III.1.3. Identification des espèces végétales touchées par une exposition au SO₂

Lors du cheminement par le botaniste de Bota Environnement sur le périmètre impacté, l'ensemble des espèces présentant des symptômes liés à une exposition au SO₂ a été relevé sous formes d'indices semi-quantitatifs, au nombre de 3 :

- Indice de sévérité des symptômes foliaires ;
- Indice de défoliation ;
- Indice de présence/absence de jeunes feuilles et bourgeons.

Le choix d'utiliser comme indicateurs des indices semi-quantitatifs (plutôt que qualitatifs seulement) s'est appuyé sur les recommandations de l'étude d'analyse critique du suivi symptomatologique du phénomène de dépérissement sur la végétation du site de Vale NC (IAC, 2017).

Cette démarche a pour but d'évaluer l'impact sur les végétaux de toute espèce, mais également d'établir la meilleure méthodologie de suivi possible, incluant le choix d'espèces les plus visiblement touchées. La liste obtenue a été comparée à la liste des espèces présentant des symptômes liés au SO₂ fournie par PRNC (PRNC, juin 2021).

III.1.3.a. Indice de sévérité des symptômes foliaires

La signification de cet indice, allant de 0 à 4, est présentée dans le tableau ci-dessous :

Sévérité des symptômes foliaires		
Caractérisation du niveau d'impact	Degré d'atteinte	Indice attribué
Individu sans symptôme lié au SO ₂	0 %	0
Individu impacté jusqu'à un quart de son feuillage	1 à 25 %	1
Individu touché jusqu'à la moitié de son feuillage	25 à 50%	2
Individu touché sur plus de la moitié de son feuillage	50 à 75%	3
Individu touché jusqu'à l'ensemble de son feuillage	Supérieur à 75%	4

Figure 3 : Caractérisation de l'indice de sévérité des symptômes foliaires

III.1.3.b. Indice de défoliation

La signification de cet indice, allant de 0 à 4, est présentée dans le tableau ci-dessous :

Sévérité de défoliation		
Caractérisation du niveau d'impact	Degré d'atteinte	Indice attribué
Individu sans perte de feuillage	0 %	0
Individu dont jusqu'à 25% du feuillage est tombé	1 à 25 %	1
Individu dont jusqu'à 50% du feuillage est tombé	25 à 50%	2
Individu dont jusqu'à 75% du feuillage est tombé	50 à 75%	3
Individu dont jusqu'à l'ensemble du feuillage est tombé	Supérieur à 75%	4

Figure 4 : Caractérisation de l'indice de défoliation

Un individu est dit défolié en évaluant le nombre de feuilles restantes sur l'arbre et le nombre de branches nues, tel que vu dans la figure suivante :



Figure 5 : Illustration du phénomène de défoliation - indice 1 (gauche), indice 3 (centre), indice 4 (droite)

La défoliation est un critère important pour évaluer l'impact d'un phénomène sur la végétation : en effet, lorsque les symptômes liés au SO₂ sont importants, les feuilles, d'abord nécrosées, finissent par tomber, ce qui fragilise encore davantage la plante.

Il est à noter cependant que si le pic du 25 mai 2021 peut expliquer en grande partie la défoliation observée, d'autres facteurs, comme des attaques phytosanitaires ou encore la sécheresse, peuvent également influencer le phénomène de défoliation.

L'indice de défoliation présente aussi quelques limites notables. En effet, il peut être difficile d'évaluer le pourcentage de défoliation d'un individu étant donné l'incertitude sur la quantité de feuilles sur la plante avant le phénomène de dépérissement. Il peut également être difficile de juger de la proximité temporelle de la défoliation, considérant que le vent pourrait avoir évacué une partie des feuilles tombées au pied de la plante.

III.1.3.c. Indice de présence/absence de jeunes feuilles & bourgeons

La signification de cet indice, allant de 0 à 1, est présentée dans le tableau ci-dessous :

Présence de jeunes feuilles & bourgeons	
Caractérisation	Indice attribué
Absence de bourgeon foliaire ou de jeunes feuilles	0
Présence de bourgeon foliaire ou de jeunes feuilles	1

Figure 6 : Caractérisation de l'indice de jeunes feuilles et bourgeons

A la différence des deux précédents indices qui mesurent des degrés d'impact subi par la végétation exposée au SO₂ et tentent de quantifier les dommages subis, celui-ci est un indice binaire et qui contribue en premier lieu à caractériser la reprise de l'activité biologique de la plante, plutôt que l'impact du SO₂, même si des corrélations pourraient être trouvées.

Remarque : La présence de jeunes feuilles/bourgeons est un signe positif de reprise, mais ne peut à lui seul garantir une reprise complète sur le long terme. De plus, il n'est pas exclu que des plantes présentant un très mauvais état en apparence finissent à terme par montrer des signes de reprise.

III.1.4. Mise en place d'un dispositif de suivi de l'impact de l'exposition au SO₂

Afin de quantifier et de suivre dans le temps l'état de santé des individus impactés, une évaluation symptomatologique a été réalisée dans les zones les plus perturbées, conformément au protocole usuel mis en place par PRNC.

III.1.4.a. Localisation du dispositif

Le dispositif utilisé se présente sous la forme de deux transects de 50 m de long et de 2 m de large (1 mètre de part et d'autre du transect), pour une surface totale de 100 m², et tel que ci-dessous :

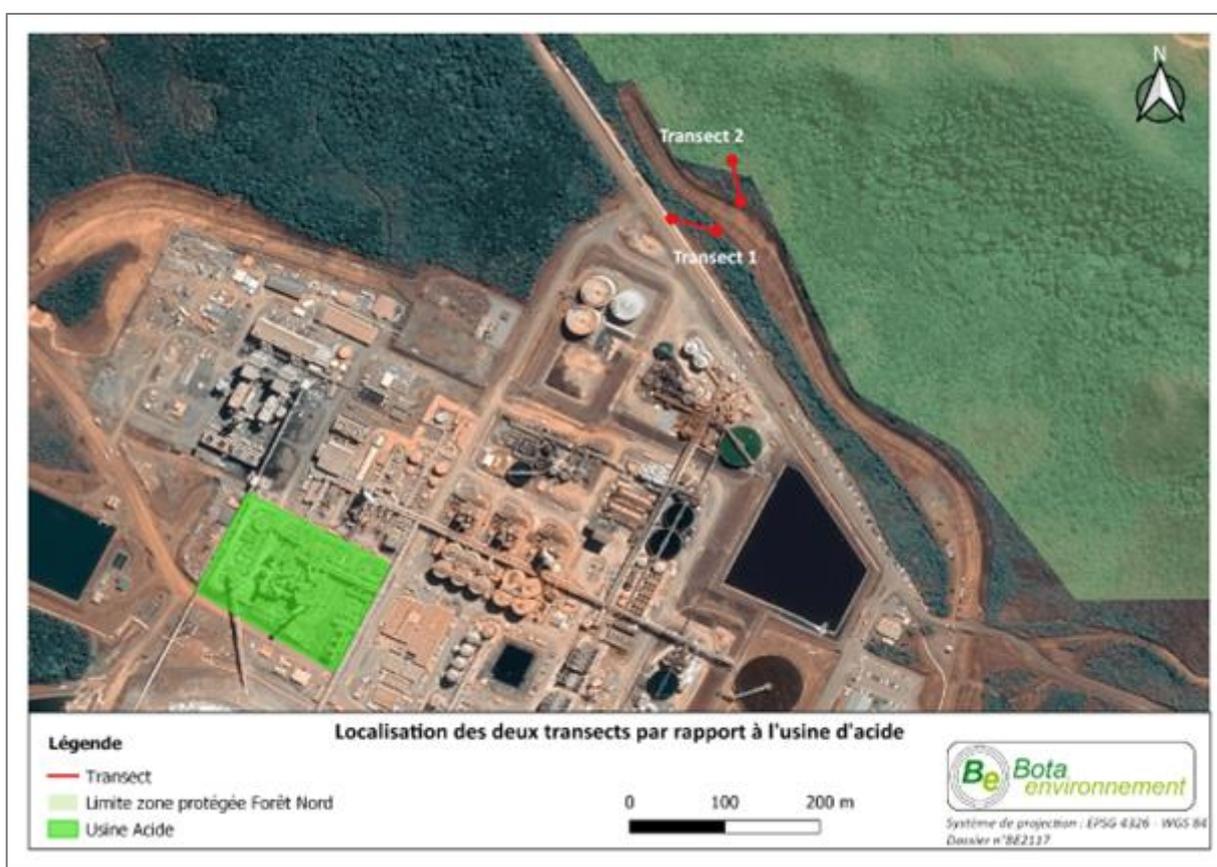


Figure 7 : Localisation des deux transects par rapport à l'usine d'acide

Le choix du placement des transects a été fait selon un critère de distance par rapport à la source d'émission de SO₂ et en fonction du type de végétation.

Le transect 1, situé entre la route longeant l'usine et le drain périphérique Nord, est le plus proche de l'usine d'acide (580 m en moyenne). Le transect 2 se trouve un peu plus éloigné de l'usine d'acide (665 m en moyenne) et de l'autre côté du drain périphérique Nord, en limite de la réserve de Forêt Nord.

Les deux transects sont situés sur des milieux dominés par le genre *Codia*, identifiés comme d'intérêt pour un suivi, et une végétation permettant de facilement faire des observations car de hauteur inférieure à 2m.

III.1.4.b. Espèces suivies

Au sein de ces transects, l'ensemble des individus de *Codia discolor* et *Codia spatulata* supérieurs à 30 cm de hauteur sont marqués d'une rubalise et géoréférencés pour être suivis dans le temps.

Ces deux espèces ont été choisies car fortement impactées et donc représentatives d'une évolution des symptômes dans le temps.

III.1.4.c. Caractérisation des individus

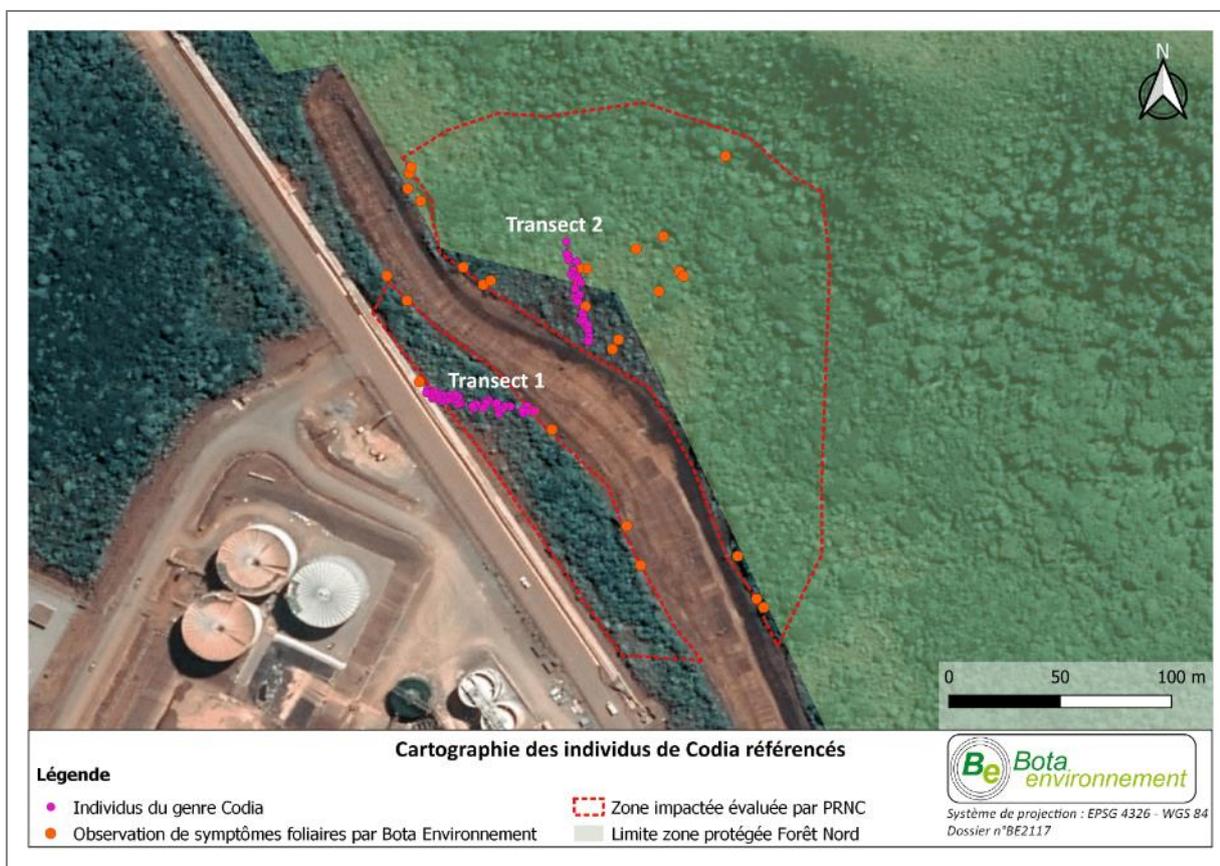


Figure 8 : Localisation des individus des deux transects de suivi dans la zone de végétation impactée par le SO₂ atmosphérique

Sur les deux transects, 83 individus ont été balisés, dont 1 individu de *Codia discolor* mort bien avant l'incident du 25 mai 2021 et qui ne sera donc pas pris en compte dans les analyses. Les 82 individus considérés pour décrire l'état initial se répartissent ainsi :

- **Transect 1** : 53 individus : 9 individus de *Codia spatulata* et 44 individus de *Codia discolor*
- **Transect 2** : 29 individus : 1 individu de *Codia spatulata* et 28 individus de *Codia discolor*

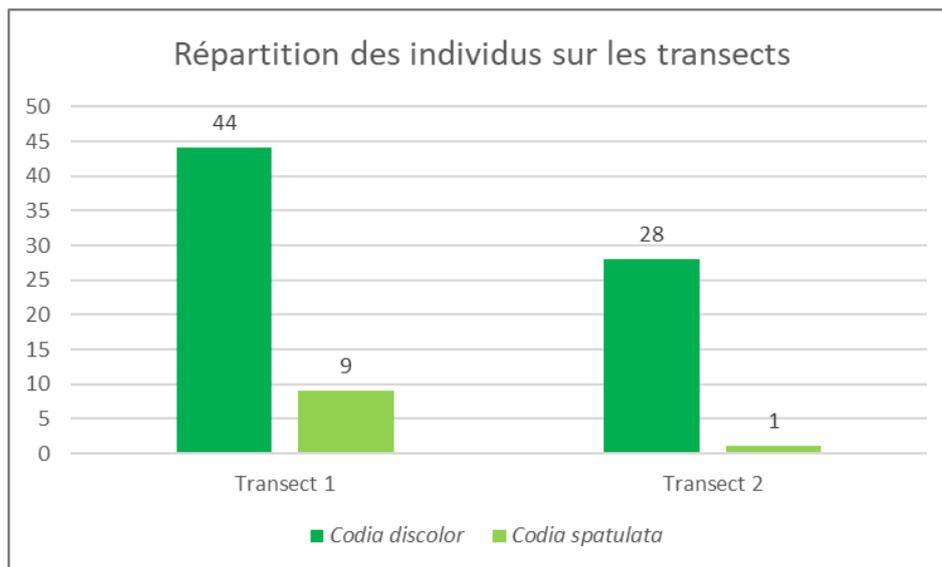


Figure 9 : Répartition des individus de *Codia* dans les deux transects

Remarque : La taille réduite des échantillons et le fait que le transect 2 présente environ deux fois moins d'individus que le transect 1 viendront automatiquement limiter la portée des conclusions issues de l'analyse des données collectées sur ces transects.

Les individus ont été caractérisés grâce aux indices définis plus haut et à d'autres paramètres de description énumérés ci-dessous :

- Genre & espèce ;
- Coordonnées géographiques ;
- Taille ;
- Mortalité éventuelle ;
- Indice de sévérité des symptômes foliaires ;
- Indice de défoliation ;
- Indice de présence de jeunes feuilles et bourgeons ;
- Etat phytosanitaire, comprenant notamment des indices sur la présence ou l'absence de symptômes liés aux divers bioagresseurs possibles et avérés.

Cette caractérisation a été complétée d'un suivi photographique des individus permettant de dresser un état initial.

Remarque importante : sur ces deux transects, les individus suivis présentent également des impacts liés à d'anciens feux de végétation, antérieurs à cet épisode de pollution atmosphérique (individus rabougris et tortueux en raison des conditions exposées du maquis ouvert et des conditions naturelles de la reprise de végétation par rejets de souches après feu). Des attaques d'insectes (en particulier de chenilles) bien visibles sont par ailleurs régulièrement constatées sur *Codia discolor* depuis 2017.

III.1.5. Discussion des résultats au regard du fonds documentaire

Les résultats obtenus sur le terrain ont été discutés au regard de la bibliographie existante sur l'étude des phénomènes de dépérissement de la végétation déjà observé sous le vent de l'usine depuis 2011, de leurs suivis, ainsi que de la bibliographie existante sur les tests de fumigations en conditions contrôlées sur les espèces endémiques présentes sur le site industriel de PRNC, des mesures de SO₂ atmosphérique effectuées par Scal'Air entre 2019 et 2021 et enfin des suivis par télédétection de trois massifs d'intérêt prioritaire (MFIP) au niveau de Forêt Nord.

III.2. Missions complémentaires de mai-juin 2022

Avant toute chose, il est important de préciser que le Dr Alexandre Lagrange a été remplacé par Edouard Bourguet (expert en environnement de JIDAI). D'autres agents de Bota Environnement et JIDAI étaient également présents en renfort lors des missions de terrain.

Ce changement d'expert induit un « biais d'observateur », susceptible d'impacter la pertinence des données semi-quantitative collectées, qu'il a été tenté de limiter en prenant les précautions suivantes :

- Remplacer le Dr Lagrange par un de ses collaborateurs réguliers, Edouard Bourguet ;
- Faire appel aux mêmes agents de l'OEIL et de PRNC que ceux intervenus lors de la mission initiale ;
- Prévoir un nombre de personnes identiques entre les deux missions.

La poursuite de l'étude confiée à Bota environnement par l'OEIL s'est déroulée en deux étapes :

- 17/18 mai : pour évaluer la reprise de la végétation sur les transects (le 17 mai entre 9h et 14h) et confirmer la délimitation du périmètre impacté selon PRNC (le 17 mai entre 14h et 16h et le 18 mai entre 9h et 15h) ;
- 8 juin 2022 : pour déterminer le périmètre réellement impacté (entre 9h30 et 16h)

III.2.1. Confirmation des limites spatiales du périmètre impacté

Confirmation du périmètre impacté d'après PRNC - 17 et 18 mai 2022

Pour rappel, le périmètre considéré comme impacté par PRNC n'avait pas pu être parcouru lors de la mission de terrain initiale faute de temps et en raison d'une faible accessibilité (zones d'éboulis, pentues). Il a donc proposé par l'OEIL d'échantillonner ainsi la zone pour la mission du 17 et 18 juin (cercle jaune sur la figure ci-dessous).

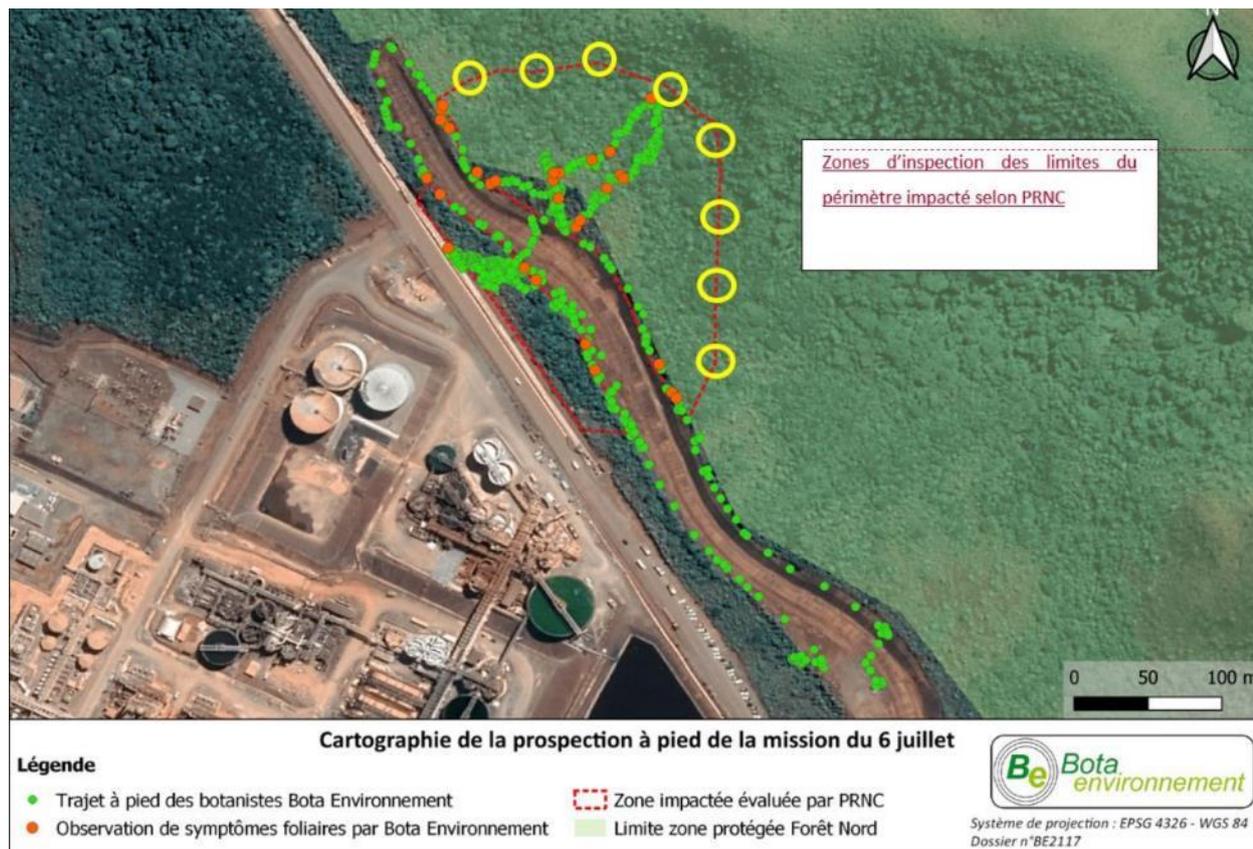


Figure 10 : Proposition d'échantillonnage du périmètre considéré comme impacté par PRNC en 2021 (cercles jaunes)

La méthode d'échantillonnage retenue par Bota environnement est la suivante : réaliser des points d'observations tous les 30 m sur le contour théorique proposé par PRNC pour y analyser l'ensemble des plantes à la recherche d'éventuels symptômes foliaires liés au SO₂. Les arrêts sur le contour théorique ont été paramétrés par la complexité à prospecter le milieu et la possibilité de trouver des plantes accessibles. Des symptômes ont été observés sur la quasi-totalité des points du contours de PRNC, incitant l'équipe à conduire une nouvelle mission de prospection plus vaste.

Détermination du périmètre réellement impacté – 8 juin 2022

Compte tenu des résultats obtenus les 17 et 18 mai 2022, une seconde mission de terrain a été lancée le 8 juin 2022 afin d'identifier les limites réelles du périmètre impacté, dans la zone entourée en orange sur la figure ci-dessous :

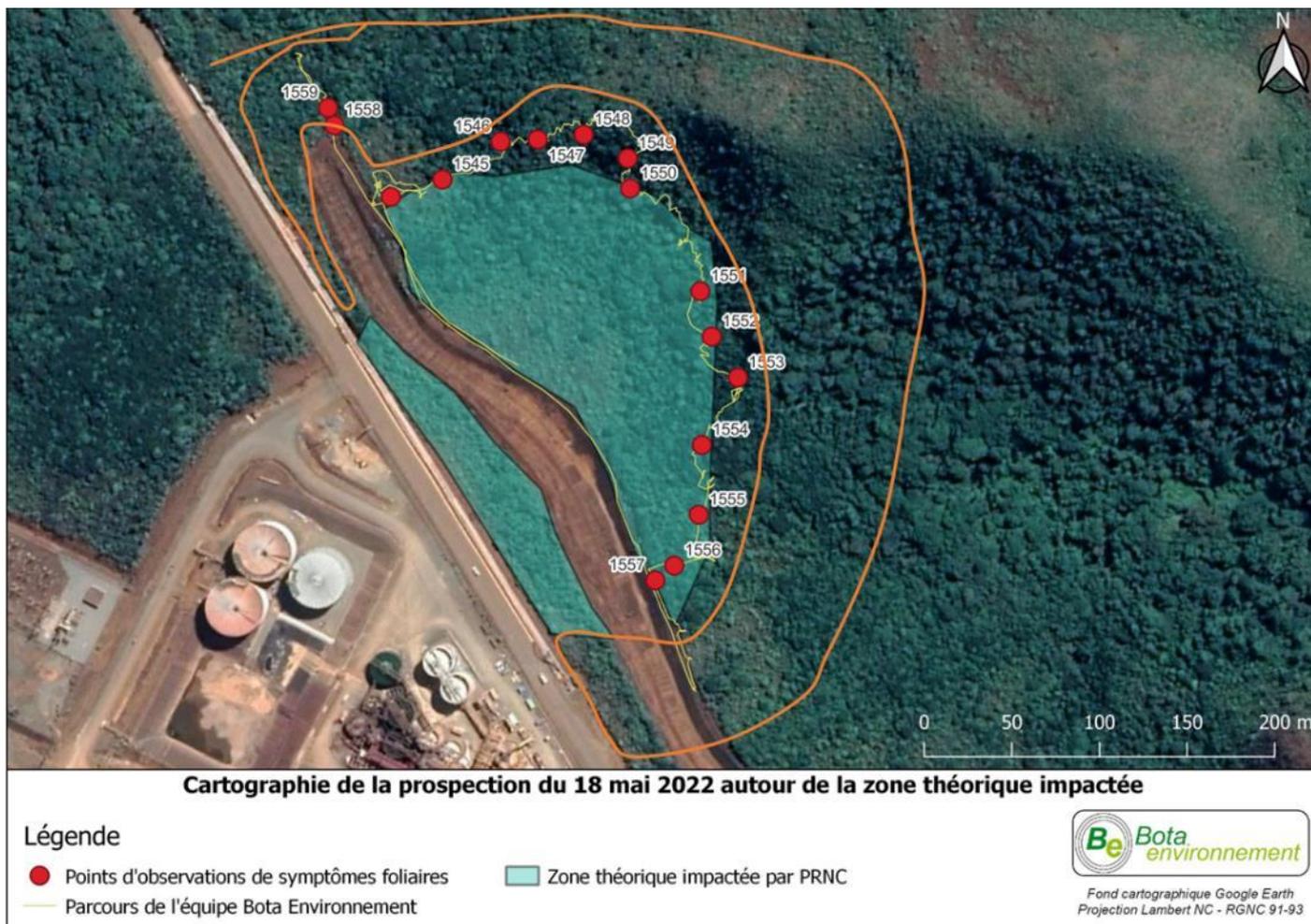


Figure 11 : Proposition d'échantillonnage d'une zone allant au-delà du périmètre considéré comme impacté par PRNC en 2021 (zone entourée en orange)

La méthode d'échantillonnage retenue par Bota environnement est la suivante : réaliser un parcours d'observation en concentrant l'analyse foliaire sur les espèces les plus indicatrices établies en 2021 (genres *Codia* et *Pancheria*). Un point GPS rouge était réalisé chaque fois que des symptômes étaient observés, un point vert était placé temporairement lors qu'aucune trace d'impact ne pouvait être observée sur les espèces indicatrices. L'équipe avançait ainsi au regard des analyses réalisées sur le point précédent. Des photos étaient réalisées très régulièrement afin de documenter le parcours.

Les prospections de 2022 ont été limitées par l'accessibilité au contour de la zone ciblée. Le relief est très pentu sur des blocs et éboulis parfois instables dans une végétation très dense et souvent tissée de lianes très résistantes. Le travail de suivi a donc été très lent. L'équipe s'est concentrée sur les zones de maquis où la végétation était accessible à l'OEIL. La zone est composée de plusieurs biotopes différents avec des cortèges végétaux différents dont certains ne présentaient pas de plantes indicatrices documentées pour les impacts de SO₂, et ne pouvaient de ce fait pas faire l'objet d'une évaluation d'impacts liés à l'incident de mai 2021.

Dans les milieux pré-forestiers et forestiers, il n'était pas possible pour l'équipe d'analyser les feuilles, car elles étaient hors de portée. L'analyse devait donc se porter sur d'éventuels symptômes foliaires sur les feuilles mortes au sol. Malheureusement, en raison des très fortes pluies et d'un couvert végétal quasi

total, la litière au sol était très dégradée et ne permettait plus d'y trouver de feuilles impactées lors de l'incident de mai 2021.

Concernant l'utilisation de *Pancheria alertoides* comme espèce bioindicatrice d'un impact lié au SO₂, PRNC estime que cette espèce ne peut pas être considérée comme bioindicatrice en l'état actuel des connaissances. PRNC explique que cette espèce est absente de l'ensemble de leur zone de suivi symptomatologique sous influence des émissions atmosphérique (à l'ouest de l'Usine) et que par conséquent, aucune information sur les caractéristiques des symptômes liés au SO₂ pour cette espèce n'est décrite. De plus, des symptômes avec brunissement internerval (ressemblant aux symptômes foliaires liés au SO₂) ont par ailleurs déjà été observés en milieu naturel hors zone d'influence (Plaine des Lacs, bassin versant de la Kwe) pour cette espèce. Malgré ces réticences de la part de PRNC, Bota environnement décide de maintenir *Pancheria alertoides* comme potentiellement bioindicatrice d'un impact lié au SO₂, étant donné qu'elles ont bien été identifiées comme impactées lors de la mission du 6 juillet 2021 par Bota environnement et qu'elle n'est pas documentée dans le guide des symptômes foliaires de PRNC comme ne pouvant être considérée comme une espèce bioindicatrice (Figure 22).

A chaque fois qu'un point GPS rouge est relevé, une zone de 20 m de rayon sera été délimitée autour de ce point, considérant que les individus qui se trouvent en moyenne à 20 m de ce point sont eux aussi symptomatiques (vérification faite par l'équipe de Bota environnement).

III.2.2. Vérification de la reprise de la végétation sur les transects

Les individus des transects ont été suivis selon la même méthode que celle définie lors de la première mission et en utilisant les mêmes indices (III.1.4.).

A la liste des paramètres initialement prévus dans le protocole de suivi des transects, Bota environnement a jugé utile d'ajouter une observation plus attentive de la santé et de la forme des jeunes feuilles afin d'établir s'il pouvait y avoir eu des séquelles liées à l'incident chez les *Codia*, telles que des déformations ou des tailles réduites de jeunes feuilles.

Chapitre IV - RESULTATS

IV.1. Identification des limites spatiales du périmètre impacté

IV.1.1. Mission initiale de juillet 2021

IV.1.1.a. Prospection dans la zone accessible à pied

La mission de délimitation du périmètre impacté par une exposition au SO₂ a été réalisée la matinée du 06 juillet 2021. Elle a permis de confirmer l'étendue des zones perturbées de manière importante par la présence de symptômes déterminés par PRNC sur le terrain sur la bande longeant la route d'accès à l'usine de Prony Resources et sur la végétation le long du drain en lisière de la réserve de la Forêt Nord.



Figure 12 : Individus présentant des nécroses foliaires - Polyscias pancheri à gauche - Pancheria alaternoides à droite - vu par Bota Environnement dans la zone impactée lors de la mission du 6 juillet 2021

La prospection n'a cependant pas permis de faire tout le tour du patch identifié par PRNC sur le versant de la Forêt Nord à cause des éboulis de piedmont et d'une végétation dense. L'équipe a avancé jusqu'à la rencontre de blocs de péridotites qui rendaient la prospection à pied dangereuse et qui a stoppé sa progression dans un maquis relativement haut et dense, où les symptômes foliaires étaient moins présents qu'au niveau des bandes de végétation longeant la route et le drain en lisière de Forêt Nord. Les symptômes foliaires semblaient également peu présents en hauteur au niveau de la cime des individus.

La figure suivante présente le trajet de la prospection. Les limites sont basées sur les observations ou non de symptômes foliaires liés au SO₂ atmosphérique, toutes espèces confondues. Ce trajet traverse uniquement des végétations de types maquis arbustifs. Aucune végétation de type forêt dense humide ne se situe en effet dans la zone prospectée :

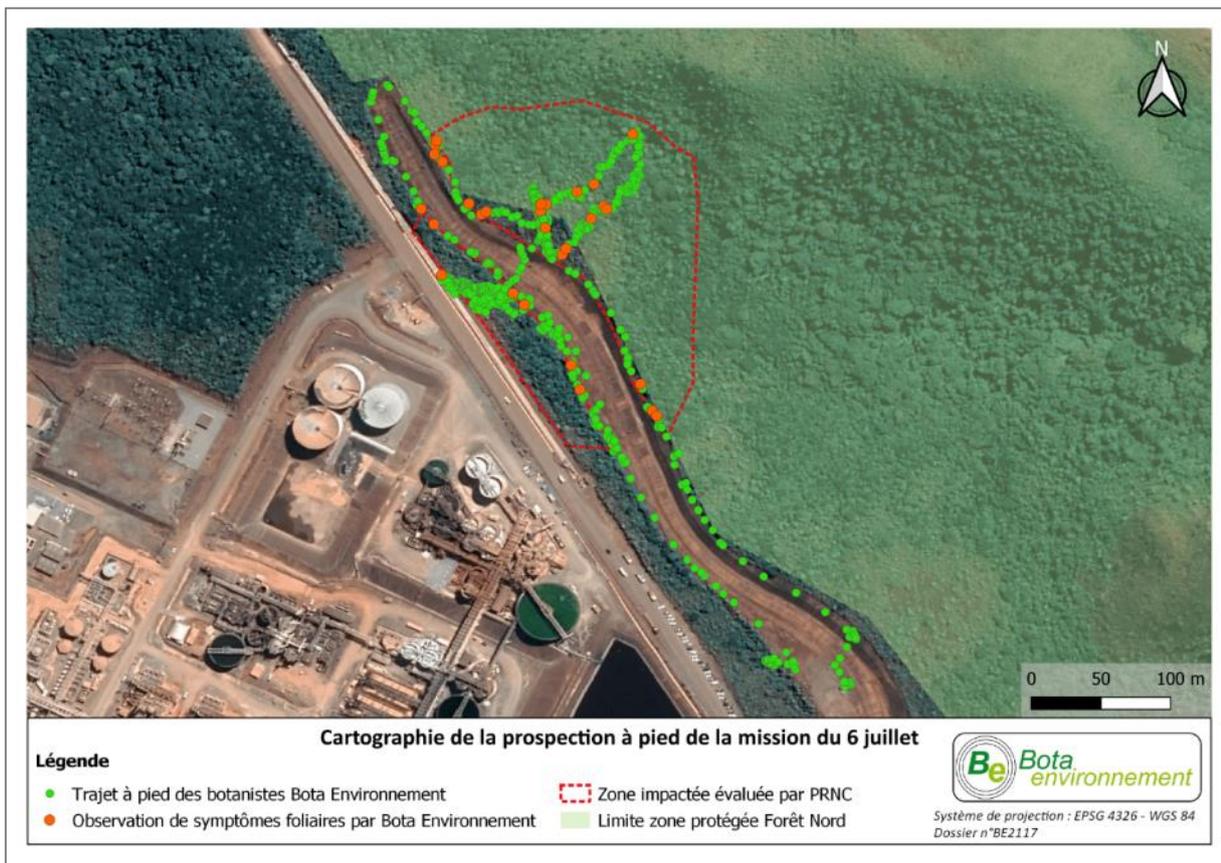


Figure 13 : Illustration du trajet de prospection réalisé par Bota Environnement et localisation des observations d'impact

Une illustration des impacts est donnée dans la figure suivante :



Figure 14 : Illustration des impacts observés - Défoliation (gauche) et nécroses (droite) sur *Codia discolor*.

IV.1.1.b. Complément par images drone

La zone prospectée accessible à pied ne permettant pas de couvrir complètement le périmètre potentiellement impacté, PRNC a donné accès à une trentaine d'images drone géolocalisées réalisées par leurs soins sur la canopée des végétations, visible dans la figure ci-dessous :

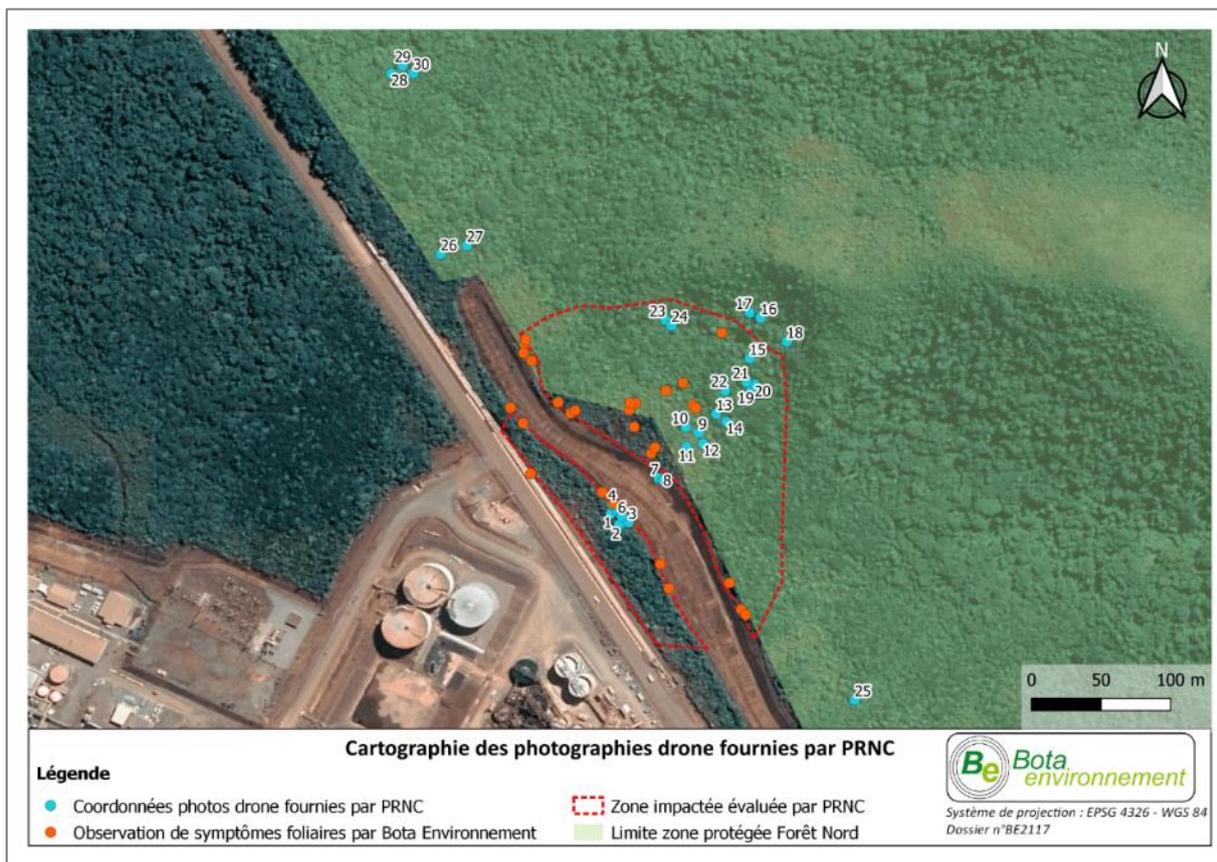


Figure 15 : Localisation GPS de la position du drone au moment des prises de vue photographiques (fournies par PRNC) et contours des zones évaluées comme impactées par PRNC

Certaines de ces images, situées dans et aux alentours du périmètre prospecté à pied, permettent de visualiser la canopée des végétations hautes difficilement accessibles à la vue des botanistes et donc trop en hauteur pour être analysée depuis le sol. Toutefois, la répartition géographique des images ne permet clairement pas de couvrir l'ensemble de la zone potentiellement impactée par le SO₂, les images prises en dehors de la zone évaluée comme impactée par PRNC étant très peu nombreuses (ex : images 26 à 30). Une autre limite à l'utilisation de ces images est que la position exacte des individus observés n'est pas connue de l'OEIL.

Certaines de ces images sont des vues d'ensemble de la végétation, prises à une hauteur de 40 m en moyenne, d'autres sont zoomées sur des individus en particulier. Aucune photo n'est prise à l'aplomb de la végétation. La figure suivante présente deux exemples parmi les 30 images fournies par PRNC.



Figure 16 : Exemples des images drone fournies par PRNC

Pour chaque image, une analyse de la végétation a été réalisée afin de déterminer si elle est impactée ou non, par observation des symptômes liés au SO₂ atmosphérique, permettant de compléter la détermination du secteur impacté au niveau de la canopée de zones de végétations hautes. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Nom image	N° image	Longitude (X)	Latitude (Y)	Evaluation des symptômes observés	Zone évaluée impactée
DJI_20210607092242_0001_W	1	166,917041	-22,32837394	Défoliation - Codia spp.	Oui
DJI_20210607092242_0001_Z	2	166,9170986	-22,32845286	Nécroses - Myodocarpus involucratus	Oui
DJI_20210607092252_0002_W	3	166,9171648	-22,32843615	Défoliation -Codia spp.	Oui
DJI_20210607092252_0002_Z	4	166,9170502	-22,32830827	Nécroses - Myodocarpus involucratus	Oui
DJI_20210607092345_0003_W	5	166,9170911	-22,3283555	Défoliation -Codia spp.	Oui
DJI_20210607092345_0003_Z	6	166,9171189	-22,32839317	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607092623_0005_W	7	166,9173758	-22,32812572	Défoliation -Codia spp.	Oui
DJI_20210607092623_0005_Z	8	166,9174071	-22,32814124	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607092834_0006_W	9	166,9176551	-22,32780538	Défoliation -Codia spp.	Oui
DJI_20210607092835_0006_Z	10	166,9175652	-22,3277662	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607092925_0007_W	11	166,9175698	-22,32790446	Défoliation -Codia spp.	Oui
DJI_20210607092925_0007_Z	12	166,9176861	-22,32788361	Nécroses et défoliation - Codia discolor	Oui
DJI_20210607093054_0008_W	13	166,9177772	-22,32767296	Nécroses - Défoliation - Codia spp.	Oui
DJI_20210607093054_0008_Z	14	166,9178482	-22,32772775	Nécroses - Codia discolor et Codia spatulata	Oui
DJI_20210607093501_0010_Z	15	166,9180103	-22,32728278	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607093548_0012_W	16	166,9180872	-22,32699747	Vue aérienne trop éloignée pour être exploitable	NA
DJI_20210607093548_0012_Z	17	166,9180122	-22,32695973	Vue aérienne trop éloignée pour être exploitable	NA
DJI_20210607094028_0013_Z	18	166,9182708	-22,32716464	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607095402_0015_Z	19	166,9180256	-22,32749753	Nécroses et forte attaque phytosanitaire - Alphitonia neocaledonica	Oui
DJI_20210607095448_0016_W	20	166,9180455	-22,32746622	Nécroses – Codia spp.	Oui
DJI_20210607095448_0016_Z	21	166,91799	-22,32744914	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607095803_0017_Z	22	166,9178398	-22,32750785	Nécroses - Pancheria	Oui
DJI_20210607100846_0023_Z	23	166,9174242	-22,32701252	Nécroses - Codia discolor	Oui
DJI_20210607101333_0024_Z	24	166,917465	-22,32705103	Nécroses - Pancheria billardierei	Oui

DJI_20210607102334_0025_Z	25	166,9187452	-22,32968511	Doute sur l'état phytosanitaire	NA
DJI_20210607104045_0029_Z	26	166,9158544	-22,32654828	Pas de symptôme observé	Non
DJI_20210607104150_0034_W	27	166,9160361	-22,326488	Vue aérienne trop éloignée pour être exploitable	NA
DJI_20210607104409_0036_Z	28	166,9155084	-22,32527888	Pas de symptôme observé	Non
DJI_20210607104507_0039_Z	29	166,9155882	-22,32522236	Pas de symptôme observé	Non
DJI_20210607104533_0040_Z	30	166,9156619	-22,32527536	Pas de symptôme observé	Non

Orange : prise photographique lorsque le drone se trouvait dans le périmètre évalué impacté par les prospections à pied
Bleu : prise photographique lorsque le drone se trouvait hors du périmètre évalué impacté par les prospections à pied
Rouge : prise photographique lorsque le drone se trouvait hors du périmètre prospecté à pied avec observation de symptômes foliaires
 NA : Non Attribuable

Figure 17 : Localisation GPS du drone lors des prises de vue (référentiel EPSG 4326 - WGS 84) et synthèse des symptômes foliaires liés au SO₂ atmosphérique observés sur les images drone fournies par PRNC

Cette analyse des images drone montre que certains arbres sont appauvris en feuilles sur les faciès orientés vers l'usine, et que la végétation arbustive présente des chloroses brunes sur les feuilles. Ces images confirment bien un impact sur la végétation lié au SO₂ atmosphérique dans la zone prospectée à pied.

L'image n°18 (DJI_20210607094028_0013_Z) plus bas, qui montre des symptômes foliaires liés au SO₂, a notamment été prise par le drone lors qu'il était positionné en bordure extérieure de la limite du périmètre évalué comme impactée par PRNC. Si selon PRNC il se trouve à l'intérieur de ce périmètre, nous ne disposons cependant pas de sa position exacte.



Figure 18 : Photographie drone n°18 montrant des symptômes de nécroses foliaires

CONCLUSION MISSION JUILLET 2021 – PERIMETRE IMPACTE

La prospections à pied de Bota environnement et les images drone fournies par PRNC ont permis de confirmer avec certitude des impacts liés au SO₂ sur la bande longeant la route d'accès à l'usine de Prony Resources et sur la végétation le long du drain en lisière de la réserve de la Forêt Nord.

En revanche, en ce qui concerne la confirmation du périmètre considéré comme impacté par PRNC dans les zones qui n'étaient pas accessibles à pied et au-delà de ce périmètre, il n'a pas été possible de conclure à partir des images drones fournies par PRNC.

IV.1.2. Missions complémentaires de mai 2022

IV.1.2.a. Prospection dans la zone accessible à pied

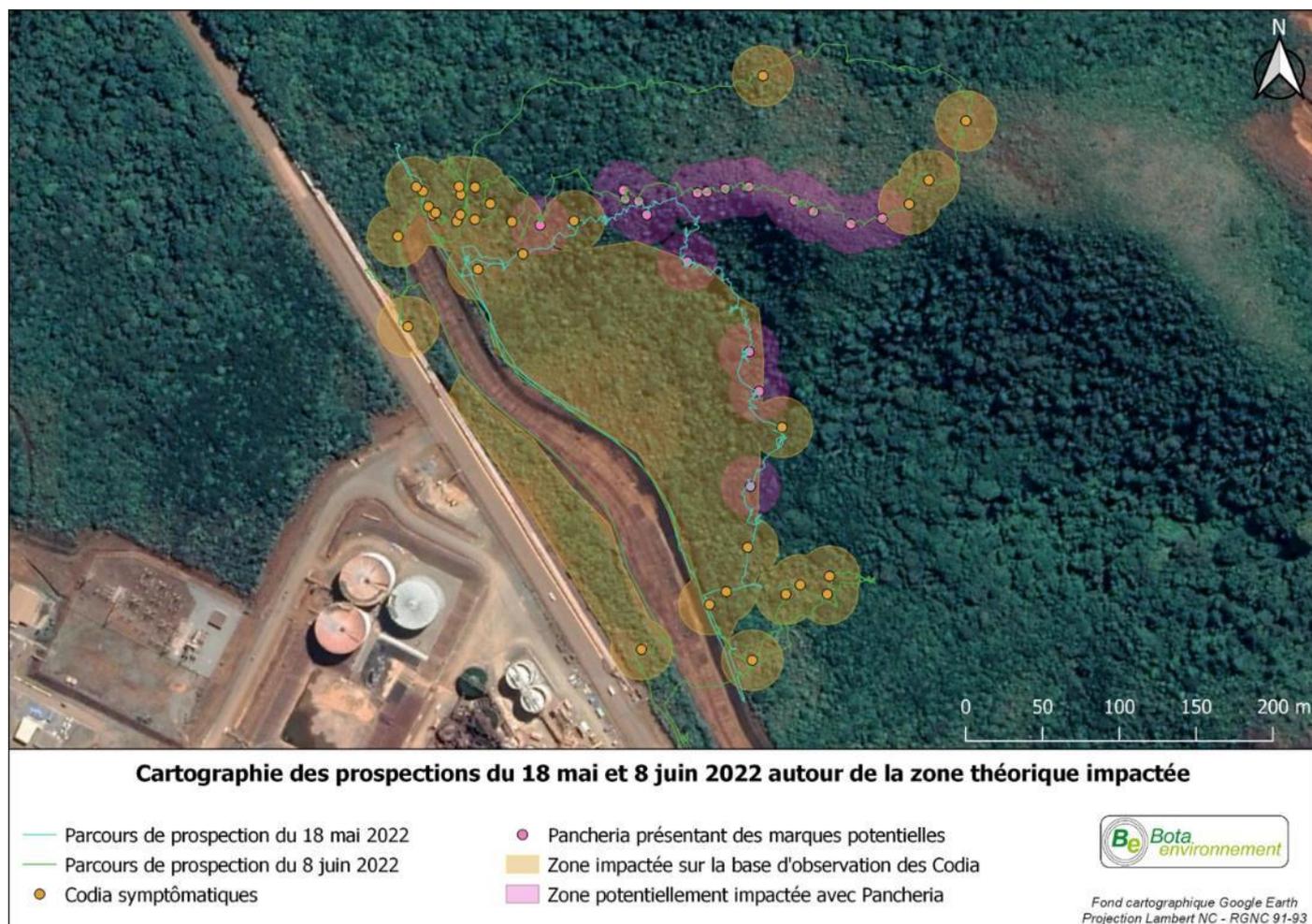


Figure 19 : Représentation de la zone considérée par Bota environnement comme impactées (en jaune) et potentiellement impactée (en violet) par l'incident du 25 mai 2021

Les prospections de mai et juin 2022 ont permis de constater la persistance de symptômes foliaires liés au SO₂ sur les feuilles anciennes des plantes indicatrices sélectionnées (des genres *Codia* et *Pancheria*), avec des indices de symptômes foliaires correspondant toujours à un indice de 1 (soit 1 à 25% du feuillage touché), étant donné qu'un an après l'incident les feuilles les plus impactées sont certainement déjà tombées. Ces prospections ont également permis de constater que la zone impactée était plus grande que supposé par PRNC en 2021.

Si les *Codias* sont considérés comme impactés par le SO₂ avec certitude, une réserve est émise pour *Pancheria alaternoides* étant donné que les symptômes foliaires liés au SO₂ n'ont pas été décrits par PRNC pour cette espèce. Cependant, Bota environnement précise que les symptômes observés en juillet 2021 sur *Pancheria alaternoides* ont été revus sur cette même espèce lors de la mission du 8 juin 2022, sur des feuilles qui ont été jugées suffisamment anciennes sur la plante pour avoir été présentes lors de l'incident, d'où la décision retenir cette espèce comme potentiellement indicatrice d'un impact lié au SO₂.



Figure 20 : Symptômes foliaires liés au SO₂ observés sur l'espèce *Codia discolor* lors de la prospection du 8 juin 2022



Figure 21 : Symptômes foliaires potentiellement liés au SO₂ observés sur l'espèce *Pancheria alaternoides* lors de la prospection du 8 juin 2022

Le nuage de SO₂ semble s'être écrasé sur le relief faisant face à l'usine au nord dans le début de la réserve de Forêt Nord. Les impacts sont visibles sur le sommet du pic et de façon plus diffuse au nord du pic en redescendant au nord jusqu'à la zone de forêt haute. Les symptômes sont ensuite indétectables sous couverts forestiers. La bordure de la forêt pourrait avoir été la limite physique du nuage de SO₂.

Sur l'ensemble des zones prospectées, des jeunes feuilles ont été observées sur les espèces indicatrices. Elles témoignent d'une reprise de la croissance des plantes à la suite de l'incident. L'équipe de terrain n'a

constaté aucune tâche persistante de dépérissement dans le paysage. L'ensemble des zones prospectées semblent saines.

CONCLUSION MISSION MAI-JUIN 2022 – PERIMETRE IMPACTE

Cette seconde mission n'a pas permis de délimiter avec précision une surface de périmètre réellement impacté par le nuage de SO₂ du 25 mai 2021 en raison des difficultés d'accès à la zone et à la moindre visibilité de l'impact un an après l'incident.

Cependant, elle permet de constater que le périmètre impacté est en réalité plus important que celui estimé par PRNC en juin 2021, en raison de symptômes observés sur des *Codia* au-delà des limites de ce périmètre initial. La présence de symptôme sur *Pancheria alaternoides* vient également potentiellement augmenter encore les limites du périmètre réellement impacté.

Malgré le fait que la zone impactée soit plus conséquente qu'initialement estimée, des signes de reprises sont constatés sur l'ensemble de cette zone.

IV.2. Identification des espèces végétales touchées par une exposition au SO₂

IV.2.1. Similitudes & différences d'observation

L'évaluation des membres de l'équipe Conservation de PRNC effectuée début juin 2021 signale 25 espèces présentant des symptômes potentiels, tandis que l'évaluation de Bota Environnement signale quant à elle 26 espèces.

Le tableau ci-dessous présente une comparaison des observations de Bota Environnement et PRNC, soit 29 espèces au total en tenant compte des désaccords ou différences d'observation. Les espèces qui présentent un doute d'identification des symptômes sont par ailleurs marquées d'un « ? » : les échanges avec les membres de l'Equipe Conservation de PRNC, habitués aux suivis symptomatologiques, révèlent en effet que parfois, la différenciation des symptômes foliaires liés à l'effet du SO₂ ou à l'effet des pathogènes est difficile à évaluer parce que d'aspect semblable sur certaines espèces.

Genre espèce	Espèces impactées (PRNC, missions du 2, 3 et 7 juin)	Espèces impactées (Bota Environnement, mission du 6 juillet)	Sévérité des symptômes (Bota Environnement)
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	X	X	1 à 2
<i>Austrobuxus cuneatus</i>	X	-	-
<i>Austrobuxus carunculatus</i>	-	?	?
<i>Cerberiopsis candelabra</i>	X	X	1
<i>Codia discolor</i>	X	X	1 à 4
<i>Codia nitida</i>	X	X	1 à 2
<i>Codia spatulata</i>	X	X	1 à 3
<i>Dracophyllum sp1</i>	X	?	?
<i>Dracophyllum sp2</i>	X	?	?

<i>Dubouzetia confusa</i>	-	X	1
<i>Geissois sp</i>	X	?	?
<i>Grevillea exul</i>	X	X	1 à 2
<i>Hibbertia lucens</i>	X	?	?
<i>Hibbertia pancheri</i>	X	X	1
<i>Melaleuca pancheri</i>	X	?	?
<i>Montrouziera sphaeroidea</i>	X	X	1 à 3
<i>Myodocarpus involucratus</i>	X	X	1
<i>Pancheria alaternoides</i>	X	X	1 à 2
<i>Pancheria billardieri</i>	X	-	-
<i>Pancheria ternata</i>	-	X	1 à 2
<i>Polyscias pancheri</i>	X	X	1
<i>Pteridium esculentum</i>	X	X	1 à 2
<i>Scaevola cylindrica</i>	X	?	?
<i>Smilax sp</i>	X	?	?
<i>Spathoglottis plicata</i>	X	-	-
<i>Styphelia sp1 (petites feuilles)</i>	X	?	?
<i>Styphelia sp2 (grandes feuilles)</i>	X	?	?
<i>Uromyrtus emarginatus</i>	-	X	1
<i>Uromyrtus myrtilloides</i>	X	X	1

"?": la différenciation des symptômes foliaires observés liés à l'effet du SO₂, ou à l'effet d'autres facteurs est difficile à évaluer.

"-": l'espèce n'a pas été observée.

Degré de sévérité des symptômes foliaires - 1 : 1-25%, individu impacté sur une légère partie du feuillage - 2 : 25-50%, individu touché pratiquement sur la moitié de son feuillage - 3 : 50-75%, individu touché sur plus de la moitié de son feuillage - 4 : au-delà de 75%, individu pratiquement touché dans son ensemble de son feuillage.

Figure 22 : Liste des espèces observées le 6 juillet 2021 par Bota Environnement présentant des symptômes foliaires et évaluation du degré de sévérité des symptômes, comparées aux observations de PRNC

La comparaison des deux listes révèle 22 espèces en commun. Les différences s'expliquent par le fait que certaines espèces listées par PRNC n'ont pas été observées lors des prospections de Bota Environnement (*Spathoglottis plicata*), ou inversement (*Dubouzetia confusa*, *Uromyrtus emarginatus*), ou le fait que les identifications botaniques varient très légèrement en raison d'erreurs d'identification d'espèce liée au manque de pièce fertile (*Austrobuxus cuneatus* et *Austrobuxus carunculatus*, *Pancheria billardieri* et *Pancheria ternata*).

D'après le botaniste de Bota Environnement, sur les 26 espèces recensées dans le périmètre impacté, 16 espèces présentent des symptômes foliaires caractéristiques d'une exposition aigüe au SO₂ atmosphérique. Les 10 autres espèces ont été considérées sans certitude que les symptômes observés soient dus au SO₂.

La seconde mission de terrain réalisée par Bota environnement en mai-juin 2022, soit un an après l'incident, n'a conduit à l'observation d'aucune nouvelle espèce impactée étant donné que les symptômes foliaires étaient bien moins visibles qu'en juin 2021 et que les observations se sont concentrées principalement sur les espèces les plus sensibles au SO₂ (du genre *Codia* et *Pancheria*) dans le but de confirmer le périmètre impacté.

IV.2.2. Cas de *Codia nitida*

Au-delà de ces différences, on notera que l'espèce *Codia nitida* a été considérée comme sévèrement impactée par PRNC, mais uniquement faiblement à moyennement impactée par Bota Environnement. A noter d'ailleurs que certains individus localisés dans des zones pourtant très impactées (bordure de route) ne présentaient aucun symptôme foliaire, tel que vu dans la figure suivante :



Figure 23 : Individu de *Codia nitida* non impacté, vu par Bota Environnement dans une zone très impactée (bordure de route) lors de la mission du 6 juillet 2021

Il est possible que l'évaluation de la sévérité des symptômes ne soit pas la même entre les deux équipes (PRNC et Bota Environnement) pour une même espèce, pour la simple raison que d'un côté, tous les individus d'une même espèce ne sont pas impactés de la même manière, et que d'un autre, l'analyse visuelle des symptômes ne s'est pas obligatoirement portée sur les mêmes individus. Il est donc tout à fait possible, avec un temps de prospection alloué plus long, que Bota environnement aurait pu lui aussi rencontrer des individus de *Codia Nitida* fortement impactés.

IV.2.3. Symptômes très marqués sur *Codia discolor*

Une défoliation importante a été notée sur certains individus de *Codia discolor*, signe d'une nécrose des feuilles puis de leur chute dus au pic de SO₂ survenu le 25 mai 2021. De plus, *Codia discolor* a présenté, par rapport à l'ensemble des espèces enregistrées comme impactées, des symptômes très marqués sur de nombreux individus. Les symptômes sur cette espèce consistent en des nécroses inter nervales et des nécroses marginales brunes recouvrant, dans les cas les plus sévères, la quasi-totalité du limbe foliaire et du feuillage des individus, la rendant intéressante pour un suivi post-incident, et tel que vu dans la figure suivante :



Figure 24 : Illustration photographique des symptômes foliaires dus à une exposition aiguë au SO₂ atmosphérique sur l'espèce *Codia discolor*

IV.2.4. Mortalité

Il est à noter qu'aucun cas de mortalité pouvant être attribué à l'incident n'a été recensé dans la zone prospectée au cours des différentes missions de juillet 2021 et mai-juin 2022.

CONCLUSION – ESPECES IMPACTEES

A quelques exceptions près, les observations de Bota environnement et de PRNC concernant la liste des espèces concernées par des symptômes foliaires liés au SO₂ suite à l'incident du 25 mai 2021 se recourent. Ces observations ont également confirmé l'intérêt du genre *Codia* pour la réalisation de suivi post-incident, et en particulier de l'espèce *Codia discolor*, présente des symptômes très marqués et de manière systématique.

iv.3. Mise en place d'un dispositif de suivi de l'impact de l'exposition au SO₂

IV.3.1. Mission initiale de juillet 2021

IV.3.1.a. Caractérisation de la végétation autour des transects

De manière générale, les végétations impactées dans la zone des transects sont de types maquis arbustifs à *Codia discolor* ouvert à semi-ouvert sur sol ferrallitique gravillonnaire, avec un recouvrement au sol de la strate arbustive autour de 30 à 60% pour une hauteur moyenne de l'ordre de 1 à 2 m.

On notera la présence d'une strate herbacée à faible recouvrement sur les deux transects (recouvrement au sol entre 20 et 40%) principalement composée de *Lepidosperma perteres*, *Costularia comosa* et *Costularia nervosa*.

La richesse spécifique totale inventoriée sur les deux transects de suivi est 45 espèces, dont 40 sur le transect 1 et 35 sur le transect 2. La liste des espèces présentes sur les deux transects de suivi est présentée en annexe VII.3.

IV.3.1.b. Indice de symptômes foliaires

La sévérité des symptômes visibles sur les feuilles, sous la forme de nécroses inter nervales ou marginales, a été notée en utilisant un indice sur une échelle de 0 à 4. Plus l'indice est élevé, plus le feuillage de l'individu est impacté par les symptômes foliaires liés au SO₂. Les deux transects obtiennent les résultats suivants :

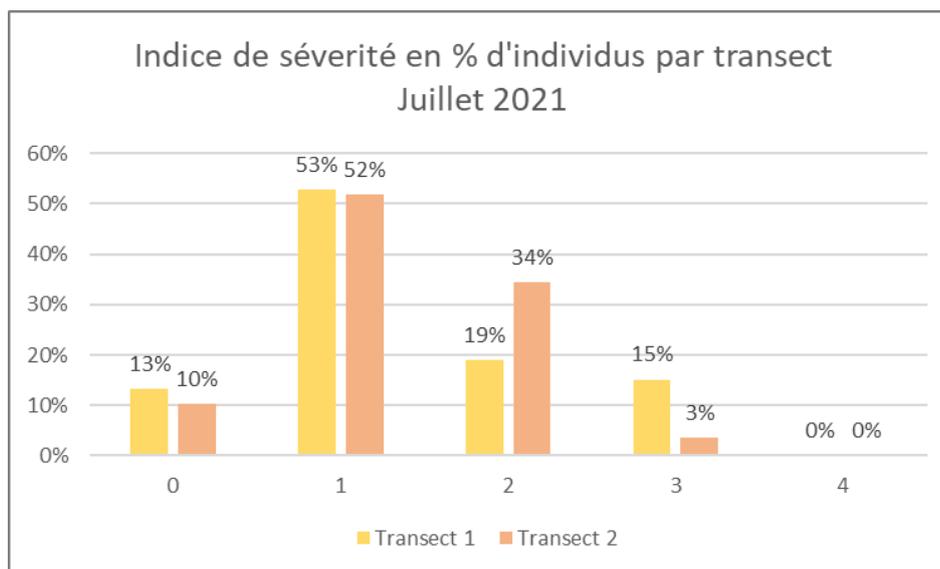


Figure 25 : Indices de sévérité des symptômes - Juillet 2021

En juillet 2021, les individus présentent les symptômes foliaires suivants :

- Aucun individu n'est touché sur l'ensemble de son feuillage (indice 4) ;
- 15% des individus du transect 1 et 3% des individus du transect 2 sont touchés sur plus de la moitié de leur feuillage (indice 3) ;
- 19% des individus du transect 1 et 34% des individus du transect 2 sont touchés jusqu'à la moitié de leur feuillage (indice 2) ;
- 53% des individus du transect 1 et 52% des individus du transect 2 sont touchés sur un quart de leur feuillage (indice 1) ;
- 13% des individus du transect 1 et 10% des individus du transect 2 ne montrent pas de symptômes foliaires (indice 0) ;

De manière générale, les individus des transects 1 et 2 semblent touchés de façon similaire par les symptômes foliaires (87% des individus du transect 1 et 90% des individus du transect 2 présentent des symptômes foliaires plus ou moins sévères). Les deux transects sont également touchés de manière relativement semblable en termes de sévérité des symptômes.

IV.3.1.c. Indice de défoliation

Comme pour l'indice de sévérité des symptômes foliaires, l'indice de défoliation est proportionnel à la quantité de chute des feuilles : plus le coefficient est élevé (de 0 à 4), plus une quantité importante de feuilles est tombée. Les deux transects obtiennent les résultats suivants :

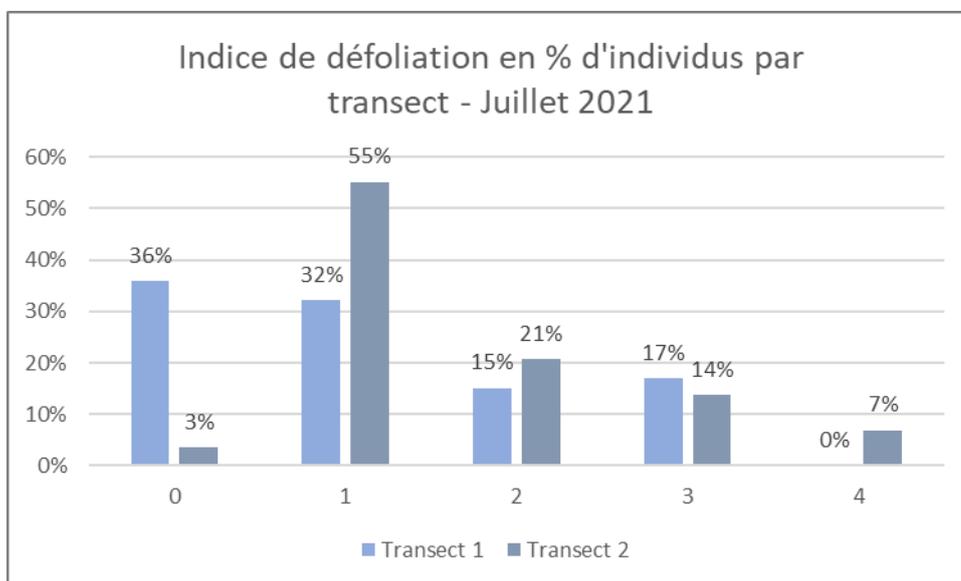


Figure 26 : Indices de défoliation - Juillet 2021

En juillet 2021, les individus présentent la défoliation suivante :

- 7% des individus du transect 2 ont perdu la totalité ou presque de leur feuillage contre aucun individu du transect 1 (indice 4) ;
- 17% des individus du transect 1 et 14% de ceux du transect 2 ont perdu plus de 50% de leur feuillage (indice 3) ;
- 15% des individus du transect 1 et 21% de ceux du transect 2 ont perdu jusqu'à 50% de leur feuillage (indice 2) ;
- 32% des individus du transect 1 et 55% de ceux du transect 2 ont perdu jusqu'à 25% de leur feuillage (indice 1) ;
- 36% des individus du transect 1 et 3% de ceux du transect 2 ne sont pas touchés (indice 0) ;

De manière générale, les individus du transect 2 sont davantage défoliés que ceux du transect 1 (64% des individus du transect 1 contre 97% des individus du transect 2 présentent une défoliation plus ou moins sévère). Le transect 2 semble également plus touché en termes de sévérité de la défoliation.

Ces résultats semblent indiquer que le transect 1, pourtant plus proche de l'usine d'acide que le transect 2, aurait été moins impacté par la pollution liée au SO₂ atmosphérique.

Ces différences entre les transects pourraient s'expliquer par une retombée plus importante des particules de soufre sur le transect 2, pourtant plus éloigné de l'usine d'acide de 100 m environ, mais aussi par le fait que le transect 2 est localisé au niveau d'une zone plus ouverte, sur pente et plus exposée aux vents.

Notons également que cette différence pourrait être liée à l'état phytosanitaire des végétations au moment de l'incident. Les observations réalisées sur une même zone impactée montrent que la réaction aux pollutions atmosphériques des individus d'une espèce n'est pas équivalente d'un individu à l'autre, dépendant de facteurs multiples incluant l'âge ou l'état phytosanitaire entre autres éléments de l'état physiologique de la plante. Ainsi, deux individus d'une même espèce en zone impactée par un pic de SO₂, donc très proches géographiquement, pourraient présenter pour l'un des symptômes sévères et pour l'autre peu ou pas de symptômes. A noter que les plantes au niveau du transect 2 semblent plus affaiblies par les feux anciens et potentiellement plus sensibles au SO₂ que celles du transect 1.

IV.3.1.d. Indice de présence/absence de jeunes feuilles & bourgeons

Cet indice binaire représente la présence ou l'absence de jeunes feuilles ou bourgeons sous une forme numérique (1 ou 0). Les deux transects obtiennent les résultats suivants :

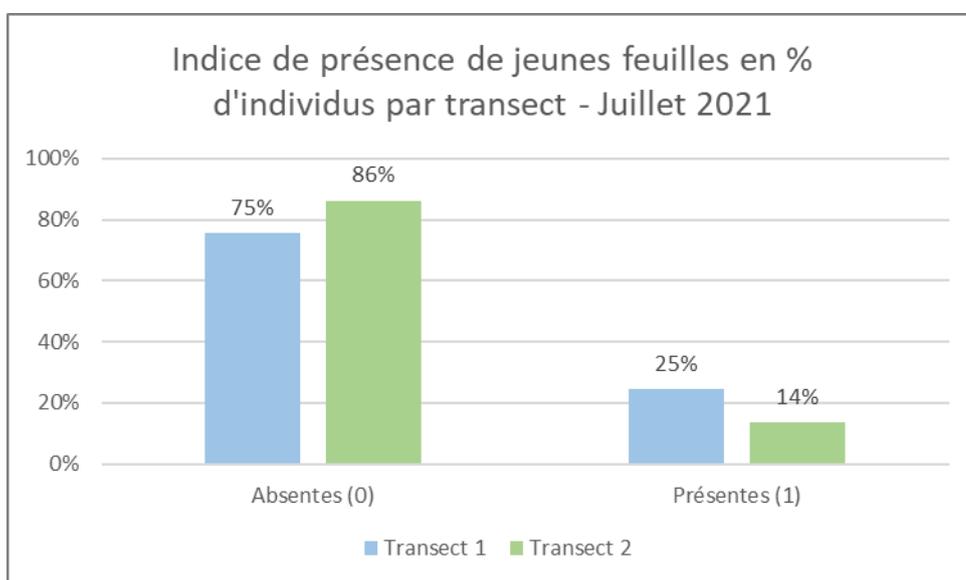


Figure 27 : Indices de présence de jeunes feuilles et bourgeons - Juillet 2021

La présence / absence de jeunes feuilles sur les individus étudiés est relativement semblable entre les deux transects. En moyenne, environ 79% des individus ne présentent pas de jeunes feuilles ou bourgeons, contre 21% en présentant.

On notera que ces individus porteurs de jeunes feuilles sont des individus plus ou moins impactés par le pic de pollution étant donné que les indices de sévérité des symptômes foliaires et de défoliation sont très variables d'un individu à l'autre. Pour l'illustrer, des jeunes feuilles sont en effet observées sur des individus sans symptômes (individu 47), mais également sur des individus présentant des symptômes assez sévères de défoliation et de nécroses foliaires, avec au moins l'un de ces paramètres dont l'indice est supérieur ou égal à 3 (individus 16, 19, 32, 46, 49, 54, 65 et 82).

Il est également à noter que ces jeunes feuilles n'ont été vues que sur des individus de l'espèce *Codia discolor* et majoritairement sur le transect 1. Cette observation peut cependant être mitigée par le fait que l'espèce est plus représentée, et que le transect 1 compte plus d'individus que le transect 2.

Les 17 individus présentant des jeunes feuilles et bourgeons sont présentées ci-après :

N° transect	N° individu	Espèce	Indice de sévérité des symptômes	Indice de défoliation	Indice de présence de jeunes feuilles
1	4	<i>Codia discolor</i>	2	1	1
1	16	<i>Codia discolor</i>	1	3	1
1	19	<i>Codia discolor</i>	3	3	1
1	32	<i>Codia discolor</i>	1	3	1
1	33	<i>Codia discolor</i>	1	1	1
1	43	<i>Codia discolor</i>	1	1	1
1	44	<i>Codia discolor</i>	1	1	1
1	45	<i>Codia discolor</i>	1	0	1
1	46	<i>Codia discolor</i>	3	3	1
1	47	<i>Codia discolor</i>	0	0	1
1	49	<i>Codia discolor</i>	3	1	1
1	53	<i>Codia discolor</i>	2	2	1
1	54	<i>Codia discolor</i>	2	3	1
2	58	<i>Codia discolor</i>	0	0	1
2	62	<i>Codia discolor</i>	2	2	1
2	65	<i>Codia discolor</i>	3	1	1
2	82	<i>Codia discolor</i>	2	4	1

Figure 28 : Tableau croisé de la présence de jeunes feuilles avec les indices du degré de sévérité des symptômes et de défoliation

Au regard de ces résultats, la question se pose également de savoir si ces jeunes feuilles et bourgeons foliaires sont apparus sur les individus touchés avant ou après l'exposition au SO₂ atmosphérique.

Ils montrent en tous les cas que 21 % des individus étudiés ont au moins conservé des jeunes feuilles qui semblent viables et ceci souvent malgré la présence de symptômes liés à l'exposition au SO₂ sur les feuilles adultes.

CONCLUSION MISSION JUILLET 2021 – SUIVI DES TRANSECTS

L'étude des paramètres de l'impact de l'exposition ponctuelle au SO₂ atmosphérique sur la végétation montre que les individus de *Codia* suivis sont, dans une très large majorité, touchés par des symptômes foliaires caractéristiques d'une exposition au SO₂. 76% des individus suivis présentent une défoliation et 88% des symptômes foliaires. Ces impacts sur la végétation n'ont cependant entraîné la mort d'aucun individu sur les transects de suivi.

Si la sévérité des symptômes apparaît comme similaire, il semblerait que les individus suivis du transect 2 auraient été davantage impactés que ceux du transect 1 au regard de l'indice de défoliation (64% des individus sur le transect 1, contre 97% des individus du transect 2), et ceci malgré le fait que le transect 2 est plus éloigné d'environ 100 m de l'usine d'acide.

Cette différence entre les deux transects est difficile à expliquer étant donné leur proximité. Il est possible qu'une retombée de SO₂ très localisée sur le transect 2 l'ait particulièrement impacté, sans que cette hypothèse puisse être confirmée, en l'absence de mesures de SO₂ atmosphérique très localisées. Cette différence peut également être liée aux conditions du milieu (maquis ouvert sur pente) du transect 2, ou

encore à l'état phytosanitaire des végétations au moment de l'incident, avec des plantes plus affaiblies par les feux passés au niveau du transect 2.

L'ensemble de ces observations doit être considéré comme un état initial, servant avant tout d'état de référence de la végétation présente sur les transects de suivi. La réalisation d'une mission de suivi pour le contrôle de l'évolution des individus marqués permettrait d'enrichir les données collectées et de déterminer l'effet à moyen terme de l'exposition au SO₂ atmosphérique dans ce secteur le plus impacté.

Cette mission de suivi permettrait d'évaluer les tendances d'évolution du phénomène de dépérissement de la végétation suivie à l'aide de l'indice de sévérité des symptômes et de défoliation, mais également d'évaluer une éventuelle reprise de l'activité biologique des individus, principalement à l'aide de l'indice de présence de jeunes feuilles et bourgeons.

IV.3.2. Missions complémentaires de mai 2022

IV.3.2.a. Indice de symptômes foliaires

Les deux transects obtiennent les résultats suivants :

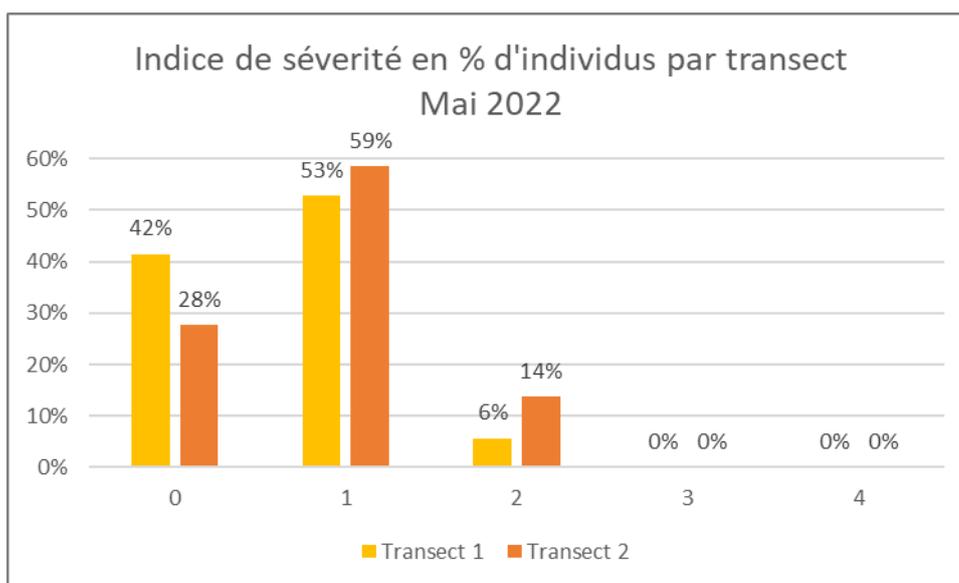


Figure 29 : Indices de sévérité des symptômes - Mai 2022

En 2022, les individus présentent les symptômes foliaires suivants :

- Aucun individu n'est touché sur l'ensemble de son feuillage en 2021 comme en 2022 (indice 4) ;
- Plus aucun individu n'est touché sur plus de la moitié de son feuillage en 2022 (indice 3) ;
- 6% des individus du transect 1 et 14% des individus du transect 2 sont touchés jusqu'à la moitié de leur feuillage (indice 2) ;
- 53% des individus du transect 1 et 59% des individus du transect 2 sont touchés sur un quart de leur feuillage (indice 1) ;
- 42% des individus du transect 1 et 28% des individus du transect 2 ne présentent pas de symptômes foliaires (indice 0) ;

De manière générale, les individus du transect 2 présentent davantage de symptômes foliaires que ceux du transect 1 (59% des individus du transect 1 contre 73% des individus du transect 2 présentent des symptômes foliaires. Les deux transects sont touchés de manière relativement semblable en termes de sévérité des symptômes.

IV.3.2.b. Indice de défoliation

Les deux transects obtiennent les résultats suivants :

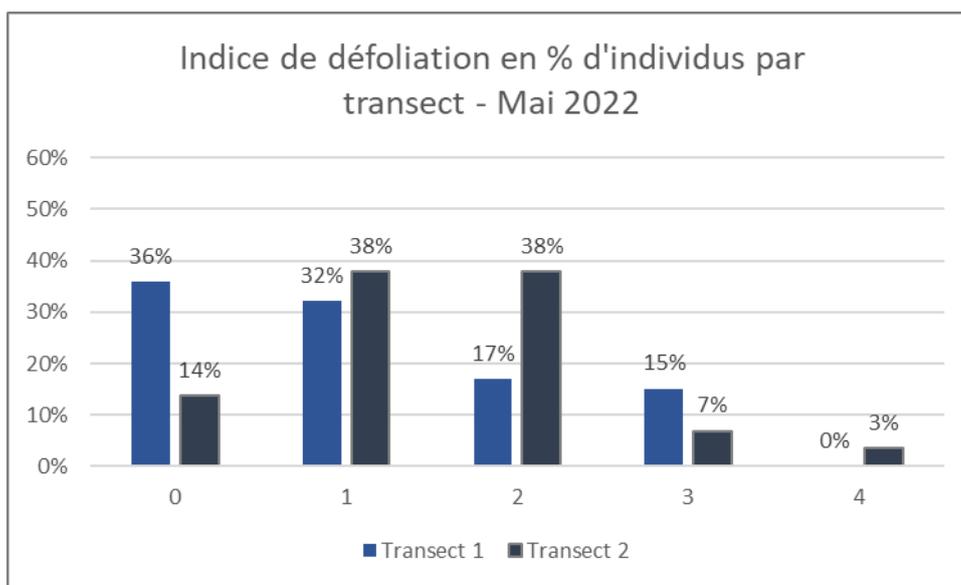


Figure 30 : Indices de défoliation - Mai 2022

En 2022, les individus présentent la défoliation suivante :

- 3% des individus du transect 2 ont perdu la totalité ou presque de leur feuillage contre aucun individu du transect 1 (indice 4) ;
- 15% des individus du transect 1 et 7% de ceux du transect 2 ont perdu plus de 50% de leur feuillage (indice 3) ;
- 17% des individus du transect 1 et 38% de ceux du transect 2 ont perdu jusqu'à 50% de leur feuillage (indice 2) ;
- 32% des individus du transect 1 et 38% de ceux du transect 2 ont perdu jusqu'à 25% de leur feuillage (indice 1) ;
- 36% des individus du transect 1 et 14% de ceux du transect 2 ne sont pas touchés (indice 0) ;

De manière générale, les individus du transect 2 sont davantage défoliés que ceux du transect 1 (64% des individus du transect 1 contre 86% des individus du transect 2 présentent une défoliation. Le transect 2 semble également plus touché en termes de sévérité des symptômes.

IV.3.2.c. Indice de présence/absence de jeunes feuilles & bourgeons

Les deux transects obtiennent les résultats suivants :

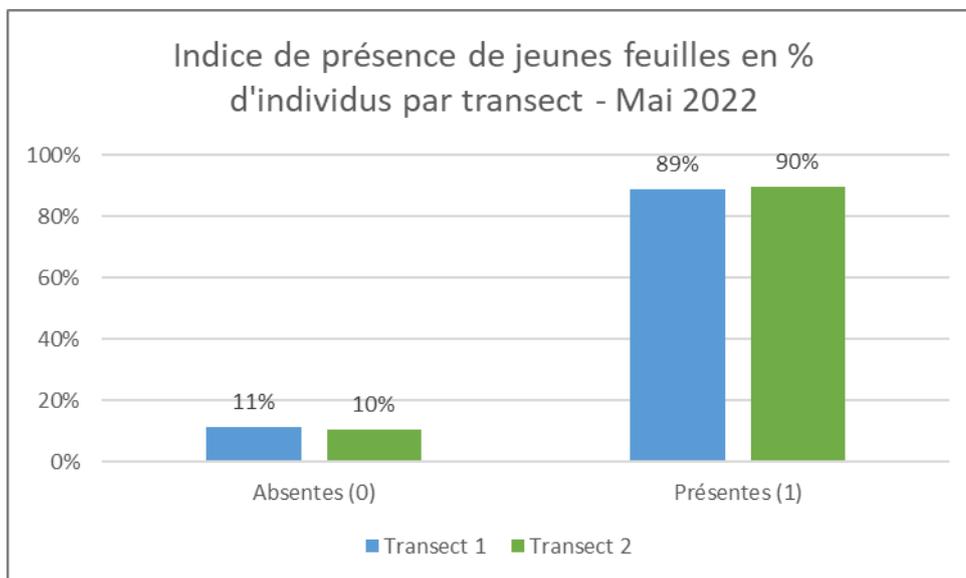


Figure 31 : Indices de présence de jeunes feuilles et bourgeons - Mai 2022

En 2022, les deux transects ne présentent pas de différence notable entre eux, puisque 89% des individus du transect 1 et 90% de ceux du transect 2 présentent en 2022 des jeunes feuilles et bourgeons.

Cette présence de jeunes feuilles et de bourgeons sur la plupart des individus des deux transects est un signe très positif qui signale une possible reprise de la végétation un an après l'incident au SO₂.

IV.3.2.d. Comparaison des indices de symptômes foliaires en 2021 et 2022

La figure suivante présente les résultats obtenus sur les transects en 2021 et 2022 :

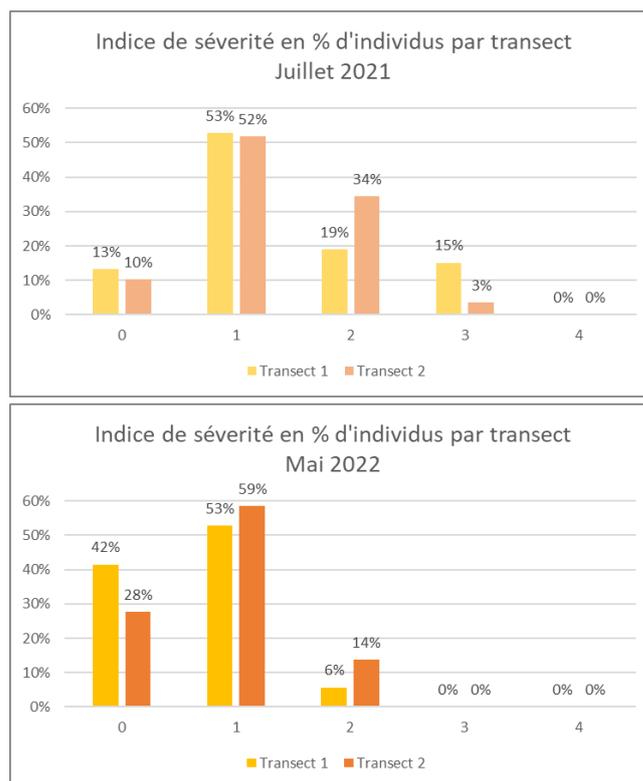


Figure 32 : Comparaison des indices de sévérité entre 2021 et 2022

La comparaison des observations faites en 2021 et 2022 permet de faire les constats suivants :

- Comme en 2021, aucun individu ne présente de symptômes d'indice 4 ;
- Plus aucun individu n'est impacté par les symptômes d'indice 3 sur aucun des deux transects ;
- Baisse importante du nombre d'individus présentant des symptômes d'indice 2 (de 68% sur le transect 1 et de 58% sur le transect 2)
- Légère augmentation des individus présentant des symptômes d'indice 1 sur le transect 2 (de 13%) et stagnation pour les individus du transect 1 ;
- Baisse de 25% du nombre d'individus présentant des symptômes foliaires tous indices confondus et triplement sur les deux transects du pourcentage d'individus sans symptômes (indice 0).

La baisse globale du nombre d'individus présentant des symptômes indique qu'il n'y a probablement pas eu de nouvel épisode de pollution au SO₂ depuis celui du 25 mai 2021, et donc pas d'apparition de nouveau symptômes.

L'amélioration des indices observée pour un grand nombre d'individus est illustré sur la figure ci-dessous :



Figure 33 : Individu 27 d'indice 1 en 2021 (gauche) et d'indice 0 en 2022 (droite)

IV.3.2.e. Comparaison des indices de défoliation en 2021 et 2022

La figure suivante présente les résultats obtenus sur les transects en 2021 et 2022 :

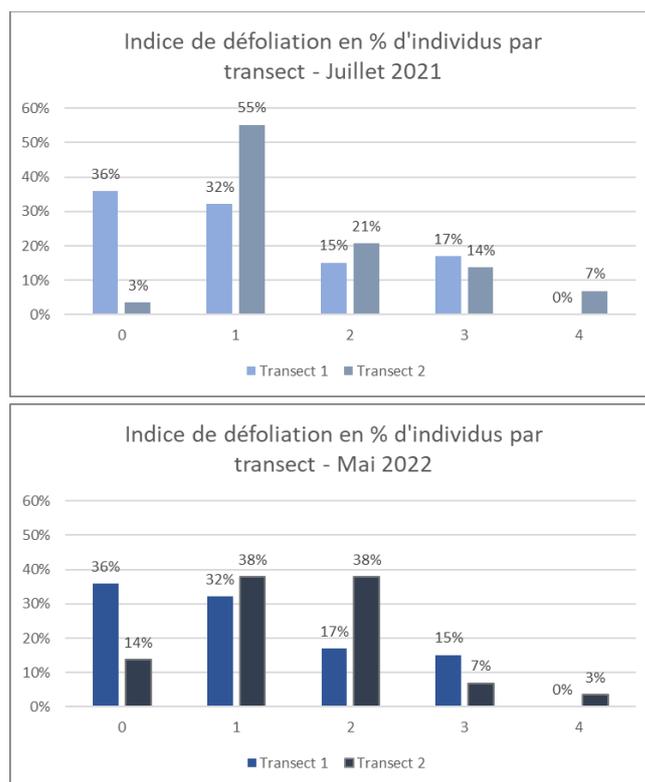


Figure 34 : Comparaison des indices de défoliation entre 2021 et 2022

La comparaison des observations faites en 2021 et 2022 permet de faire les constats suivants :

- Stabilisation globale du nombre d'individus présentant de la défoliation tous indices confondus sur le transect 1.

- Le transect 2 présente une baisse du nombre d'individus présentant de la défoliation tous indices confondus, le nombre d'individus non défoliés ayant été multiplié par 4. On voit cependant que les défoliations d'indice 2 ont quasiment doublé.

La baisse de la défoliation sur le transect 2 est illustrée ci-dessous :



Figure 35 : Individu 76 en 2021 (indice 1) et 2022 (indice 0)

Les observations de terrain ont mis en évidence que les pieds exposés au nuage de SO₂ semblent plus fortement impactés que les plants protégés par d'autres essences plus résistantes au SO₂. Deux pieds exposés étaient particulièrement défoliés en 2021 : individus 82 et 83 du transect 2 (VII.7. . L'individu 83 est toujours très défolié en 2022, l'ensemble des branches sont mortes et il repousse à partir de la souche. L'individu 82 est en bonne voie de repousse en 2022, avec une régénération en base et la repousse de feuilles sur certaines branches.

IV.3.2.f. Comparaison des indices de jeunes feuilles & bourgeons en 2021 et 2022

La figure suivante présente les résultats obtenus sur les transects en 2021 et 2022 :

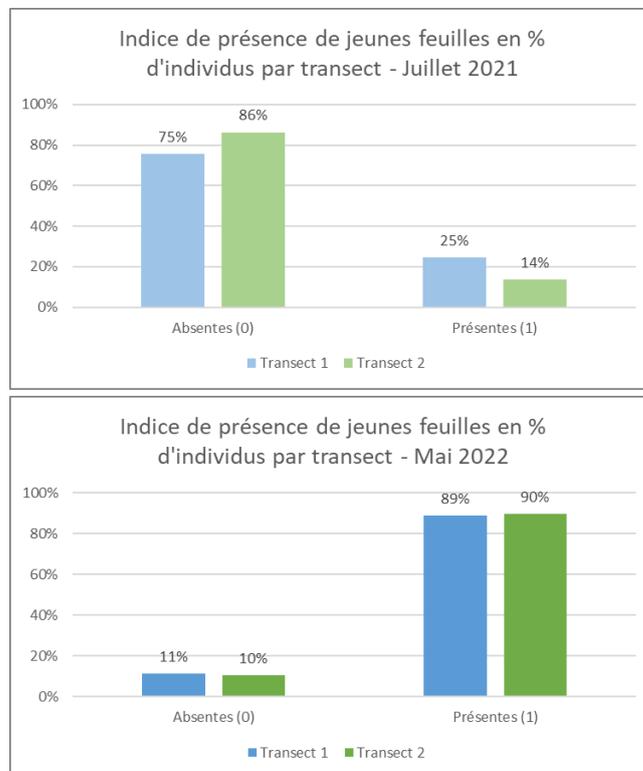


Figure 36 : Comparaison des indices de présence de jeunes feuilles et bourgeons entre 2021 et 2022

La comparaison des observations faites en 2021 et 2022 permet de faire les constats suivants :

- Une augmentation très importante du nombre d'individus présentant des jeunes feuilles et bourgeons sur les deux transects, et approchant les 90% ;
- La persistance d'environ 10 % d'individus sur chaque transect n'ayant pas produit de jeunes feuilles ou bourgeons ;
- Une différence entre les deux transects qui passe de faible à quasi-inexistante.

Il est donc constaté que les individus étudiés ayant des jeunes feuilles et des bourgeons, en grande majorité, ont été capables de produire des organes végétatifs apparemment viables, et ce souvent malgré la défoliation et la présence de symptômes.

Ce constat est illustré sur les photos ci-dessous :



Figure 37 : Individu 49 en 2021 (indice 3 de sévérité des symptômes) et 2022 (indice 0 de sévérité des symptômes et jeunes feuilles)

IV.3.2.g. Evolution du pourcentage d'individus impactés selon le niveau d'indice

La figure suivante montre la variation entre 2021 et 2022 du pourcentage d'individus (tous transects confondus) présentant des symptômes foliaires et de défoliation, en le déclinant par indice de sévérité des impacts.

Les individus ayant un indice initial de sévérité de 0 sont ignorés, supposant qu'ils n'ont pas été impactés. Aucun individu ne présentant initialement des symptômes d'indice 4, cette catégorie est également ignorée.

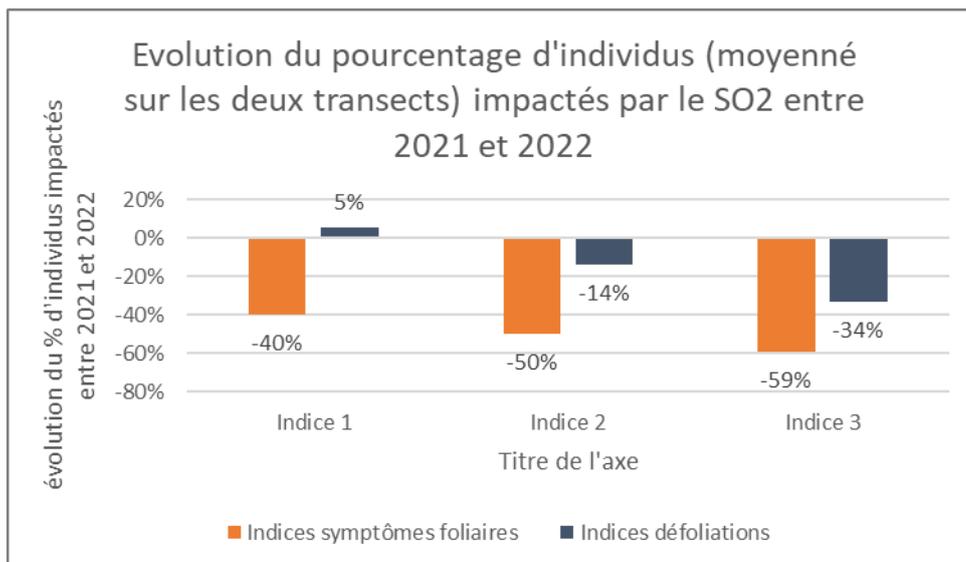


Figure 38 : Evolution du pourcentage d'individus impactés par le SO₂ entre 2021 et 2022

Cette comparaison permet de constater que :

- Les baisses de pourcentages d'individus impactés pour les deux types d'indices (symptômes foliaires et défoliation) vont de pair ;
- Les baisses de pourcentages d'individus impactés pour les deux types d'indices (symptômes foliaires et défoliation) sont d'autant plus importantes que la sévérité de l'impact est élevée.

IV.3.2.h. Evolution de la proportion totale d'individus symptomatiques et défoliés

La figure suivante présente les résultats pour ces deux proportions, pour tous les individus, en 2021 et 2022 :

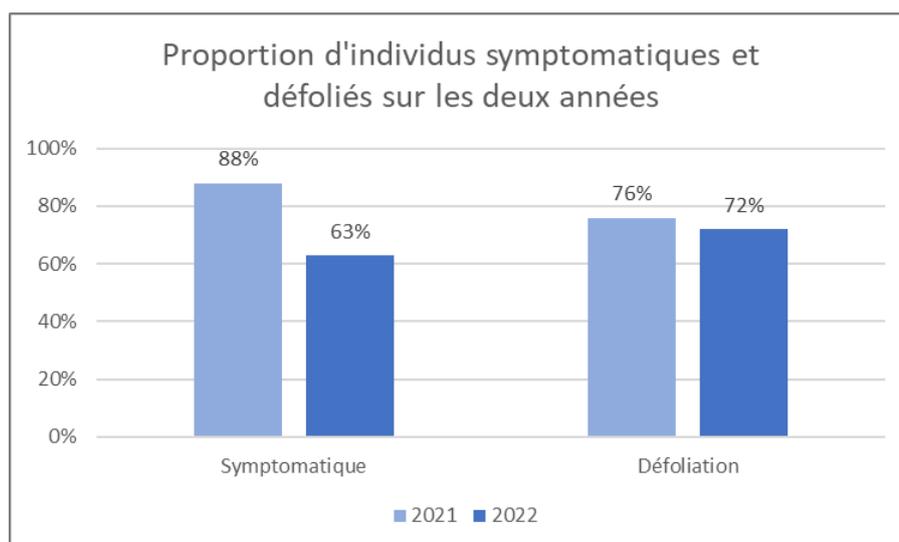


Figure 39 : Comparaison des proportions d'individus symptomatiques et défoliés en 2021 et 2022

On notera que la défoliation est relativement stable entre 2021 et 2022, alors que les symptômes des individus en 2022 semblent avoir diminué par rapport à 2021.

La chute de l'indice moyen de symptômes observables après une année peut s'expliquer par le fait qu'une partie des feuilles impactées sont tombées et ont été remplacées par des jeunes feuilles saines. Par ailleurs, on observe toujours les stigmates de la défoliation sur la plupart des individus observés en 2021, l'indice de défoliation n'étant pas suffisamment fin pour distinguer un pourcentage de défoliation de 20% d'un pourcentage de défoliation de moins de 5%. Toutefois, en observant les photos de l'évolution de chaque plante, on constate une croissance généralisée de nouvelles feuilles qui témoigne de la reprise de la végétation suite à l'incident.

IV.3.2.i. Evolution des indices de jeunes feuilles & bourgeons selon l'indice des symptômes foliaires de 2021

La figure suivante montre les pourcentages d'individus (tous transects confondus) présentant des jeunes feuilles/bourgeons en 2021 et 2022 en fonction de l'indice de sévérité des symptômes foliaires de 2021.

Les individus ayant un indice initial de sévérité de 0 sont ignorés, supposant qu'ils n'ont pas été impactés. Aucun individu ne présentant initialement des symptômes d'indice 4, cette catégorie est également ignorée.

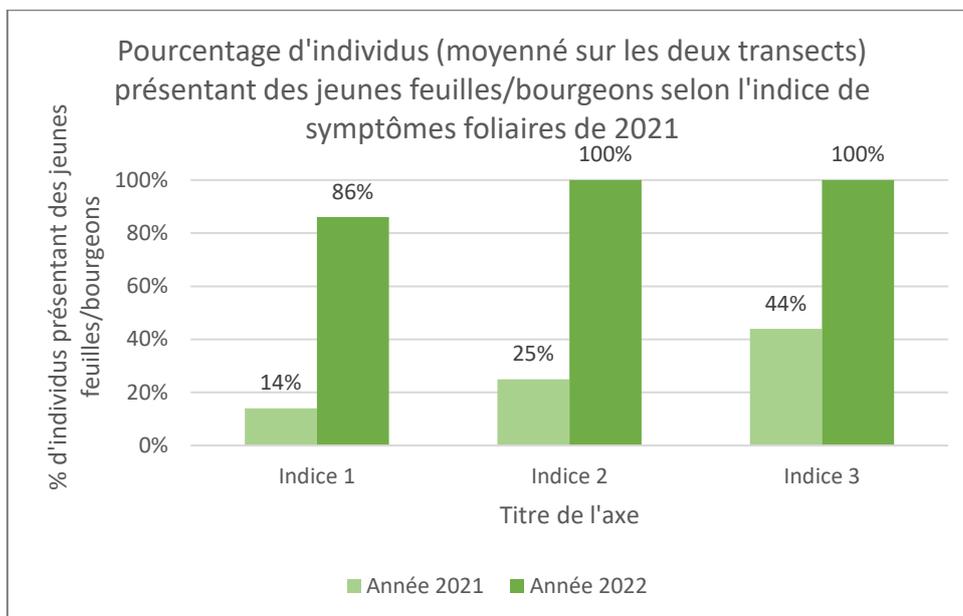


Figure 40 : Pourcentage d'individus présentant des jeunes feuilles/bourgeons selon l'indice de symptômes foliaires de 2021

Cette comparaison permet de constater que :

- En juillet 2021 (1 mois après l'incident), le pourcentage d'individus présentant des jeunes feuilles/ bourgeons est d'autant plus élevé que l'indice de sévérité des symptômes de 2021 était important
- En 2022, le constat est identique mais limité par le fait que les pourcentages d'individus qui présentaient des symptômes foliaires d'indice 2 et 3 en 2021 ont atteint les 100%.

Ces constatations suggèrent une reprise de la végétation très importante et d'autant plus forte que les individus ont été fortement impactés par le SO₂ en 2021, comme l'illustre les photos ci-dessous :



Figure 41 : Individu 48 en 2021 et 2022

Le tableau ci-dessous récapitule les indices que présentaient en 2021 et 2022 les 10% d'individus (9) qui ne présentent pas de jeunes feuilles ou bourgeons en 2022 :

N° transect	N° individu	Espèce	Indice de sévérité des symptômes		Indice de défoliation		Indice de présence de jeunes feuilles	
			2021	2022	2021	2022	2021	2022
1	15	<i>Codia discolor</i>	1	0	0	0	0	0
1	20	<i>Codia discolor</i>	1	1	3	3	0	0
1	34	<i>Codia discolor</i>	1	0	0	1	0	0
1	38	<i>Codia discolor</i>	0	0	0	0	0	0
1	39	<i>Codia spatulata</i>	1	1	1	1	0	0
1	40	<i>Codia discolor</i>	0	1	0	0	0	0
2	56	<i>Codia discolor</i>	1	0	1	0	0	0
2	58	<i>Codia discolor</i>	0	0	0	0	1	0
2	71	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	2	0	0

Figure 42 : Tableau croisé de l'absence de jeunes feuilles avec les indices du degré de sévérité des symptômes et de défoliation

Il s'agit d'individus de *Codia discolor* (8) et de *Codia spatulata* (1), dont la taille varie entre 0,4 et 1,5 m. Les symptômes foliaires liés au SO₂ de 2021 et 2022 sont soit absents, soit faible (indice 1). Le constat est identique pour les indices de défoliation (absence de défoliation ou faible défoliation d'indice 1), à l'exception de l'individu 20 qui présentait des indices 3 en 2021 et 2022 et l'individu 71 qui présentait un indice 2 en 2022.

En conclusion, la quasi-totalité des individus n'ayant toujours pas refait de jeunes feuilles/bourgeons en 2022 n'étaient pas concernés par des impacts sévères en 2021 et 2022, ce qui laisse entendre que l'absence de reprise chez ces individus est indépendante de l'épisode de pollution au SO₂ du 25 mai 2021.

IV.3.2.j. Autres paramètres étudiés sur les transects

L'immense majorité des plantes sont touchées par des dégâts attribuables aux insectes (95%). On peut également noter un nombre minoritaire de plantes (42%) dont les jeunes feuilles sont elles aussi en partie consommées par des insectes.

La taille des jeunes feuilles est finalement jugée sans pertinence dans cette étude étant donné qu'il est difficile de savoir, sur les plantes observées, si la taille plus petite des feuilles est due au fait qu'elles soient en cours de développement, que la plante ait accès à moins de ressource, ou que le bourgeon ait été piqué et induise une croissance anormale des feuilles.

Des déformations de jeunes feuilles ont été constatées sur 3 individus, mais sans possibilité de dire si c'est lié au SO₂ car des déformations ont également été observées sur des *Codia* situés hors d'influence.

CONCLUSION MISSION MAI 2022 – SUIVI DES TRANSECTS

En 2022, on constate que le transect 2 est plus affecté que le transect 1, que ce soit en pourcentage d'individus concernés par les symptômes foliaires ou par la défoliation. La reprise est cependant à peu près identique sur les deux transects. Les hypothèses formulées pour expliquer les raisons qui font que le transect 2 est plus touché que le transect 1 sont données page 36.

La comparaison des résultats 2022 avec ceux de 2021 conclut à une baisse du pourcentage d'individus concernés par les symptômes foliaires, mais à une stagnation de la défoliation. Ces deux constats peuvent s'expliquer par le fait que la perte des feuilles impactées aurait permis une diminution du pourcentage d'individus présentant des symptômes foliaires.

La reprise est quant à elle très forte en 2022, puisque 90% des individus ont produit des jeunes feuilles/bourgeons. Il est par ailleurs intéressant de noter que les 10% d'individus n'ayant toujours pas refait de jeunes feuilles/bourgeons n'étaient pas concernés par des impacts sévères en 2021 et 2022, ce qui laisse entendre que l'absence de reprise chez ces individus est indépendante de l'épisode de pollution au SO₂ du 25 mai 2021.

Chapitre V - DISCUSSION

V.1. Analyse du dépérissement observé sous le vent de l'usine

Un suivi symptomatologique annuel de la végétation aux alentours du complexe industriel est engagé par PRNC à partir de 2012. Ce dispositif de suivi a été complété en 2016 avec un dispositif de suivi quadrimestriel ciblant les secteurs qui ont présenté des symptômes lors des suivis annuels engagés depuis 2012. La définition et l'amélioration des protocoles de suivi symptomatologique de PRNC ont été réalisés en lien avec Francis Murray de l'Université de Murdoch (Australie), référent de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) pour suivre les effets phyto-toxiques des pollutions atmosphériques industrielles sur les écosystèmes terrestres en Australie.

Dans ce protocole, 9 espèces ont été sélectionnées comme espèces indicatrices présentant des symptômes foliaires évidents en cas de forte exposition au SO₂ :

- *Arillastrum gummiferum* ;
- *Styphelia cymbulae* ;
- *Gymnostoma deplancheanum* ;
- *Codia spatulata* ;
- *Tristaniopsis guillainii* ;

- *Garcinia neglecta* ;
- *Alphitonia neocaledonica* ;
- *Guioa glauca* ;
- *Codia discolor*.

Parmi ces espèces suivies, quatre espèces sont similaires aux espèces identifiées comme impactées à l'est de l'usine : *Styphelia cymbulae*, *Codia spatulata*, *Alphitonia neocaledonica* et *Codia discolor*.

Les espèces *Arillastrum gummiferum*, *Tristaniopsis guillainii* et *Guioa glauca* ne sont probablement pas présentes sur la zone impactée puisqu'elles n'ont été observées ni au moment de la prospection à pied sur toute la zone, ni lors des inventaires floristiques de caractérisation de la végétation des transects. Il est certain qu'*Arillastrum gummiferum* n'est pas présent dans les zones situées à l'est de l'usine. Les espèces *Garcinia neglecta* et *Gymnostoma deplancheanum* n'ont pas été observées par Bota Environnement, mais PRNC rapporte les avoir observées en faible nombre sur la zone impactée.

Ceci s'explique par la différence de végétation et de cortège floristique entre l'est et l'ouest de l'usine. A l'ouest de l'usine, les végétations des zones de suivi de l'impact du SO₂ atmosphérique sont des formations sur cuirasses comprenant des faciès de maquis arbustifs, paraforestiers et des forêts, tandis qu'à l'est les formations impactées et suivies sont des maquis arbustifs sur sols érodées.

Cette différence est une limite à l'intérêt de la comparaison de ces deux zones, qui ne peut porter que sur les quatre espèces citées précédemment. D'autres limites à la comparaison de ces deux zones est/ouest sont identifiées : les concentrations de SO₂, la fréquence et la durée d'exposition auxquelles ont été exposées les formations végétales ne sont pas comparables entre les deux zones. De plus, les expositions au SO₂ atmosphérique n'ont pas eu lieu à la même date, or la sévérité de l'impact des gaz sur la végétation peut être influencée par les conditions météorologiques, les conditions hydriques et nutritives liées au sol, l'exposition selon le relief de la végétation aux polluants et les facteurs physiologiques liés au stade de développement d'une plante.

A l'ouest de l'usine, les parcelles de suivi sont géoréférencées et les espèces suivies sont clairement identifiées comme le prévoit le protocole de suivi. Parmi les quatre espèces communes avec le secteur impacté en mai 2021 à l'est de l'usine, le nombre total d'individus suivis est de 148 répartis comme suit :

- *Alphitonia neocaledonica* : 20 individus ;
- *Codia discolor* : 8 individus ;
- *Codia spatulata* : 40 individus ;
- *Styphelia cymbulae* : 80 individus.

Lors de la campagne de juin 2020, parmi ces individus suivis, seulement 24 présentent des symptômes foliaires, ce qui représente 16% des 148 individus. L'espèce la plus impactée est *Codia spatulata*, une des espèces présentant également les symptômes les plus forts en mai 2021 à l'est de l'usine. Ainsi le choix du genre *Codia* comme indicateur de suivi des symptômes semble pertinent quelle que soit la végétation étudiée.

	Nombre d'individus suivis	Nombre d'individus impactés	% d'individus impactés
Alphitonia neocaledonica	20	0	0%
Codia discolor	8	0	0%
Codia spatulata	40	19	39,58%
Styphelia cymbulæ	80	5	6,25%

Figure 43 : Nombres et pourcentages d'individus présentant des symptômes lors de la campagne de juin 2020

La figure suivante détaille la sévérité des symptômes foliaires pour les 24 individus à l'Ouest de l'usine identifiés comme impactés lors de la campagne de juin 2020 :

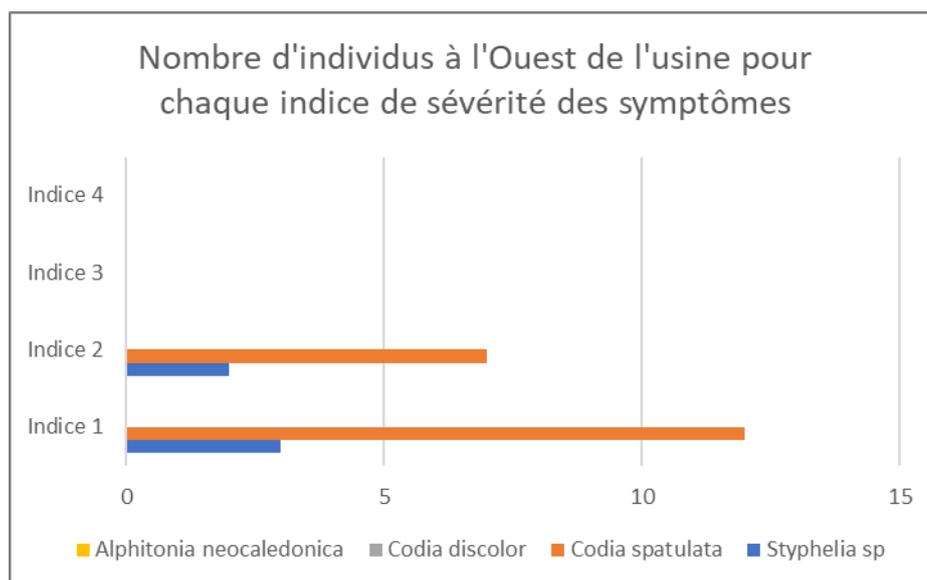


Figure 44 : Indices de sévérité des symptômes mesurés à l'Ouest de l'Usine sur les individus des 4 espèces communes et suivies sur les 2 zones

On notera que :

- 15 individus sont considérés comme impactés avec un indice de sévérité 1 ;
- 9 individus sont considérés comme impactés avec un indice de sévérité 2 ;
- Aucun individu ne porte les indices 3 et 4 ou n'est mort.

Ces individus sont tous localisés au niveau de stations situées sous le vent de l'usine, tel que vu dans la figure suivante, et donc plus susceptible d'être soumises aux émissions aiguës et ponctuelles de SO₂ lors d'incidents :

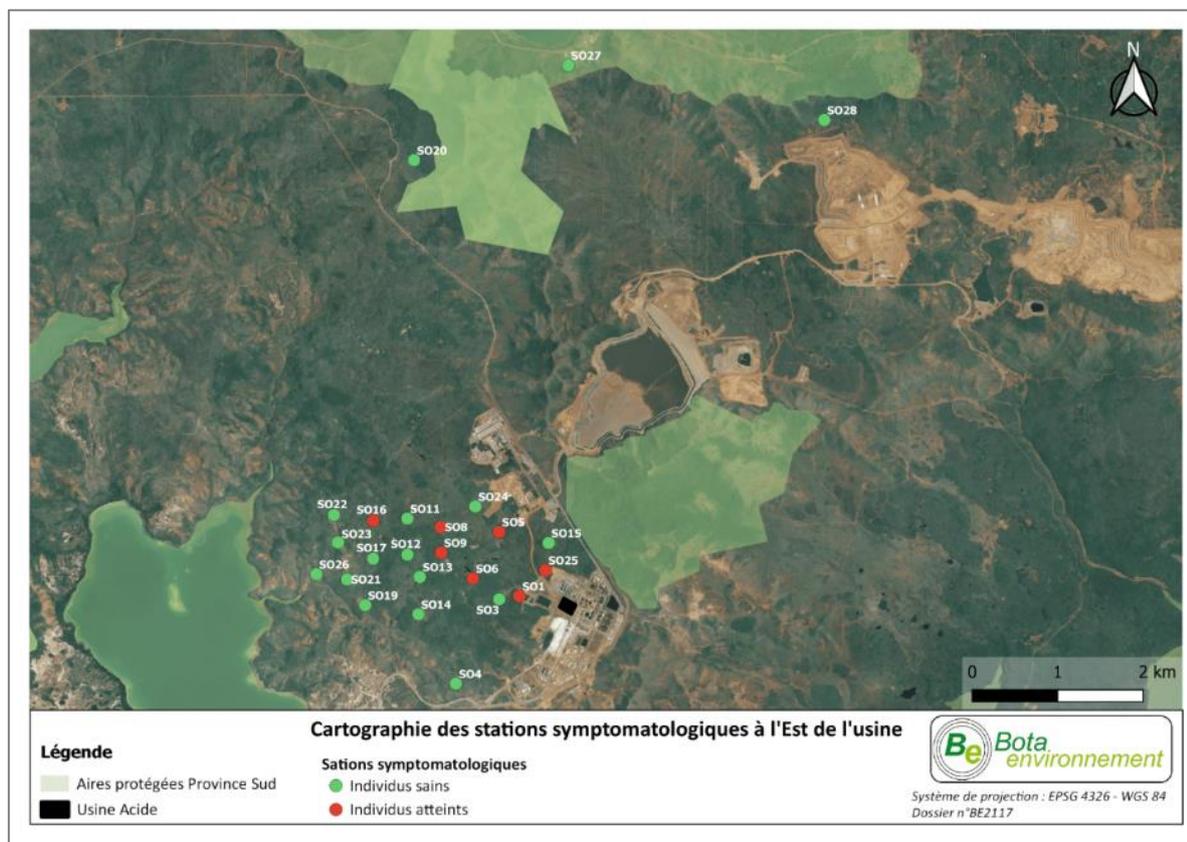


Figure 45 : Localisation des stations de suivi sur lesquelles se situent les 24 individus impactés - Campagne de juin 2020 du suivi du phénomène dépérissement en aval de l'usine de Prony Resources

Notons que durant l'année 2019 en revanche, des symptômes fort et très fort ont été observés sur *Codia spatulata* et *Styphelia sp.*, sur les stations SO1, SO25, SO6, SO8, SO9 et SO11 (VALE NC, données brutes 2019), probablement liés aux 11 dépassements de la valeur limite horaire (570 µg/m³) recensés par Scal'Air en 2019 (dont un pic maximal de 2800 µg/m³ enregistré le 22 mai 2019).

A noter qu'aucun symptôme foliaire n'a été observé de 2018 à 2020 pour *Codia discolor* sur SO28 (station témoin) ni sur SO19 (station en champ éloigné de l'Usine).

D'après PRNC, les symptômes seraient attribuables au pic du 22 mai 2019. Le relativement bon état phytosanitaire des individus de *Codia spatulata* et *Styphelia sp.* observé à l'ouest de l'usine en 2020 laisse supposer la bonne résilience au SO₂ de ces espèces.

CONCLUSION – ETUDE DE FUMIGATION

Il est possible d'envisager que la sévérité importante des symptômes foliaires, observés sur les individus touchés à l'est de l'usine en mai 2021, ne pourrait être que passagère et que la végétation parvienne dans le futur à reprendre une activité biologique normale dans le cas d'absence de nouvelle perturbation. Cette hypothèse serait à vérifier par des missions de suivi terrain sur les transects positionnés à l'est de l'usine.

Station	Distance (m)	Especies	Nombre d'individus avec symptômes
SO1	600	<i>Codia spatulata</i>	4
SO1	600	<i>Styphelia sp.</i>	2
SO10	1300	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	0
SO11	2200	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	0
SO11	2200	<i>Codia spatulata</i>	3
SO12	2000	<i>Codia spatulata</i>	0
SO12	2000	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO14	1700	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO15	1000	<i>Codia spatulata</i>	0
SO15	1000	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO16	2500	<i>Codia spatulata</i>	2
SO16	2500	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO17	2300	<i>Codia spatulata</i>	0
SO17	2300	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO19	2300	<i>Codia discolor</i>	0
SO19	2300	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO20	5800	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO21	2600	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	0
SO22	3000	<i>Codia cf. Discolor</i>	0
SO22	3000	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO23	2800	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	0
SO23	2800	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO25	700	<i>Styphelia sp.</i>	3
SO26	3000	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO27	6500	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	0
SO27	6500	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO28	>5000	<i>Codia discolor</i>	0
SO3	800	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO5	1300	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO6	1200	<i>Codia spatulata</i>	3
SO8	1800	<i>Codia spatulata</i>	3
SO8	1800	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO9	1600	<i>Codia spatulata</i>	4
SO10	1300	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO13	1700	<i>Styphelia sp.</i>	0
SO24	1700	<i>Styphelia sp.</i>	0

Figure 46 : Nombre d'individus présentant des symptômes foliaires et évaluation des distances par rapport à la source de SO₂ - campagne de juin 2020 du suivi du phénomène dépérissement en aval de l'usine de Prony Resources

V.2. Analyse au regard du suivi de la qualité de l'air

La qualité de l'air est évaluée par analyse des teneurs en SO₂ mesurées à l'aide de tubes passifs installés par Scal'Air sur 10 stations autour de l'usine, tel que vu dans la figure suivante. Ces tubes passifs fournissent une concentration moyenne sur la période d'échantillonnage (environ 28 j), mais ne permettent pas de suivre les données en continu ni d'évaluer la pollution de pointe :



Figure 47 : Localisation des tubes passifs pour l'analyse du SO₂ comparée à la zone de dépérissement Est (en rouge)

Les quatre tubes potentiellement impactés par le pic de SO₂ du 25 mai 2021 sont les tubes PS14 et PS30 les plus à l'est de l'usine et les tubes PS19 et PS29 au nord de l'usine, tous situés sous le vent lors du pic étudié. Les autres tubes ne sont a priori pas impactés par le pic de SO₂ survenu le 25 mai, car ils ne sont pas localisés dans la direction du vent ce jour-là (direction sud-ouest).

Il existe également des suivis continus de l'air qui sont réalisés à l'aide de stations fixes permettant d'obtenir des données instantanées via des analyseurs automatiques, mais ces stations n'étaient pas positionnées dans l'axe de circulation des courants atmosphériques le 25 mai 2021.

De plus, PRNC est dans l'obligation de suivre en temps réel les concentrations en SO₂ au niveau des rejets dans l'atmosphère. Cependant, les données du 25 mai n'ont pas été transmises à l'OEIL. D'après PRNC, l'émission de SO₂ lors des opérations de redémarrage de l'usine d'acide du 25 mai 2021 a été de courte durée (environ une vingtaine de minutes selon PRNC) et de concentration élevée (la concentration exacte ne serait pas connue même de PRNC).

L'ensemble des informations disponibles sur les teneurs en SO₂ mesurées par les tubes passifs ne permettent pas d'établir de corrélation directe entre ces teneurs et les phénomènes de dépérissement apparus sur la végétation à l'est de l'usine en juin 2021³. Un complément d'information sur les données de la qualité de l'air est cependant donné en annexe VII.5.

V.3. Discussion relative aux tests de fumigation en conditions contrôlées

Les objectifs premiers de ces tests de fumigation sont de confirmer si la végétation endémique pouvait présenter une hypersensibilité au SO₂, et de confirmer que les seuils réglementaires étaient pertinents pour assurer l'absence d'impact.

La comparaison entre les données obtenues avec ces tests de fumigation contrôlés et les données d'observation en milieux naturels (comme celles associées au pic d'émission du 25 mai 2021) est rendue complexe par le fait que différents paramètres environnementaux (comme le vent, l'humidité, la température ou les dégâts causés par les pathogènes) entrent en jeu et ne sont pas reproductibles en milieu contrôlé.

Un complément d'informations sur les tests de fumigation est cependant donné en annexe VII.6.

V.4. Analyse au regard du suivi par télédétection de trois MFIP

Au niveau de Forêt Nord, trois massifs d'intérêt prioritaire (MFIP) sont suivis en télédétection depuis 2008 par la société Bluecham, mandatée par PRNC. Il s'agit des massifs U3, U6 et U10 visible dans la Figure 48 plus bas.

Les 4 indicateurs satellitaires mesurés (activité photosynthétique (NDVI), stress de la végétation (EVI), couverture foliaire (GRVI) et morcellement du couvert forestier (Fr)) sur ces MFIP, sont traduits en % de surfaces impactées.

Depuis 2008, les massifs U10, U6 et U3 sont considérés comme peu ou pas impactés (% de surfaces impactées inférieur ou proche de 10%). Notons tout de même que le massif U3, très proche de la zone

³ Un réseau de tubes passifs n'a cependant pas vocation à couvrir toutes les zones autour de l'Usine mais à être positionné de manière stratégique, dans les zones supposées comme étant les plus à exposer au risque et les plus prioritaires à protéger.

impactée par le pic du 25 mai 2021, présentait 11,32 % de surfaces impactées en septembre 2020. A la même date, c'était 2,39% de surfaces impactées pour U6 et 3,23% pour U10.

Il est à noter que la cause des impacts n'est pas déterminée : il pourrait s'agir d'une pollution au SO₂, tout comme d'un autre type de pression (stress hydrique, etc.). Par ailleurs, ces données sont antérieures à l'incident du 25 mai 2021.

Ces deux derniers points rendent l'analyse au regard de ces données impossible en l'état actuel des données en possession de Bota Environnement. Ce suivi est donc mentionné ici en l'état pour possible examen ultérieur au titre qu'elle conserve son intérêt.

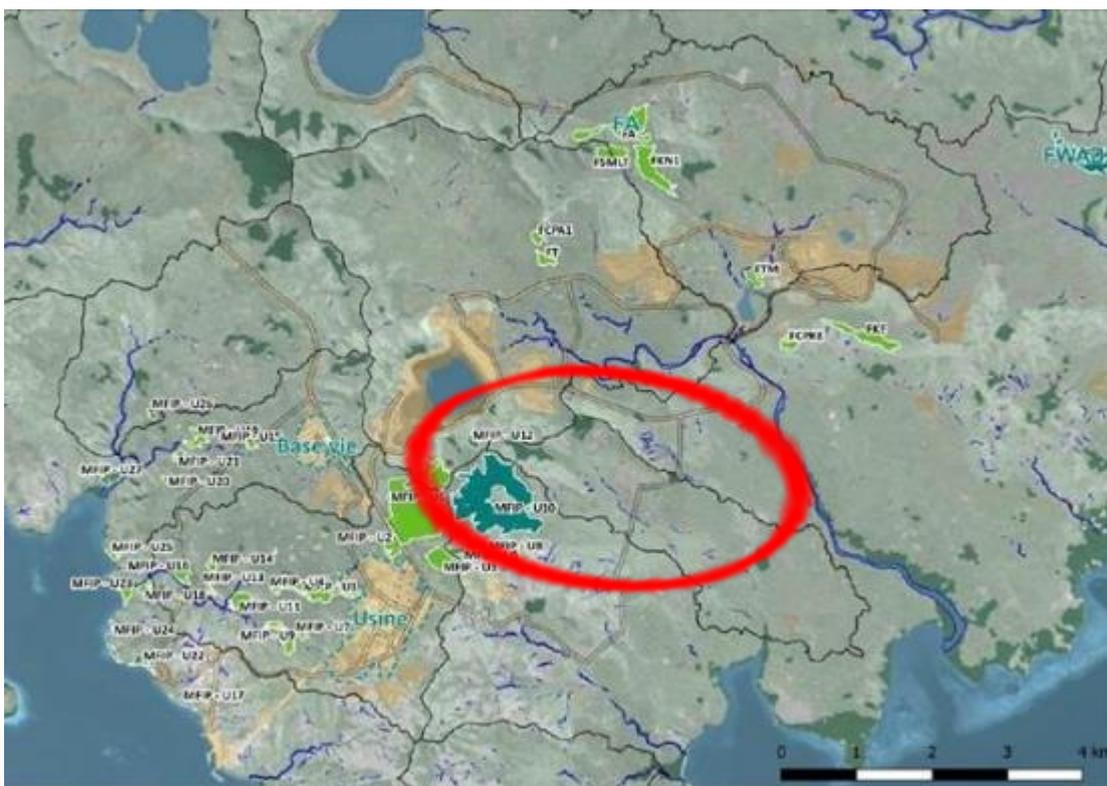


Figure 48 : Localisation des trois massifs d'intérêt prioritaire (MFIP) U3, U6 et U10 suivis par télédétection au niveau de Forêt Nord

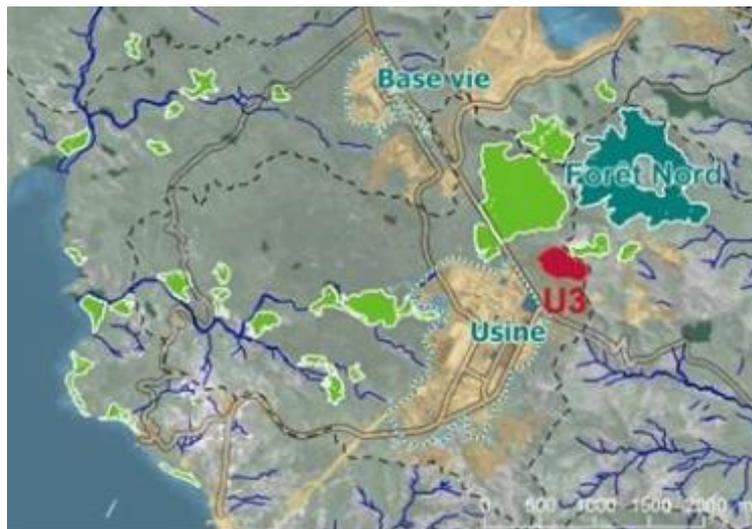


Figure 49 : Localisation du massif d'intérêt prioritaire U3, suivis par télédétection

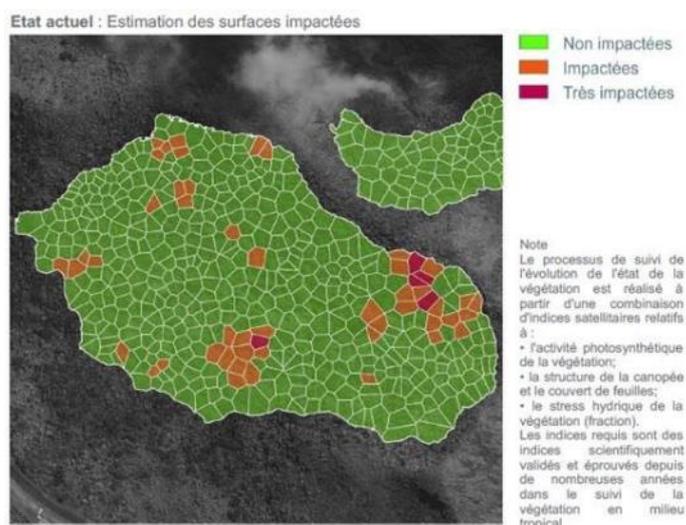


Figure 50 : Représentation cartographique des surfaces impactées sur le massif U3 en septembre 2020

Chapitre VI - CONCLUSIONS GENERALES & RECOMMANDATIONS

Le 25 mai 2021, suite au redémarrage de l'usine d'acide sur le site industriel de PRNC, un dépassement de la valeur limite de SO₂ émise dans l'atmosphère a été enregistré au niveau des cheminées. Suite aux résultats de l'évaluation symptomatologique de la végétation à l'est de l'usine réalisée par PRNC du 2 au 7 juin 2021, l'OEIL a mandaté une expertise indépendante pour évaluer le phénomène de dépérissement sur la végétation.

VI.1. Périmètre impacté

Mission de juillet 2021

La prospection à pied de Bota environnement et les images drone fournies par PRNC ont permis de confirmer avec certitude des impacts liés au SO₂ sur la bande longeant la route d'accès à l'usine de Prony Resources et sur la végétation le long du drain en lisière de la réserve de la Forêt Nord. Cette prospection

permet également de conclure que la zone de marquis arbustif haut et dense la plus éloignée de l'usine est moins impactée que la zone de maquis arbustif ouvert proche de l'usine.

En revanche, en ce qui concerne la confirmation du périmètre considéré comme impacté par PRNC dans les zones qui n'étaient pas accessibles à pied et au-delà de ce périmètre, il n'a pas été possible de conclure à partir des images drones fournies par PRNC.

Mission de mai-juin 2022

Cette seconde mission n'a pas non plus permis de délimiter avec précision une surface de périmètre réellement impacté par le nuage de SO₂ du 25 mai 2021 en raison des difficultés d'accès à la zone et à la moindre visibilité de l'impact un an après l'incident.

Cependant, elle permet de constater que le périmètre impacté est en réalité plus important que celui estimé par PRNC en juin 2021, en raison de symptômes observés sur des *Codia* au-delà des limites de ce périmètre initial. La présence de symptôme sur *Pancheria alaternoides* vient également potentiellement augmenter encore les limites du périmètre réellement impacté.

Malgré le fait que la zone impactée soit plus conséquente qu'initialement estimée, des signes de reprises sont constatés sur l'ensemble de cette zone.

VI.2. Espèces touchées

A quelques exceptions près, les observations de Bota environnement (26 espèces touchées) et de PRNC concernant la liste des espèces touchées par des symptômes foliaires liés au SO₂ suite à l'incident du 25 mai 2021 se recoupent. Ces observations ont également confirmé l'intérêt du genre *Codia* pour la réalisation de suivi post-incident, et en particulier de l'espèce *Codia discolor*, qui présente des symptômes très marqués et de manière systématique.

VI.3. Suivi sur les transects

Mission de juin 2021

L'étude des paramètres de l'impact de l'exposition ponctuelle au SO₂ atmosphérique sur la végétation montre que les individus de *Codia* suivis sont, dans une très large majorité, touchés par des symptômes foliaires caractéristiques d'une exposition au SO₂. 76% des individus suivis présentent une défoliation et 88% des symptômes foliaires. Ce dépérissement n'a cependant entraîné la mort d'aucun individu sur les transects de suivi.

Si la sévérité des symptômes apparaît comme similaire, il semblerait que les individus suivis du transect 2 auraient été davantage impactés que ceux du transect 1 au regard de l'indice de défoliation (64% des individus sur le transect 1, contre 97% des individus du transect 2), et ceci malgré le fait que le transect 2 est plus éloigné d'environ 100 m de l'usine d'acide.

Cette différence entre les deux transects est difficile à expliquer étant donné leur proximité. Il est possible qu'une retombée de SO₂ très localisée sur le transect 2 l'ait particulièrement impacté, sans que cette hypothèse puisse être confirmée, en l'absence de mesures de SO₂ atmosphérique très localisées. Cette

différence peut également être liée aux conditions du milieu (maquis ouvert sur pente) du transect 2, ou encore à l'état phytosanitaire des végétations au moment de l'incident, avec des plantes plus affaiblies par les feux passés au niveau du transect 2.

L'ensemble de ces observations doit être considéré comme un état initial, servant avant tout d'état de référence de la végétation présente sur les transects de suivi. La réalisation d'une mission de suivi pour le contrôle de l'évolution des individus marqués permettrait d'enrichir les données collectées et de déterminer l'effet à moyen terme de l'exposition au SO₂ atmosphérique dans ce secteur le plus impacté.

Cette mission de suivi permettrait d'évaluer les tendances d'évolution du phénomène de dépérissement de la végétation suivie à l'aide de l'indice de sévérité des symptômes et de défoliation, mais également d'évaluer une éventuelle reprise de l'activité biologique des individus, principalement à l'aide de l'indice de présence de jeunes feuilles et bourgeons.

Mission de mai-juin 2022

En 2022, on constate que le transect 2 est plus affecté que le transect 1, que ce soit en pourcentage d'individus concernés par les symptômes foliaires ou par la défoliation. La reprise est cependant à peu près identique sur les deux transects. Les hypothèses formulées pour expliquer les raisons qui font que le transect 2 est plus touché que le transect 1 sont les mêmes que lors de la première mission.

La comparaison des résultats 2022 avec ceux de 2021 conclut à une baisse du pourcentage d'individus concernés par les symptômes foliaires, mais à une stagnation de la défoliation. Ces deux constats peuvent s'expliquer par le fait que la perte des feuilles impactées aurait permis une diminution du pourcentage d'individus présentant des symptômes foliaires.

La reprise est quant à elle très forte en 2022, puisque 90% des individus ont produit des jeunes feuilles/bourgeons. Il est par ailleurs intéressant de noter que les 10% d'individus n'ayant toujours pas refait de jeunes feuilles/bourgeons n'étaient pas concernés par des impacts sévères en 2021 et 2022, ce qui laisse entendre que l'absence de reprise chez ces individus est indépendante de l'épisode de pollution au SO₂ du 25 mai 2021.

VI.4. Discussions au regard du fonds documentaire

La discussion sur l'analyse au regard du dépérissement sous le vent de l'usine laissait supposer que la sévérité importante des symptômes foliaires, observés sur les individus touchés à l'est de l'usine en mai 2021, ne pourrait être que passagère et que la végétation parviendrait dans le futur à reprendre une activité biologique normale dans le cas d'absence de nouvelle perturbation. Cette hypothèse semble se vérifier au vu des résultats de suivi, montrant en général une reprise de la végétation sur les zones pourtant les plus touchées.

La discussion menée au regard des tests de fumigation, du suivi par télédétection et du suivi de la qualité de l'air n'a donné lieu à aucune conclusion. Les résultats de ces différentes études se révèlent en effet difficilement comparables à ceux obtenus par Bota Environnement dans le cadre de cette étude.

VI.5. Recommandations

Le déroulement de cette mission conduit à la formulation de plusieurs recommandations d'amélioration élaborées en collaboration avec le conseil scientifique de l'OEIL et Scal'Air.

La transmission de l'ensemble des données de rejets du site industriel, minier et énergétique (Prony Resources et Prony Energies), et notamment dans le cas présent les rejets atmosphériques, est considérée comme nécessaire pour que l'OEIL et Scal'Air puissent accomplir efficacement leurs missions de surveillance.

La détermination des modalités de redémarrage de l'usine et la décision de reporter ou non celui-ci devrait être prises en concertation avec les autorités publiques compétentes et sur la base d'une véritable évaluation des risques associés aux pics de SO₂ pour la végétation ou l'humain, menée avant tout redémarrage de l'usine d'acide sulfurique (programmé en moyenne une fois par an).

Il est apparu que les équipes de Prony Resources, pourtant en charge du suivi environnemental du secteur, n'étaient pas systématiquement informées des dégagements anormaux de SO₂ ou autres polluants atmosphériques pouvant provenir de la centrale électrique de Prony Energies, limitant de fait leur capacité à détecter d'éventuels impacts sur la végétation. Un échange d'information entre les équipes techniques impliquant l'autorité de tutelle apparaît de fait nécessaire.

Lorsqu'un redémarrage de l'usine d'acide sulfurique est prévu, il faudrait que la procédure actuelle de suivi symptomatologique de PRNC soit améliorée en prévoyant les actions suivantes :

- Juste avant le redémarrage de l'usine d'acide :
 - Modéliser la dispersion des effluents atmosphériques en fonction des paramètres météorologiques et des concentrations gazeuses attendues ;
 - Installer une station mobile⁴ de surveillance de la qualité de l'air équipée au minimum d'un analyseur automatique de SO₂ dans la zone de végétation sous influence en vue de disposer de données sur les teneurs en SO₂ dans le milieu naturel (ou en bordure) avant, pendant et après le pic de SO₂ ;
 - Réaliser un état initial de la végétation portant sur les zones sous influence et hors influence afin de pouvoir évaluer un impact potentiel par comparaison : mise en place de transects et acquisition d'orthophotographies de résolution centimétrique disposant d'informations spectrales utiles.
- En cas de pic de SO₂ :
 - Modéliser la dispersion des effluents atmosphériques en fonction des conditions météorologiques et des concentrations gazeuses au moment de l'événement ;
 - Reproduire le protocole de suivi basé sur les méthodologies de l'état initial très rapidement après la survenue de l'incident, en vue de caractériser l'impact de l'événement ;
 - Reproduire à nouveau le protocole de suivi plusieurs mois après l'incident en vue d'évaluer la reprise de la végétation.
- Vis-à-vis de l'OEIL :
 - Communiquer rapidement à l'OEIL toutes informations utiles sur l'événement afin de pouvoir déclencher une mission de terrain indépendante au plus proche de l'incident lorsque les impacts sont encore bien visibles (ceci est particulièrement recommandé pour

⁴ L'installation d'une station mobile suppose de prévoir un accès à l'électricité (ex : groupe électrogène).

- une évaluation pertinente du critère de défoliation) : valeur du pic de SO₂, orientation du vent et sa vitesse, la méthode utilisée pour identifier la zone de végétation potentiellement impactée, etc ;
- Compte tenu des obstacles rencontrés par l'OEIL (refus par PRNC de survol de la zone et difficultés à exploiter les images drone transmises par l'industriel) ayant conduit à l'impossibilité de conclure sur le périmètre réellement impacté par le pic de SO₂ du 25 mai 2021, il est recommandé que l'OEIL puisse à l'avenir mettre en œuvre ses propres acquisitions d'images ou que les prises de vue de l'industriel répondent pleinement aux spécifications techniques définies par l'OEIL. De manière plus générale, il est recommandé que l'Observatoire puisse mettre en œuvre, via la délivrance des autorisations d'accès (par cheminement pédestre, survol drone, etc), toute méthode qui lui semblera adaptée au suivi des milieux naturels sous influence des installations énergétiques, industrielles et minières de l'usine du Sud.

La mission de terrain lancée à la suite de l'incident du 25 mai 2021 par l'OEIL a permis de constater qu'aucun protocole de suivi standardisé des impacts liés au SO₂ n'était disponible à tous botanistes qui souhaiteraient mener une expertise indépendante. Actuellement, seul PRNC réalise ce type de suivi environnemental depuis 2012, en s'appuyant sur des documents élaborés en interne (et en lien avec un expert australien, le professeur Francis Murray de l'Université de Murdoch) : un protocole de suivi symptomatologique et un guide des symptômes foliaires liés au SO₂ (ce guide documente les espèces considérées comme sensibles au SO₂. A noter que l'espèce *Pancheria alaternoides* n'en fait pas partie). Il est donc recommandé que l'ensemble de ces documents, protocole de suivi et guide des symptômes foliaires, soient soumis à l'avis de la communauté scientifique au travers d'une publication (ou autre).

Pour les espèces présentant des brunissements qui peuvent faire penser à des symptômes foliaires liés au SO₂ selon Bota Environnement (ex : *Pancheria alaternoides*), il est souhaité que cette information soit maintenue dans le rapport. La remise en question du lien de causalité entre le pic de SO₂ et ces lésions foliaires ne peut pas s'appuyer sur de simples témoignages et devrait faire l'objet d'une démonstration documentée (ex : photos et coordonnées GPS d'individus hors influence avec les mêmes symptômes).

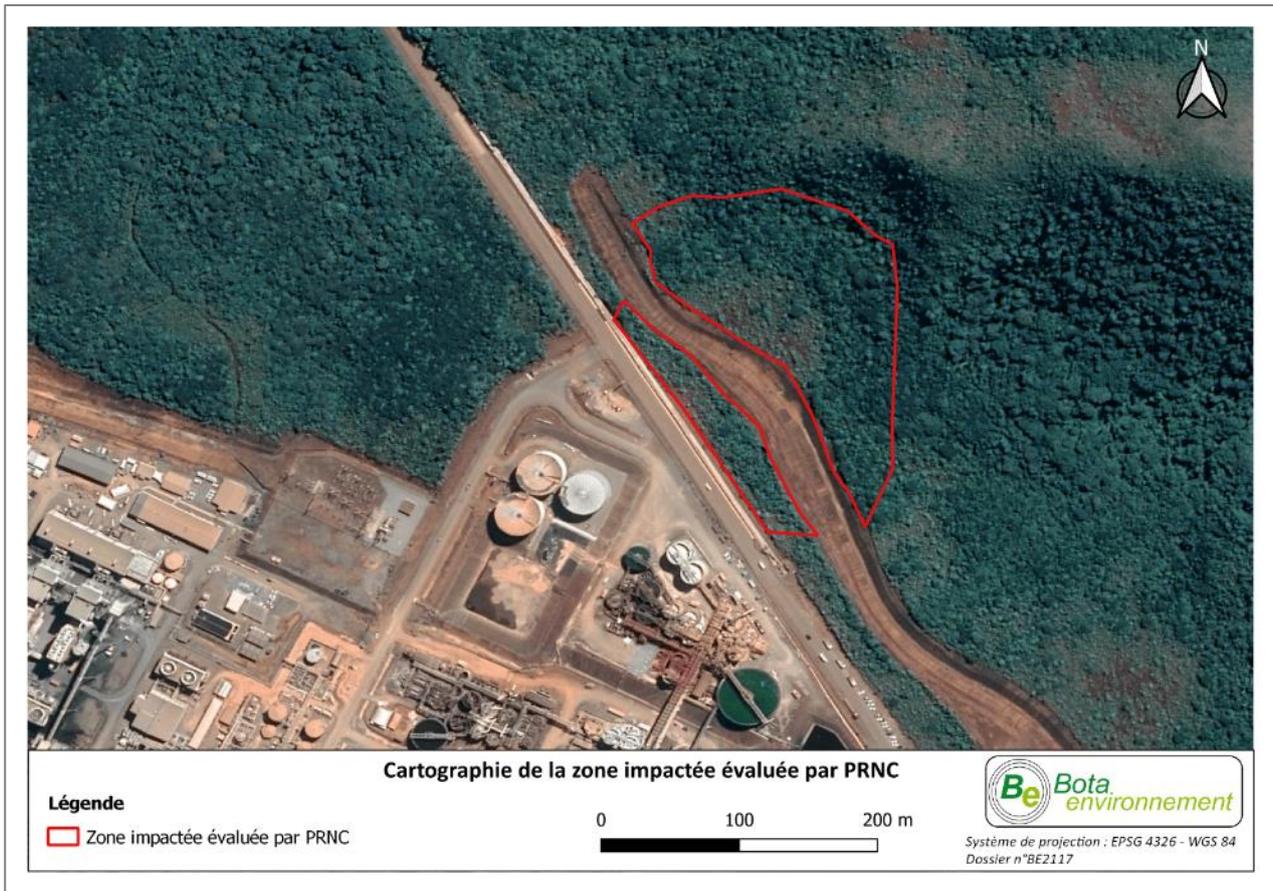
De manière à s'assurer que la récurrence des émissions ponctuelles et aigues de SO₂ ne vient pas impacter durablement la végétation, il est également suggéré de mener un suivi de la végétation par télédétection, de manière continue dans l'espace, sur l'ensemble de la zone végétalisée autour du site industriel pouvant potentiellement être atteinte en cas de pics de SO₂.

Chapitre VII - ANNEXES

VII.1. Bibliographie

- Jaffré T., 1980. Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Trav. et Doc. n°124, ORSTOM, Paris.
- Murray F., 2004. Goro monitoring protocol. Murdoch University, Perth, Australia.
- Murray F., 2011. Les enquêtes sur la cause du décès d'arbres sur un site industriel de Vale Nouvelle Calédonie : Investigations et rapport d'étape. Murdoch University, Perth, Australia.
- Murray F., 2012. Investigations sur les facteurs en cause du dépérissement de la végétation dans la zone d'emprise de l'activité industrielle de Vale Nouvelle Calédonie. Murdoch University, Perth, Australia.
- Murray F., 2012. Investigations sur les facteurs en cause du dépérissement de la végétation dans la zone d'emprise de l'activité industrielle de Vale Nouvelle-Calédonie ».
- Prony Resources Nouvelle Calédonie, 2021. Résultats de l'évaluation symptomatologique de la végétation 02, 03 et 07 juin 2021.
- Scal'air, 2020. Synthèse 2016 -2020 - Données tubes passifs.
- Scal'air, 2021. Données tubes passifs 2021.
- VALE NC 2016 Protocole de suivi de la végétation – zone de dépérissement en aval de l'usine de VALE NC
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2011. Investigation sur la cause du dépérissement d'une formation végétale dominée par le chêne gomme en aval du site industriel de Vale Nouvelle-Calédonie : Rapport d'étape.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2013. Protocole de suivi de la végétation exposée aux émissions atmosphériques de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie ».
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2013. Protocole expérimentale : Etude symptomatologique des effets de dioxyde de soufre par fumigation sur les espèces endémiques de Goro Vale Nouvelle Calédonie.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2013. Surveillance symptomatologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Bilan de janvier 2012 à mars 2013.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2014. Surveillance symptomatologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Bilan de janvier 2014 à décembre 2014.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2015. Bilan 2015 : Etude des effets du dioxyde de soufre sur la végétation par fumigation (campagnes 4).
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2015. Surveillance symptomatologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Bilan de janvier 2014 à décembre 2014.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2016. Surveillance symptomatologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Bilan de Janvier 2016 à Décembre 2018.
- VEGUSINE, 2020. Etat du actuel du suivi - Décembre 2019.
- VEGUSINE, 2021. Etat du actuel du suivi - Décembre 2020.

VII.2. Évaluation initiale par PRNC du périmètre impacté



VII.3. Caractérisation de la végétation aux abords des transects

n° de transect		Transect 1		Transect 2					
Coordonnées géographiques de fin et de début de transect (RGNC 91-93-Lambert NC)		Début	494469/208017	494485/208097					
		Fin	494422/208031	494494/208051					
FORMATION VEGETALE		Maquis arbustif semi-ouvert à <i>Cordia discolor</i>		Maquis arbustif ouvert à <i>Cordia discolor</i>					
RECOUVREMENT TOTAL (%)		60 - 90		50 - 70					
RECOUVREMENT HERBACE (%)		10 - 30		20 - 40					
RECOUVREMENT ARBUSTIF (%)		50 - 60		30 - 40					
RECOUVREMENT ARBORESCENT (%)		-		-					
HAUTEUR MOYENNE (m)		1 - 2 m		1 - 2 m					
HAUTEUR MAXIMALE (m)		4 - 5 m		5 - 6 m					
DOMINANCE		<i>Cordia discolor</i> - <i>Dracophyllum</i> spp. - <i>Hibbertia pancheri</i> - <i>Sannantha leratii</i> - <i>Tetraena comosa</i> - <i>Lepidosperma perteres</i>		<i>Cordia discolor</i> - <i>Dracophyllum ramosum</i> - <i>Styphelia cymbulae</i> - <i>Chamaedendron nervosa</i> - <i>Lepidosperma perteres</i>					
ESPECE EMERGENTE		<i>Grevillea rubiginosa</i>		<i>Grevillea rubiginosa</i> - <i>Gymnostoma deplancheanum</i>					
SOL		Ferrallitique gravillonnaire		Ferrallitique gravillonnaire					
DIVERSITE SPECIFIQUE		40		35					
Tri	Groupe	Famille	Taxon	Formation	Statut	UICN	Code PS	Transect 1	Transect 2
2	Fougères/Ferns	Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium esculentum</i>	LM	A			x	x
2	Fougères/Ferns	Schizaeaceae	<i>Schizaea dichotoma</i>	FM	A			x	x
4	Monocotylédones	Cyperaceae	<i>Chamaedendron nervosa</i>	M	G				x
4	Monocotylédones	Cyperaceae	<i>Lepidosperma perteres</i>	MR	E			x	x
4	Monocotylédones	Cyperaceae	<i>Machaerina deplanchei</i>	MIN	E			x	
4	Monocotylédones	Cyperaceae	<i>Schoenus neocaledoniensis</i>	M	E			x	x
4	Monocotylédones	Cyperaceae	<i>Tetraena comosa</i>	MR	E			x	
4	Monocotylédones	Orchidaceae	<i>Eriaxis rigida</i>	MR	G			x	x
4	Monocotylédones	Orchidaceae	<i>Spathoglottis plicata</i>	N	A			x	
4	Monocotylédones	Poaceae	<i>Imperata cylindrica</i>	N	I			x	
5	Dicotylédones	Araliaceae	<i>Polyscias pancheri</i>	M	E			x	x
5	Dicotylédones	Casuarinaceae	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	FM	E				x
5	Dicotylédones	Gesneriaceae	<i>Montrauziera sphaeroides</i>	M	G			x	x
5	Dicotylédones	Connaraeae	<i>Rourea balansana</i>	M	E			x	
5	Dicotylédones	Cunilaeeae	<i>Cordia discolor</i>	FM	G				x
5	Dicotylédones	Cunilaeeae	<i>Cordia nitida</i>	FM	G			x	x
5	Dicotylédones	Cunilaeeae	<i>Cordia spatulata</i>	FM	G			x	x
5	Dicotylédones	Cunilaeeae	<i>Pancheria alaternoides</i>	MR	G			x	x
5	Dicotylédones	Cunilaeeae	<i>Pancheria billardierei</i>	MIN	G				x
5	Dicotylédones	Dilleniaceae	<i>Hibbertia lucens</i>	FM	A			x	
5	Dicotylédones	Dilleniaceae	<i>Hibbertia pancheri</i>	FM	E			x	x
5	Dicotylédones	Dilleniaceae	<i>Hibbertia trachyphylla</i>	M	E			x	x
5	Dicotylédones	Elaeocarpaceae	<i>Dubautzia confusa</i>	M	E			x	
5	Dicotylédones	Ericaceae	<i>Dracophyllum ramosum</i>	FM	E			x	x
5	Dicotylédones	Ericaceae	<i>Dracophyllum verticillatum</i>	M	E			x	x
5	Dicotylédones	Ericaceae	<i>Styphelia cymbulae</i>	FM	A			x	x
5	Dicotylédones	Ericaceae	<i>Styphelia pancheri</i>	FM	E			x	x
5	Dicotylédones	Goodeniaceae	<i>Scaevola cylindrica</i>	MIN	A			x	
5	Dicotylédones	Leguminales	<i>Geniostoma densiflorum</i>	FN	E			x	x
5	Dicotylédones	Myrdocarpaceae	<i>Myrdocarpus involuatus</i>	FM	G			x	x
5	Dicotylédones	Myrtaceae	<i>Cloezia flabunda</i>	MR	G			x	
5	Dicotylédones	Myrtaceae	<i>Melaleuca pancheri</i>	M	E				x
5	Dicotylédones	Myrtaceae	<i>Sannantha leratii</i>	MRS	E			x	x
5	Dicotylédones	Myrtaceae	<i>Uromyrtus emarginata</i>	M	E			x	x
5	Dicotylédones	Myrtaceae	<i>Uromyrtus myrtoides</i>	F	E				x
5	Dicotylédones	Picrodendraceae	<i>Austrobuxus canunculatus</i>	FM	E			x	
5	Dicotylédones	Pittosporaceae	<i>Pittosporum deplanchei</i>	FM	E			x	x
5	Dicotylédones	Pittosporaceae	<i>Pittosporum gracile</i>	FM	E			x	
5	Dicotylédones	Primulaceae	<i>Myrsine asymmetria</i>	FM	E			x	x
5	Dicotylédones	Proteaceae	<i>Grevillea rubiginosa</i>	M	E			x	x
5	Dicotylédones	Rhamnaceae	<i>Alphitonia neocaledonia</i>	FLM	E			x	x
5	Dicotylédones	Rubiaceae	<i>Gardenia aubryi</i>	FM	E			x	x
5	Dicotylédones	Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>	LMN	A			x	
5	Dicotylédones	Sapindaceae	<i>Guiaia villosa</i>	FLMN	E			x	x
5	Dicotylédones	Thymelaeaceae	<i>Wikstroemia indica</i>	FLMN	A			x	

VII.4. Photographie des symptômes foliaires sur différentes espèces - juillet 2021



Codia discolor (gauche) et *Myodocarpus involucratus* (droite)



Alphitonia neocaledonica (gauche) et *Polyscias pancheri* (droite)



Pancheria ternata (gauche) et *Pteridium esculentum* (droite)



Montrouziera sphaeroidea (gauche) et *Codia spatulata* (droite)



Uromyrtus myrtilloides (gauche) et *Dubouzetia confusa* (droite)



Deux degrés de defoliation d'un Codia discolor

VII.5. Discussion au regard du suivi de la qualité de l'air

Chaque année, le suivi du SO₂ atmosphérique par tube passif est réalisé en théorie sur 13 campagnes d'une durée d'environ 28 jours⁵. La figure suivante montre, pour chaque site de mesure, les concentrations obtenues à l'aide de tubes passifs, moyennées sur l'ensemble des campagnes d'échantillonnage des années 2019, 2020, 2021 (jusqu'au 17 juin 2021), soit 2,5 ans.

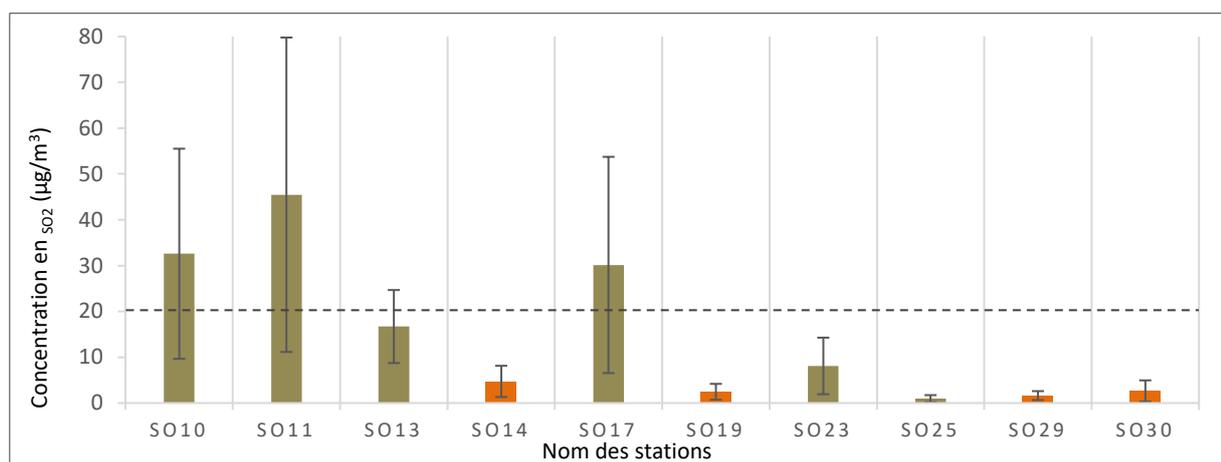
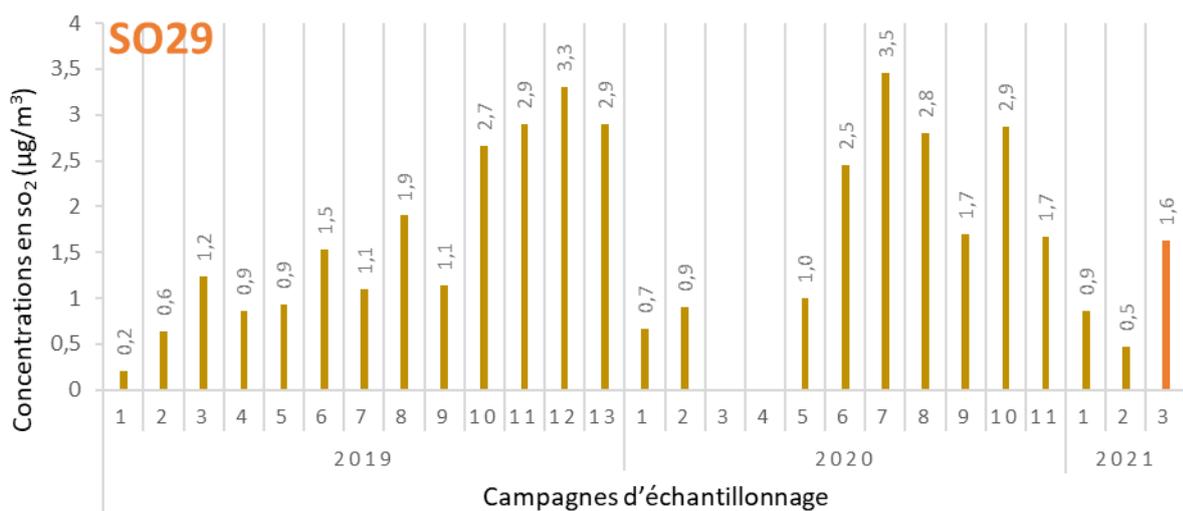
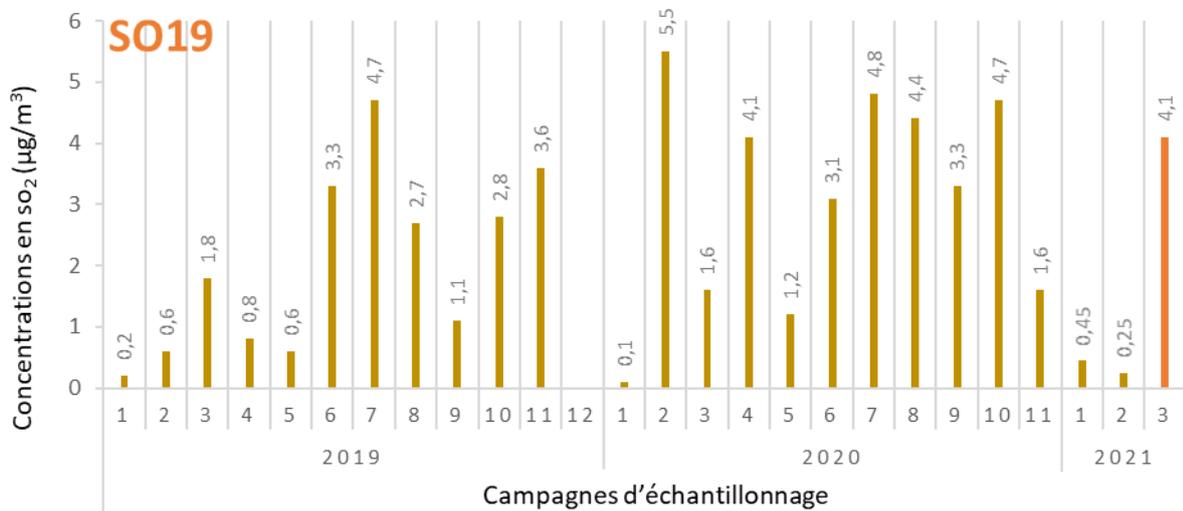
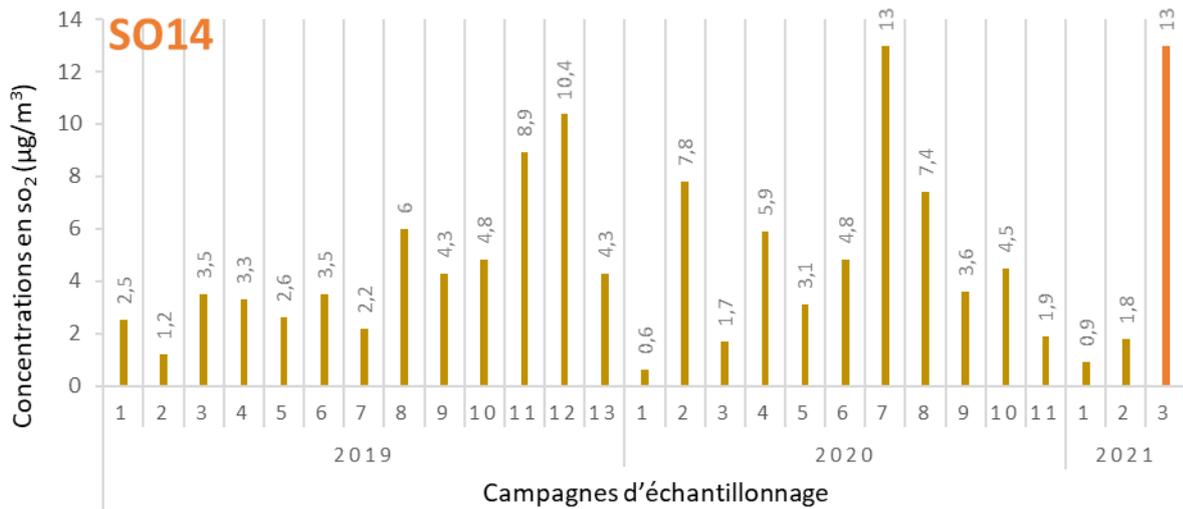


Figure 51 : Concentrations en SO₂ dans les tubes passifs moyennées sur une période de 2,5 ans (années 2019, 2020 et mi 2021). En marron les stations non impactées par le pic du 25 mai, en orange les stations potentiellement impactées. En pointillés, la valeur seuil réglementaire annuelle (20 µg/m³).

Les stations potentiellement impactées le 25 mai 2021 (en orange) font partie des stations pour lesquelles les concentrations moyennes en SO₂ de 2019 à 2021 sont les plus faibles en moyenne. La hausse éventuelle des concentrations en mai 2021 ne s'observe pas sur les moyennes de l'ensemble des campagnes d'échantillonnage. Sur ces stations, les valeurs moyennes restent largement inférieures à la valeur réglementaire annuelle de 20 µg/m³, ce qui n'est pas le cas pour certaines stations situées sous les vents dominants au nord-ouest de l'usine (S010, S011 et S017).

La figure suivante représente l'évolution des concentrations en SO₂ mesurées sur les 4 stations potentiellement impactées enregistrées lors des campagnes mensuelles d'échantillonnage de 2020 et 2021.

⁵ En 2020 et 2021, toutes les campagnes de suivi par tube passif n'ont pu être réalisées en raison de l'impossibilité d'accéder aux alentours de l'usine lors du blocage lié à la vente de l'usine.



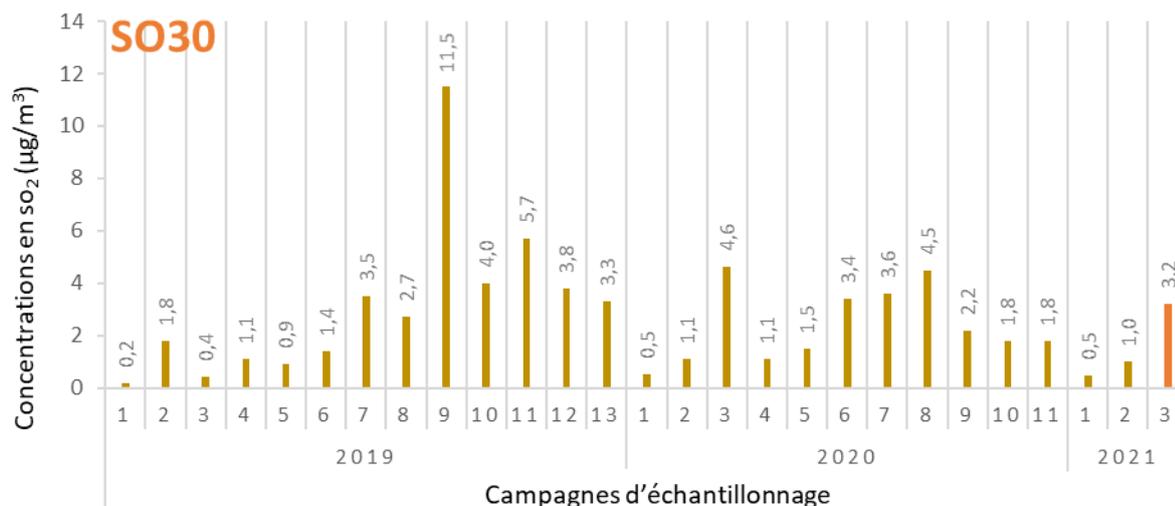


Figure 52 : Concentrations en SO₂ dans les 4 stations potentiellement impactées mesurées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021. En orange la campagne durant laquelle a eu lieu le pic du 25 mai (campagne du 20/05/2021 au 17/06/2021).

Il faut noter que les concentrations en SO₂ analysées varient d'une station à l'autre lors d'une même campagne et d'une campagne à l'autre au sein d'une même station. Elles restent néanmoins toujours en dessous de la valeur réglementaire annuelle (20 µg/m³)⁶, même au moment du pic de SO₂ enregistré le 21 mai 2021 (campagne 3, année 2021). En effet, ces stations situées au nord et à l'est de l'usine sont généralement moins soumises aux vents dominants, le plus souvent orientés sud/sud-est.

Concernant les stations S019, S029 et S030, les teneurs en SO₂ enregistrées (respectivement 4,1 µg/m³, 1,6 µg/m³ et 3,2 µg/m³) le mois du pic (campagne 3, année 2021) ne sont pas supérieures aux teneurs analysées lors des campagnes de 2020 et ne dépassent pas les 5 µg/m³. Ces valeurs faibles restent similaires aux valeurs moyennes présentées précédemment. Concernant la station S014, la concentration moyenne en SO₂ mesurée le mois du pic (campagne 3, année 2021) atteint 13 µg/m³, concentration en dessous de la valeur réglementaire (20 µg/m³) mais plus de 2 fois supérieure à la moyenne présentée précédemment.

Des pics de l'ampleur de celui mesuré sur S014 lors de la campagne 3 de 2021 (13 µg/m³) ont déjà été observés à deux autres reprises depuis 2019 sur les stations situées au nord-est de l'usine : en septembre 2019 sur S030 et en juillet 2020 sur S014. Les données bibliographiques ne nous permettent pas de savoir si ces pics ont généré des phénomènes de dépérissement liés au SO₂ sur la végétation au sein de la réserve de Forêt Nord.

Les teneurs, enregistrées lors de la période de prélèvement comprenant la journée du pic (campagne 3 de 2021) sur les 4 stations proches du phénomène de dépérissement (S019, S29, S30 et S014) sont plus faibles que les teneurs moyennes mesurées de 2019 à mi 2021 sur les 3 stations de tubes passifs les plus habituellement perturbées (car sous les vents dominants), situées à l'ouest de l'Usine (station SO17 : 30,13 µg/m³ en moyenne, avec un maximum de 86,10 µg/m³ en février 2020 - station SO10 : 32,58 µg/m³

⁶ Cette remarque est faite simplement à titre indicatif étant donné que la comparaison avec le seuil réglementaire annuel s'applique en théorie à des données collectées sur une durée d'un an, or les campagnes de suivi par tube passif sont réalisées sur une durée de 28 jours.

en moyenne, avec un maximum de 99,7 µg/m³ en février 2020 - station SO11 : 45,45 µg/m³ en moyenne, avec un maximum de 164,20 µg/m³ en mars 2019).

VII.6. Discussion relative aux tests de fumigation en conditions contrôlées

Le protocole des tests de fumigation a été effectués par Vale NC entre 2013 et 2015 (Vale, 2015 - étude fumigation 4) et en lien avec Francis Murray de l'Université de Murdoch (Australie), spécialiste reconnu par l'OMS pour suivre les effets phytotoxiques des pollutions atmosphériques industrielles sur les écosystèmes terrestres en Australie.

Ce protocole permet d'évaluer la réaction des espèces étudiées lorsqu'elles sont soumises à des concentrations plus ou moins élevées en SO₂ sur un temps court afin de mimer un pic de SO₂ atmosphérique. Les tests de fumigation durent entre 10 et 80 jours à raison de 2 heures d'exposition à la fumée 4 fois par semaine. Les concentrations varient entre 33 ppb et 1466 ppb (= partie par milliard), ce qui équivaut à des concentrations entre 87 µg/m³ et 3840 µg/m³, pendant 2 heures. Les concentrations moyennes de SO₂ peuvent être trouvées dans le tableau suivant :

Chamber number	Exposure 1	Exposure 2	Exposure 3	Exposure 4
	Mean SO ₂ concentration (ppb) during fumigations			
4 & 7	46	33	54	37
1 & 2	150	267	488	389
3 & 5	233	604	833	622
6 & 8	422	1036	1215	1092
9 & 10	714	1376	1466	1381

Figure 53 : Concentrations moyennes dans les chambres de fumigation

Ces tests permettent de visualiser et d'évaluer des effets potentiels sur la végétation à des concentrations élevées et largement supérieures aux concentrations réglementaires. Ils permettent également de vérifier la pertinence des seuils pour protéger les végétations proches d'ICPE telles que PRNC.

La réglementation préconise les seuils suivants :

- 570 µg/m³ en moyenne horaire (9 heures de dépassement autorisés dans l'année) ;
- 230 µg/m³ en moyenne journalière ;
- 20 µg/m³ en moyenne annuelle.

Ces tests de fumigation à fortes concentrations de SO₂ représentent des situations « exceptionnelles » auxquelles les plantes peuvent être exposées aux abords de l'usine, comme celles rencontrées en mai 2019 à la station Utilité pour laquelle la concentration a atteint 2800 µg/m³ (Scal'Air, 2019) et en novembre 2011 quand la station mobile placée à la limite ouest de l'usine a enregistré un pic de 7687 µg/m³ en moins de 30 minutes (OEIL Magazine n°4, 2012-2013). Il faut noter qu'en l'absence de station

de mesures en continu localisée à l'endroit de la zone impactée en mai 2021 à l'est de l'usine, la comparaison des teneurs en SO₂ dues au pic du 25 mai 2021 et celles utilisées au cours des tests de fumigation ne peut être réalisée. Notons également que ces tests de fumigation n'ont pas permis de reproduire des teneurs maximales de SO₂ comme celles qui peuvent être dégagées lors d'un feu de soufre (comme celui ayant entraîné le dépérissement de la forêt de chêne gomme en 2011).

La valeur la plus faible testée durant la fumigation est égale à 33 ppb (= 87 µg/m³). Cette valeur est dépassée deux fois dans les enregistrements de tubes passifs situés à l'Ouest de l'Usine, sur la période 2019-2021 :

- Campagne 3 de 2019 : 90 µg/m³, 145 µg/m³ et 82 µg/m³ pour les stations SO10, SO11 et SO17 respectivement ;
- Campagne 2 de 2020 : 100 µg/m³, 130 µg/m³ et 86 µg/m³ pour les mêmes stations SO10, SO11 et SO17 respectivement.

Les résultats des tests de fumigation effectués entre 2013 et 2015 sur 10 espèces particulièrement sensibles au SO₂ sont présentés dans le tableau suivant. Le genre *Codia* n'est pas utilisé dans ces essais, ce qui aurait permis de comparer les résultats avec ceux obtenus en juillet 2021 sur les transects mis en place à l'est de l'usine.

Malgré les concentrations très élevées utilisées durant les tests de fumigation, aucun individu n'est mort et les effets des fumées de SO₂ sous formes de symptômes foliaires restent peu visibles en dessous d'une teneur en SO₂ inférieure à 1500 µg/m³.

Numéro de Campagne	Teneurs SO ₂ (µg/m ³)	<i>Arillastrum gummiferum</i>	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	<i>Planchonella wakere</i>	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	<i>Flindersia fourrierii</i>	<i>Deplanchea speciosa</i>	<i>Grevillea exul</i>	<i>Araucaria nemorosa</i>	<i>Syzygium macranthum</i>	<i>Agathis lanceolata</i>
2	94	-	-	-	-	-	-	-			
3	154	-	-	-	-	-	-	-	-		
1	286	-	-	-	-	-	-	-			
1	571	-	-	-	-	-	-	-			
2	763	-	-	-	-	-	-	-			
1	857	-	-	-	-	-	-	-			
4	1 111	-	-		-			-	-	-	-
3	1 394	-	-	-	-	-		-	-		
1	1 429	-	+	+	-	-	-	-			
2	1 726	+	-	+	+	+	-	-			
4	1 777	+	-		-			-	+	-	+
3	2 380	+	-	+	-	+		-	+		
2	2 960	+	+	++	+	+	-	-			
4	3 120	+	+		+			+	+	-	++
3	3 557	+	-	++	+	++		+	+		
2	3 931	+	+	+++	+	+++	-	-			
4	2 946	++	++		+			++	++	-	++
3	4 189	+	+	+++	+	+++		++	++		

Figure 54 : Résultats symptomatologiques des tests de fumigation

Ligne rouge : représente le seuil horaire pour la protection des écosystèmes terrestres (570 µg/m³)

– : pas de symptômes au SO₂, + : symptômes SO₂ légers, ++ : symptômes SO₂ moyens, +++ : symptômes SO₂ sévères.
Rouge : espèces identifiées comme impactées lors du pic du 25 mai 2021.

Les symptômes les plus sévères (++ et +++) n'apparaissent qu'aux concentrations en SO₂ les plus élevées : à partir de 2960 µg/m³ pour ++ et 3931 µg/m³ pour +++ soit respectivement environ 5 fois plus et 7 fois plus que le seuil horaire de protection pour les écosystèmes (570 µg/m³).

Les deux seules espèces étudiées à la fois pendant les tests de fumigation et le pic du 25 mai 2021 sont *Alphitonia neocaledonica* et *Grevillea exul*. Toutes deux ont des indices de sévérité des symptômes variant entre 1 et 2 suite au pic du 25 mai 2021.

En tests de fumigation, des symptômes "+", probablement équivalent à l'indice de coefficient 1 sur l'échelle de valeur développé par l'IAC (IAC 2017), apparaissent à partir de 1429 µg/m³ pour *Alphitonia neocaledonica* et 3120 µg/m³ pour *Grevillea exul*. Par extrapolation, nous pourrions conclure que le pic de SO₂ atmosphérique de mai 2021 à l'est de l'usine aurait atteint une valeur supérieure à 3000 µg/m³, valeur 5 fois supérieure à la moyenne horaire seuil préconisée de 570 µg/m³.

Pour conclure, les résultats des tests de fumigation indiquent que les espèces étudiées ont une très bonne résistance à des valeurs fortes de SO₂ atmosphérique en situation semi contrôlée. Cependant des valeurs extrêmes comme celles qui peuvent être observées lors d'incidents sur l'usine n'ont pas pu être reproduites lors de ces tests. On ne peut donc pas affirmer que les écosystèmes seront résilients aux phénomènes de dépérissement (symptômes sévères observés sur certains individus de *Codia*) liés à un pic aigu et ponctuel de SO₂, tels que celui du 25 mai 2021 dont les concentrations en SO₂ restent indéterminées dans le cadre de cette étude. Cette résilience pourrait être évaluée lors de prochaines campagnes de suivi sur la zone touchée par le dépérissement à l'est de l'usine.

VII.7. Comparaison photographique des individus suivis (2021-2022)

2021

ARBRE 1 / 2D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale 2022	Marginale 2022	2022		2022	Morsure d'insecte 2022	Mineuse 2022		2022		
1	2D	1	494469,421	208020,883	<i>Codia discolor</i>	4	2	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 2 / 4G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de diétole	Etat de santé vis-à-vis de l'impact insectes			Indice de lésion feuille	
								2022	Interne	Marginal		2022	2022	2022		2022
1	4G	2	494464,475	208019,91	<i>Cordia discolor</i>	1	3	2	1	1	0	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 3 / 4D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jaune feuille					
								2022	Intervalle	2022		Marginal	2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	2022	2022
1	4D	3	494466,353	208023,556	<i>Cordia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	1	3	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 4 / 5D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jaune feuille				
								2022	Intervalle	2022		Marginal	2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	2022
1	5D	4	494466,026	208020,792	<i>Cordia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1

2021

ARBRE 5 / 8G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jaune feuille				
								2022	Intervalle	2022		Marginal	2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	2022
1	8G	5	494464,069	208021,351	<i>Cordia discolor</i>	0,5	3	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 6 / 12G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de biogresseurs			Indice de jaunissement des feuilles				
								2022	Intervalle	2022	Marginal		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022		
1	12G	6	494453,551	208019,751	<i>Cordia discolor</i>	2	2	0	1	-	1	-	2	3	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 7 / 13D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuses	2022		
1	13D	7	494457,285	208023,275	<i>Codia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 8 / 13G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuses	2022		
1	13G	8	494458,83	208023,266	<i>Codia discolor</i>	2	1	1	1	1	0	0	3	3	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 9 / 14D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Minuscule	2022		
1	14D	9	494456,353	208023,392	<i>Cordia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	2	3	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 10 / 15G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jaunissement des feuilles			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
1	15G	10	494454,799	208021,962	<i>Codia discolor</i>	0,3	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 11 / 16G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jaunissement des feuilles			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
1	16G	11	494453,051	208022,966	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 12 / 18G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
1	18G	12	494452,033	208024,522	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 13 / 19D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille				
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022	
1	19D	13	494452,658	208025,075	<i>Codia discolor</i>	0,2	2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 14 / 21D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose					Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille		
								2022	Internervale	2022	Marginale	2022		2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022
1	21D	14	494447,817	208025,66	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 15 / 21G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose					Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale	2022		2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022	2022
1	21G	15	494449,056	208026,423	<i>Codia discolor</i>	0,4	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	0

2021

ARBRE 16 / 22G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur Individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jaunissement			
								2021	Internodiale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2021	Mineuse	2022
1	22G	16	494447,713	208025,661	<i>Cordia discolor</i>	2	1	1	1	0	0	3	3	1	1	1	1	1

2021

ARBRE 17 / 22G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose			Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022
1	22G	17	494448,02	208024,991	<i>Codia discolor</i>	2,5	1	0	1	-	0	-	2	2	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 18 / 22G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose			Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022
1	22G	18	494446,564	208022,567	<i>Codia discolor</i>	2,5	1	0	1	-	0	-	2	2	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 19 / 25D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Interne	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022		
1	25D	19	494443,587	208024,46	<i>Codia discolor</i>	3,5	3	0	1	-	0	-	3	2	1	1	0	1	1	1

2021

ARBRE 20 / 25G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022	
1	25G	20	494442,235	208022,147	<i>Codia discolor</i>	0,5	1	1	1	-	0	3	3	1	1	0	0	0	0

2021

ARBRE 21 / 26D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022		
1	26D	21	494442,446	208022,694	<i>Codia discolor</i>	1,2	1	0	1	-	0	-	2	3	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 22 / 27G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défolié				Etat de santé vis-à-vis de bioprogresseurs				Indice de jeune feuille	
								2022	Internodiale	2022	Marginale	2022	2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	2022	2022	2022
1	27G	22	494441,622	208023,59	<i>Cordia discolor</i>	2,5	2	1	1	1	0	0	3	2	1	1	1	1	0	1	

2021

ARBRE 23 / 29G

2022





N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de Jeune feuille				
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022
1	29G	23	494436,785	208024,945	<i>Codia discolor</i>	3	3	1	1	1	0	1	3	2	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 24 / 33D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de Jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	
1	33D	24	494436,383	208025,505	<i>Codia discolor</i>	0,4	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 25 ET 26 / 33D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	2022	2022
1	33D	25	494435,763	208025,842	<i>Codia spatulata</i>	0,3	0	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1
1	33D	26	494435,97	208025,841	<i>Codia spatulata</i>	0,3	0	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 27 / 33D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	2022	2022
1	33D	27	494434,217	208025,851	<i>Codia spatulata</i>	0,4	2	0	1	-	0	-	0	1	1	0	0	0	0	1

2021

ARBRE 28 / 33D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille					
								2022	Internodiale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Minuscule	2022		
1	33D	28	494435,548	208024,618	<i>Cordia discolor</i>	0,5	1	0	1	-	1	-	0	0	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 29 / 35G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
1	35G	29	494434,738	208026,285	<i>Codia spatulata</i>	0,4	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 30 / 35D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022		
1	35D	30	494432,579	208027,736	<i>Codia discolor</i>	0,5	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 31 / 36D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022	
1	36D	31	494435,569	208028,164	<i>Codia spatulata</i>	0,6	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 32 / 36D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille					
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022		
1	36D	32	494434,029	208029,166	<i>Codia discolor</i>	2	1	0	1	-	0	-	3	2	1	1	1	1	1	1	1

2021

ARBRE 33 / 38G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Minuseuse
1	38G	33	494432,367	208026,967	<i>Codia discolor</i>	3	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

2021

ARBRE 34 / 38D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Minuseuse	2022
1	38D	34	494431,247	208028,858	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	0	1	1	1	1	0	0

2021

ARBRE 35 / 39D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de biopresseurs			Indice de jeune feuille					
								2022	Internodiale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022	
1	39D	35	494431,338	208026,639	<i>Codia discolor</i>	0,6	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 36 / 40D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprossecteurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Minuscule	2022	
1	40D	36	494429,689	208026,76	<i>Codia discolor</i>	0,6	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 37 / 40G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprossecteurs			Indice de jeune feuille		
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Minuscule	2022
1	40G	37	494429,073	208026,318	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 38 / 40D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
1	40D	38	494429,376	208026,427	<i>Codia discolor</i>	0,7	0	0	1	-	0	-	0	0	1	1	1	0	0

2021

ARBRE 39 / 40D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille		
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse
1	40D	39	494430,101	208026,423	<i>Codia spatulata</i>	1,2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0

2021

ARBRE 40 / 41D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Interne	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
1	41D	40	494426,604	208027,882	<i>Codia discolor</i>	0,8	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0

2021

ARBRE 41 / 41G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Interne	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
1	41G	41	494427,537	208027,988	<i>Codia discolor</i>	0,9	3	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 42 / 41D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	2022
1	41D	42	494426,92	208028,772	<i>Cordia discolor</i>	1	3	2	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 43 / 42D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille		
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuses	2022
1	42D	43	494428,26	208028,986	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1

2021

ARBRE 44 / 42G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille	
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuses
1	42G	44	494427,931	208025,99	<i>Codia discolor</i>	1,5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1

2021

ARBRE 45 / 42D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuse	2022	2022	2022
1	42D	45	494426,807	208027,222	<i>Cordia discolor</i>	0,4	1	0	1	-	0	-	0	0	0	0	0	0	1	1

2021

ARBRE 46 / 43D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Minuse	2022	2022	2022
1	43D	46	494426,302	208027,884	<i>Cordia discolor</i>	1,5	3	1	1	1	0	0	3	2	0	1	0	1	1	1

2021

ARBRE 47 / 44G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteu individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose				Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022	2022
1	44G	47	494425,898	208029,771	<i>Codia discolor</i>	0,8	0	0	0	-	0	-	0	0	0	1	0	1	1	1

2021

ARBRE 48 / 45G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	
1	45G	48	494423,613	208027,352	<i>Codia spatulata</i>	0,4	1	0	1	-	0	-	1	0	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 49 / 45G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	
1	45G	49	494423,517	208028,569	<i>Codia discolor</i>	0,6	3	0	1	-	1	-	1	0	0	1	0	0	1	1

2021

ARBRE 50 / 46D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteu individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose				Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022	2022
1	46D	50	494424,669	208030,669	<i>Codia spatulata</i>	0,4	0	0	0	-	0	-	0	0	0	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 51 / 47D

2022



2021

ARBRE 53 / 48D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Interne	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
1	48D	53	494422,395	208030,125	<i>Cordia discolor</i>	3,5	2	1	1	1	0	0	2	2	1	1	1	1	1

2021

ARBRE 54 / 48D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Interne	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
1	48D	54	494421,057	208030,245	<i>Codia discolor</i>	3	2	1	1	1	0	0	3	3	0	1	0	1	1

2021

ARBRE 55 / 1D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille				
								2022	Interne	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022		
2	1D	55	494484,334	208103,293	<i>Codia spatulata</i>	2	1	0	1	-	0	-	2	3	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 56 / 2G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille			
								2022	Internodiale	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Minuscule	2022	
2	2G	56	494485,622	208094,755	<i>Cordia discolor</i>	1,5	1	0	1	-	0	-	1	0	1	0	0	0

2021

ARBRE 57 / 2D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jaunissement feuille			
								2022	Interne	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
2	2D	57	494485,425	208096,529	<i>Codia discolor</i>	2	1	1	1	0	0	1	2	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 58 / 3D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jaunissement feuille				
								2022	Interne	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022		
2	3D	58	494484,404	208097,528	<i>Codia discolor</i>	1	0	0	0	-	0	-	0	0	1	1	1	1	1	0

2021

ARBRE 61 / 9G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes		Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Joune feuille		
							2022	2021	Interne	Marginal	2022	Morsure d'Insecte		Mineuse	2022				
2	9G	61	494487,45	208089,871	<i>Cordia discolor</i>	0,8	2	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 62 / 9D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	2022
2	9D	62	494487,448	208089,426	<i>Codia discolor</i>	1,7	2	2	1	1	0	1	2	2	1	1	1	0	1	1

2021

ARBRE 63 / 11D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	2022
2	11D	63	494486,398	208087,223	<i>Codia discolor</i>	0,6	0	0	0	-	0	-	1	1	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 64 / 13D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse
2	13D	64	494488,359	208087,212	<i>Cordia discolor</i>	1,6	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 65 / 17G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Mineuse
2	17G	65	494489,175	208086,538	<i>Cordia discolor</i>	0,5	3	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1

2021

ARBRE 66 / 18D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteu individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale 2022	Marginale 2022	2022		2022	Morsure d'insecte 2022	Mineuse 2022		2022	2022	
2	18D	66	494488,245	208085,551	<i>Codia discolor</i>	0,7	2	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 67 / 18D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteu individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose				Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022
2	18D	67	494489,582	208085,209	<i>Codia discolor</i>	0,6	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 68 / 18G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteu individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose				Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022
2	18G	68	494490,805	208083,317	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	3	2	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 69 / 20G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites				Indice de jeune feuille			
								Internodiale	Marginales	2022	2022		Morsure d'insecte	2022	Minuscule	2022				
2	20G	69	494488,112	208080,456	<i>Cordia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	2	2	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 70 / 24G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Minuscule	2022	
2	24G	70	494490,262	208077,454	<i>Codia discolor</i>	1,2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 71 / 25G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Minuscule	2022	
2	25G	71	494487,776	208076,142	<i>Codia discolor</i>	0,9	1	1	1	0	0	1	2	1	1	1	1	0	0

2021

ARBRE 72 / 26G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille					
								2022	Internervale	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuses	2022		
2	26G	72	494489,107	208075,02	<i>Cordia discolor</i>	1,4	0	0	0	-	0	-	1	2	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 73 / 28G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
2	28G	73	494489,515	208073,913	<i>Cordia discolor</i>	0,8	1	1	1	0	1	3	3	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 74 / 31G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
2	31G	74	494491,238	208068,696	<i>Cordia discolor</i>	1,2	2	1	1	0	1	3	2	1	1	0	0	0	1

2021

ARBRE 75 / 34G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioprocresseurs			Indice de Jeune feuille		
								2022	Intermédiaire	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse
2	34G	75	494491,748	208067,254	<i>Codia discolor</i>	0,6	2	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 76 / 35D

2022

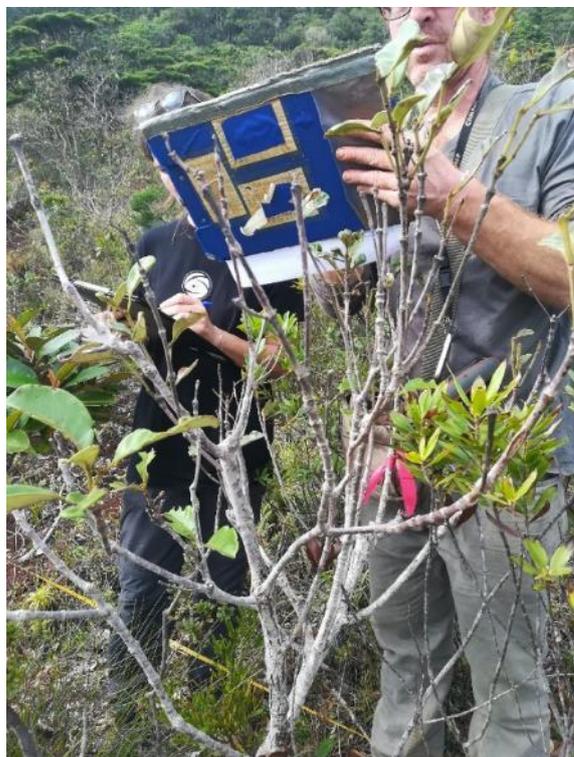


N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule		2022	2022	
2	35D	76	494490,49	208064,83	<i>Cordia discolor</i>	0,6	2	2	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1

2021

ARBRE 77 / 38G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022	Minuscule		2022	2022	
2	38G	77	494492,035	208064,709	<i>Cordia discolor</i>	1,4	2	0	1	-	1	-	2	2	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 78 / 40G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
2	40G	78	494493,259	208061,491	<i>Codia discolor</i>	1,8	1	1	1	0	1	3	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 79 / 42G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose			Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de jeune feuille			
								2022	Intermédiaire	2022		Marginale	2022	Morsure d'insecte		2022	Mineuse	2022
2	42G	79	494493,984	208062,814	<i>Codia discolor</i>	0,7	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1

2021

ARBRE 80 / 45G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
2	45G	80	494494,069	208059,602	<i>Cordia discolor</i>	0,7	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1

2021

ARBRE 81 / 46D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioparasites			Indice de jeune feuille			
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022		Mineuse	2022	
2	46D	81	494494,365	208057,057	<i>Cordia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1

2021

ARBRE 82 / 47G

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	Type de nécrose				Indice de défoliation	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022	2022	
2	47G	82	494493,42	208055,067	<i>Cordia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	1	4	2	1	1	1	1	1	1

2021

ARBRE 83 / 49D

2022



N° transect	N° placette	N° individu	E	N	Espèce	Hauteu individu (m)	Indice de sévérité des symptômes	•Type de nécrose				Indice de défoliati	Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs			Indice de Jeune feuille				
								2022	Internervale	2022	Marginale		2022	2022	Morsure d'insecte	2022	Mineuse	2022	2022	2022
2	49D	83	494494,143	208054,617	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	4	4	1	1	1	0	0	1

VII.8. Données brutes de suivi des transects (2021-2022)

N° transect	N° placette	N° individu	E (RGNC 91-93 Lambert NC)	N (RGNC 91-93 Lambert NC)	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes		Type de nécrose				Indice de défoliation		Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de Jeune feuille		Notes formes jeunes feuilles	
									Internervale		Marginale				Morsure d'insecte		Mineuse					
									2021	2022	2021	2022			2021	2022	2021	2022			2021	2022
1	2D	1	494469,421	208020,883	<i>Codia discolor</i>	4	2	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	1	0	1	L'arbre est trop grand pour observer l'état des jeunes feuilles
1	4G	2	494464,475	208019,91	<i>Codia discolor</i>	1	3	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	Morsures d'insectes
1	4D	3	494466,353	208023,556	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	1	3	1	1	0	0	0	0	1	Arbre partiellement mort, régénération à la base du tronc, jeunes feuilles RAS
1	5D	4	494466,026	208020,792	<i>Codia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	Jaunies, plus petites, morsures d'insectes
1	8G	5	494464,069	208021,351	<i>Codia discolor</i>	0,5	3	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	gâleuses
1	12G	6	494453,551	208019,751	<i>Codia discolor</i>	2	2	0	1	-	1	-	2	3	1	1	0	1	0	0	1	Arbre partiellement mort, régénération à la base du tronc, jeunes feuilles jaunies
1	13D	7	494457,285	208023,275	<i>Codia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	2	2	1	1	0	1	0	0	1	RAS
1	13G	8	494458,83	208023,266	<i>Codia discolor</i>	2	1	1	1	1	0	0	3	3	1	1	0	1	0	0	1	Morsures d'insectes
1	14D	9	494456,353	208023,392	<i>Codia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	2	3	1	1	0	1	0	0	1	Morsures d'insectes
1	15G	10	494454,799	208021,962	<i>Codia discolor</i>	0,3	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	RAS
1	16G	11	494453,051	208022,966	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	déformées
1	18G	12	494452,033	208024,522	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	Morsures d'insectes
1	19D	13	494452,658	208025,075	<i>Codia discolor</i>	0,2	2	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	Morsures d'insectes
1	21D	14	494447,817	208025,66	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	Morsures d'insectes
1	21G	15	494449,056	208026,423	<i>Codia discolor</i>	0,4	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	0	0	-
1	22G	16	494447,713	208025,661	<i>Codia discolor</i>	2	1	1	1	1	0	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	gâleuses
1	22G	17	494448,02	208024,991	<i>Codia discolor</i>	2,5	1	0	1	-	0	-	2	2	1	1	1	0	0	0	1	RAS
1	22G	18	494446,564	208022,567	<i>Codia discolor</i>	2,5	1	0	1	-	0	-	2	2	1	1	0	1	0	0	1	déformées
1	25D	19	494443,587	208024,46	<i>Codia discolor</i>	3,5	3	0	1	-	0	-	3	2	1	1	0	1	1	1	1	RAS
1	25G	20	494442,235	208022,147	<i>Codia discolor</i>	0,5	1	1	1	1	-	0	3	3	1	1	0	0	0	0	0	-
1	26D	21	494442,446	208022,694	<i>Codia discolor</i>	1,2	1	0	1	-	0	-	2	3	1	1	0	1	0	0	1	RAS

N° transect	N° placette	N° individu	E (RGNC 91-93 Lambert NC)	N (RGNC 91-93 Lambert NC)	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes		Type de nécrose				Indice de défoliation		Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de Jeune feuille		Notes formes jeunes feuilles
									Internervale		Marginale				Morsure d'insecte		Mineuse				2022
							2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	
1	27G	22	494441,622	208023,59	<i>Codia discolor</i>	2,5	2	1	1	1	0	0	3	2	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
1	29G	23	494436,785	208024,945	<i>Codia discolor</i>	3	3	1	1	1	0	1	3	2	1	1	1	1	0	1	Fleurs - jf RAS
1	33D	24	494436,383	208025,505	<i>Codia discolor</i>	0,4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
1	33D	25	494435,763	208025,842	<i>Codia spatulata</i>	0,3	0	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1	RAS
1	33D	26	494435,97	208025,841	<i>Codia spatulata</i>	0,3	0	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	0	0	1	Morsures d'insectes
1	33D	27	494434,217	208025,851	<i>Codia spatulata</i>	0,4	2	0	1	-	0	-	0	1	1	0	0	0	0	1	RAS
1	33D	28	494435,548	208024,618	<i>Codia discolor</i>	0,5	1	0	1	-	1	-	0	0	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
1	35G	29	494434,738	208026,285	<i>Codia spatulata</i>	0,4	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
1	35D	30	494432,579	208027,736	<i>Codia discolor</i>	0,5	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
1	36D	31	494435,569	208028,164	<i>Codia spatulata</i>	0,6	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1	RAS
1	36D	32	494434,029	208029,166	<i>Codia discolor</i>	2	1	0	1	-	0	-	3	2	1	1	1	1	1	1	Morsures d'insectes
1	38G	33	494432,367	208026,967	<i>Codia discolor</i>	3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	RAS
1	38D	34	494431,247	208028,858	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	0	1	1	1	1	1	0	0	Morsures d'insectes
1	39D	35	494431,338	208026,639	<i>Codia discolor</i>	0,6	1	0	1	-	0	-	0	0	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
1	40D	36	494429,689	208026,76	<i>Codia discolor</i>	0,6	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	RAS
1	40G	37	494429,073	208026,318	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	RAS
1	40D	38	494429,376	208026,427	<i>Codia discolor</i>	0,7	0	0	1	-	0	-	0	0	1	1	1	0	0	0	Morsures d'insectes
1	40D	39	494430,101	208026,423	<i>Codia spatulata</i>	1,2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	RAS
1	41D	40	494426,604	208027,882	<i>Codia discolor</i>	0,8	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	RAS
1	41G	41	494427,537	208027,988	<i>Codia discolor</i>	0,9	3	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	RAS
1	41D	42	494426,92	208028,772	<i>Codia discolor</i>	1	3	2	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	RAS
1	42D	43	494428,26	208028,986	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	RAS
1	42G	44	494427,931	208025,99	<i>Codia discolor</i>	1,5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	RAS
1	42D	45	494426,807	208027,222	<i>Codia discolor</i>	0,4	1	0	1	-	0	-	0	0	0	0	0	0	1	1	RAS
1	43D	46	494426,302	208027,884	<i>Codia discolor</i>	1,5	3	1	1	1	0	0	3	2	0	1	0	1	1	1	Fleurs - jf RAS
1	44G	47	494425,898	208029,771	<i>Codia discolor</i>	0,8	0	0	0	-	0	-	0	0	0	1	0	1	1	1	RAS
1	45G	48	494423,613	208027,352	<i>Codia spatulata</i>	0,4	1	0	1	-	0	-	1	0	1	1	1	0	0	1	RAS
1	45G	49	494423,517	208028,569	<i>Codia discolor</i>	0,6	3	0	1	-	1	-	1	0	0	1	0	0	1	1	RAS
1	46D	50	494424,669	208030,669	<i>Codia spatulata</i>	0,4	0	0	0	-	0	-	0	0	0	1	0	1	0	1	RAS

N° transect	N° placette	N° individu	E (RGNC 91-93 Lambert NC)	N (RGNC 91-93 Lambert NC)	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes		Type de nécrose				Indice de défoliation		Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de Jeune feuille		Notes formes jeunes feuilles
									Internervale		Marginale				Morsure d'insecte		Mineuse				
									2021	2022	2021	2022			2021	2022	2021	2022			2021
1	47D	51	494421,583	208031,68	<i>Codia spatulata</i>	0,4	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
1	48D	52	494421,159	208030,021	<i>Codia discolor</i>	2,6	Mort avant le 25/05/21		-		0		-		-		-		-		
1	48D	53	494422,395	208030,125	<i>Codia discolor</i>	3,5	2	1	1	1	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	Fleurs - jf RAS
1	48D	54	494421,057	208030,245	<i>Codia discolor</i>	3	2	1	1	1	0	0	3	3	0	1	0	1	1	1	Fleurs - jf RAS
2	1D	55	494484,334	208103,293	<i>Codia spatulata</i>	2	1	0	1	-	0	-	2	3	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
2	2G	56	494485,622	208094,755	<i>Codia discolor</i>	1,5	1	0	1	-	0	-	1	0	1	0	1	0	0	0	-
2	2D	57	494485,425	208096,529	<i>Codia discolor</i>	2	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
2	3D	58	494484,404	208097,528	<i>Codia discolor</i>	1	0	0	0	-	0	-	0	0	1	1	1	1	1	0	-
2	6D	59	494485,309	208094,311	<i>Codia discolor</i>	1,5	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1	1	1	0	1	RAS
2	6G	60	494489,019	208093,742	<i>Codia discolor</i>	1,5	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	RAS
2	9G	61	494487,45	208089,871	<i>Codia discolor</i>	0,8	2	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
2	9D	62	494487,448	208089,426	<i>Codia discolor</i>	1,7	2	2	1	1	0	1	2	2	1	1	1	0	1	1	Morsures d'insectes
2	11D	63	494486,398	208087,223	<i>Codia discolor</i>	0,6	0	0	0	-	0	-	1	1	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
2	13D	64	494488,359	208087,212	<i>Codia discolor</i>	1,6	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
2	17G	65	494489,175	208086,538	<i>Codia discolor</i>	0,5	3	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	Morsures d'insectes
2	18D	66	494488,245	208085,551	<i>Codia discolor</i>	0,7	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	Morsures d'insectes
2	18D	67	494489,582	208085,209	<i>Codia discolor</i>	0,6	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	Morsures d'insectes
2	18G	68	494490,805	208083,317	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	3	2	1	1	1	0	0	1	RAS
2	20G	69	494488,112	208080,456	<i>Codia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	0	2	2	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
2	24G	70	494490,262	208077,454	<i>Codia discolor</i>	1,2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
2	25G	71	494487,776	208076,142	<i>Codia discolor</i>	0,9	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1	1	1	0	0	-
2	26G	72	494489,107	208075,02	<i>Codia discolor</i>	1,4	0	0	0	-	0	-	1	2	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
2	28G	73	494489,515	208073,913	<i>Codia discolor</i>	0,8	1	1	1	1	0	1	3	3	1	1	1	0	0	1	Morsures d'insectes
2	31G	74	494491,238	208068,696	<i>Codia discolor</i>	1,2	2	1	1	1	0	1	3	2	1	1	0	0	0	1	Morsures d'insectes
2	34G	75	494491,748	208067,254	<i>Codia discolor</i>	0,6	2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	RAS

N° transect	N° placette	N° individu	E (RGNC 91-93 Lambert NC)	N (RGNC 91-93 Lambert NC)	Espèce	Hauteur individu (m)	Indice de sévérité des symptômes		Type de nécrose				Indice de défoliation		Etat de santé vis-à-vis de bioagresseurs				Indice de Jeune feuille		Notes formes jeunes feuilles
									Internervale		Marginale				Morsure d'insecte		Mineuse				2022
									2021	2022	2021	2022			2021	2022	2021	2022			
2	35D	76	494490,49	208064,83	<i>Codia discolor</i>	0,6	2	2	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	déformées
2	38G	77	494492,035	208064,709	<i>Codia discolor</i>	1,4	2	0	1	-	1	-	2	2	1	1	1	1	0	1	RAS
2	40G	78	494493,259	208061,491	<i>Codia discolor</i>	1,8	1	1	1	1	0	1	3	1	1	1	0	1	0	1	RAS
2	42G	79	494493,984	208062,814	<i>Codia discolor</i>	0,7	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	RAS
2	45G	80	494494,069	208059,602	<i>Codia discolor</i>	0,7	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	Morsures d'insectes
2	46D	81	494494,365	208057,057	<i>Codia discolor</i>	1	1	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	0	1	Morsures d'insectes
2	47G	82	494493,42	208055,067	<i>Codia discolor</i>	1,5	2	1	1	1	0	1	4	2	1	1	1	1	1	1	Morsures d'insectes
2	49D	83	494494,143	208054,617	<i>Codia discolor</i>	1	1	0	1	-	0	-	4	4	1	1	1	0	0	1	Morsures d'insectes

Mineuse : larves de mouches ou de papillons qui creusent dans les feuilles des galeries, entre les deux épidermes du limbe, formant ce que l'on appelle une mine en consommant le parenchyme chlorophyllien.

N° de placette : distance de l'individu sur le transect et position par rapport au transect. Exemple : 2D : 2m à droite du transect.