



HAL
open science

Qualification et quantification des flux de la mine au lagon et de leurs impacts. Rapport synthétique des travaux

Michel Allenbach, Mélanie Bertrand, Marc Despinoy, Olivier Evrard, Manuel Garcin, Frédéric Liébault, Oldrich Navratil, Alain Recking, Didier Richard, Isabelle Rouet, et al.

► To cite this version:

Michel Allenbach, Mélanie Bertrand, Marc Despinoy, Olivier Evrard, Manuel Garcin, et al.. Qualification et quantification des flux de la mine au lagon et de leurs impacts. Rapport synthétique des travaux. [Rapport de recherche] Programme Immila. [Tome Nickel et Environnement], CNRT Nickel et son environnement. 2020, 49 p. hal-03417994

HAL Id: hal-03417994

<https://hal.science/hal-03417994>

Submitted on 6 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

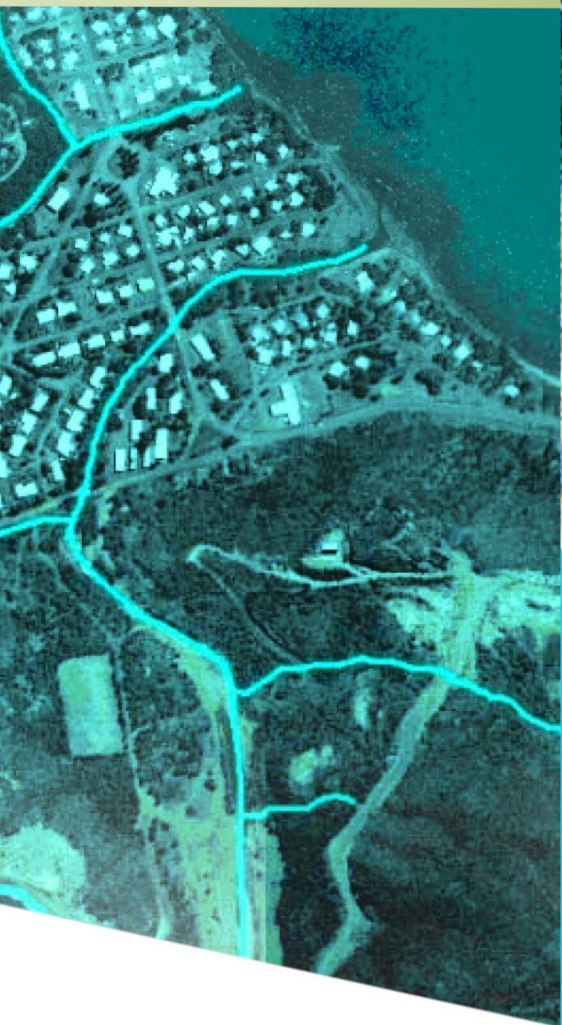


SYNTHESE

Des rapports scientifiques

EDITION
Bassin versant
2020

IMMILA - rapport synthétique des travaux
Qualification et quantification des
flux de la mine au lagon et des leurs
impacts



Rapport synthétique des travaux 2020

PROGRAMME IMMILA
IMPACT DE LA MINE AU LAGON



*Étude réalisée dans le cadre des programmes de recherche financés par le
CNRT « Nickel et son environnement »*

CNRT
NICKEL
& son environnement

Novembre 2020



E.W

« IMMILA – IMPACT DE LA MINE AU LAGON »

QUALIFICATION ET QUANTIFICATION DES FLUX DE LA MINE AU LAGON ET DES LEURS IMPACTS

Rapport synthétique des travaux

Novembre 2020

Ouvrage collectif coordonné par Michel ALLENBACH (UNC – ISEA - EA 7484) pour le consortium UNC (ISEA-EA 7484), IRD (UMR 228 ESPACE-DEV), IRSTEA (Unité ETNA), CEA (LSCE-CEA – UMR 5600), BRGM, CNRS (UMR M2C Caen), Rouetis R&D, EW Consultant.

Auteur.e.s (liste alphabétique)

Michel ALLENBACH (UNC)
Melanie BERTAND (IRSTEA)
Marc DESPINOY (IRD)
Olivier EVRARD (LSCE CEA)
Manuel GARCIN (BRGM)
Frederic LIEBAULT (IRSTEA)
Oldrich NAVRATIL (U LYON)
Alain RECKING (IRSTEA)
Didier RICHARD (IRSTEA)
Isabelle ROUET (ROUETIS R&D)
Catherine SABINOT (IRD)
Virginie SELLIER (LSCE CEA)
Bernadette TESSIER (CNRS)
Isabelle THINON (BRGM)
TOURAIVANE (UNC)
Elisabeth WORLICZEK (EW)

Stagiaires du Programme

Yann GASTALDI
Louise SCHNEIDER
Germain MERIAUX
Laetitia NEMOAJOU
Lucie GOSSET
A-Tena PIDJO
Perrine DRAIN
Larrivière MOUSSOUNDA
Simon TRANQUART
Léo PANCRAZI
Nicolas GOSELIN
Tom BURLAT

RÉVISION DU DOCUMENT

Réf.	CSF n° 10PS2013-CNRT.UNC/IMMILA du 01/09/2015			
Version	Date	Rédacteur(s)	Qualité rédacteur(s) du	Révision pour CNRT
V3	21.11.2020	Michel ALLENBACH UNC	Coordinateur du programme	F. Bailly CNRT

CITATION DU DOCUMENT

Mots clés : Impact environnemental, Quantification, Qualification, Transport par charriage, MES, Thio, Nouvelle-Calédonie ;

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Allenbach M. et coll. (2020) – *Rapport synthétique des résultats*. Programme « IMMILA, Impact de la mine au lagon ». CNRT « Nickel & son environnement. 49 pages.

SOMMAIRE

PREAMBULE	7
1. PRESENTATION DU PROGRAMME	9
2. DYNAMIQUE ANCIENNE DES APPORTS AU LITTORAL	11
2.1. L'ÉTUDE DE SISMOLOGIE MARINE	11
2.2. LES SONDRAGES CAROTTÉS.....	13
2.3. CORRÉLATION ENTRE LA SISMOLOGIE THR ET LES SONDRAGES CAROTTÉS.....	14
3. ÉVOLUTION « RECENTE » DES BASSINS VERSANTS ET DES HYDROSYSTÈMES	18
3.1. CHRONIQUE MÉTÉOROLOGIQUE ET HYDROLOGIE	18
3.2. CARTOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS ET ÉVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT.....	21
3.3. ÉTUDE MORPHODYNAMIQUE DE L'HYDROSYSTÈME	26
3.4. ÉVOLUTION DES APPORTS MINIERES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA THIO.....	30
3.5. QUANTIFICATION DES TAUX DE SÉDIMENTATION DANS LA ZONE LITTORALE.....	36
3.5.1. <i>Étude des systèmes côtiers des embouchures de la Thio et de la Todrè</i>	36
3.5.2. <i>Estimation des taux de sédimentation dans la zone littorale</i>	38
4. ÉTAT ET FONCTIONNEMENT ACTUEL : TRANSPORT SOLIDE GROSSIER ET MATIÈRES EN SUSPENSION	40
4.1. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE GROSSIER	40
4.1.1. <i>Analyse géomorphologique de la dynamique sédimentaire</i>	40
4.1.2. <i>Quantification des flux</i>	41
4.2. LES MATIÈRES EN SUSPENSION	42
4.2.1. <i>Traçage des matières en suspension</i>	42
4.2.2. <i>Caractérisation et quantification du colmatage de la Thio et de ses affluents</i>	43
4.2.3. <i>Concentrations et flux de matières en suspension à l'exutoire de la Thio</i>	44
5. PERCEPTION DES HABITANTS ET ACCEPTATION SOCIALE DES TRANSFORMATIONS ENVIRONNEMENTALES	45
5.1. REGARDS CROISÉS ENTRE SAVOIRS SCIENTIFIQUES ET SAVOIRS LOCAUX	46
5.1.1. <i>la confrontation des savoirs, vécus et représentations locales aux analyses scientifiques du sur-engravement des creeks et de la Thio concernant les déchets miniers, la caillasse et les sédiments charriés</i>	46
5.2. LA CONFRONTATION DES PERCEPTIONS ET DES ANALYSES SCIENTIFIQUES DE L'HYPERSÉDIMENTATION DES CREEKS ET DE LA THIO, JUSQU'AU DELTA : LES BOUES, LA POLLUTION ET LES MATIÈRES EN SUSPENSION (MES).....	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les bassins versants de la Thio et de la Todrè, chantier géographique d'IMMILA	9
Figure 2 : Profil type (boomer), parallèle à la côte (enregistrement sismique au-dessus et coupe interprétative au-dessous).....	11
Figure 3 : Cartographie isochrone (mstd) de l'épaisseur du recouvrement sédimentaire entre le fond marin (réflecteur bleu) et le rail interne (réflecteur orange) du remplissage sédimentaire	12
Figure 4 : Positionnement des forages	13
Figure 5 : Cible du sondage S2 situé au plus près de l'extrémité Sud-Ouest du profil sismique IM16_021– Remplissage anté réflecteur interne.....	15
Figure 6 : Profil sismique IM16_014, brut (haut), avec les principaux réflecteurs pointés (milieu), interprété (bas).....	16
Figure 7 : Corrélacion entre le forage S1 et le profil sismique IM16_014.....	17
Figure 8 : Carte du caractère localement favorable à l'érosion par ruissellement	22
Figure 9 : Carte des surfaces en excavation artificielle (source BDTPOPO, Gouvernement NC).	23

Figure 10 : Détail par classe et par date des superficies dans le bassin de la Thio	24
Figure 11 : Évolution générale des surfaces de sols nus sur 12 sous-bassins versants miniers de la Thio étudiés par le BRGM et l'IRD.	25
Figure 12 : Évolution de la superficie de végétation par sous-bassin versant entre 1986 et 2015.....	26
Figure 13 : Évolutions de la bande active de la Thio et de ses affluents entre 1954 et 2015.....	27
Figure 14 : Évolution de la bande active de la Todré entre 1943 et 2015	28
Figure 15 : Mise en place schématique des vagues sédimentaires successives de la Néburu ; le trait discontinu représente l'extension latérale de la bande active	29
Figure 16 : Tonnage de stériles produit dans les sous-bassins versants de la Thio (la ligne verticale en tiret violet correspond à l'année 1975, date de la mise en œuvre du code minier interdisant la mise en décharge des stériles).....	31
Figure 17 : Évaluation du volume de stériles mis en décharge sur l'ensemble du bassin versant de la Thio	31
Figure 18 : Tonnage de stérile total mis en décharge par sous bassin versant.....	32
Figure 19 : Apport spécifique total de stérile mis en décharge en tonnes/hectare par sous bassin versant	32
Figure 20 : Localisation des apports en stériles miniers sur les profils en long des cours d'eau.....	34
Figure 21 : Tonnage des apports miniers issus des décharges regroupées selon leur localisation dans le bassin amont, médian ou aval de la Thio (en haut tonnage annuel, en bas tonnage cumulé)	35
Figure 22 : Les 4 transects utilisés pour l'analyse du trait de côte.	37
Figure 23 : Position des échantillonnages associés à des estimations de vitesses de sédimentation...	38
Figure 24 : Hypothèse d'un contrôle hydraulique aval.....	41
Figure 25 : Carte des contributions relatives des sous-bassins miniers et non-miniers aux sédiments transitant dans la Thio au moment de la crue d'avril 2017 (Cyclone Cook).....	43
Figure 26 : Variabilité spatiale des quantités de fines dans les creeks et sur la Thio.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Surface des bassins versants détectée en sol nu en hectares et proportions dans les images satellitales de 1986, 1994-95, 1999 et 2015.....	23
Tableau 2 : Distance de déplacement (en m) et vitesse (en m/an) des traits de côte par rapport à la bande représentative du trait de côte de 1880 au niveau des 4 transects.....	37
Tableau 3 : Chroniques des crues débordantes à l'endroit du carottage	39

LISTE DES SIGLES & ABREVIATIONS

BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CNRT	Centre National de Recherche Technologique
EA	Équipe d'accueil
IMMILA	Impact de la mine au lagon
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IRSTEA	Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour L'Environnement et l'Agriculture
ISEA	Institut des Sciences Exactes et Appliquées
LiDAR	Light detection and ranging
LSCE	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
MES	Matières en suspension
UMR	Unité Mixte de Recherche
UNC	Université de la Nouvelle-Calédonie
RSF	Rapport scientifique final du programme IMMILA

PREAMBULE

IMMILA est un programme de recherche mené par un consortium scientifique réunissant l'Université de la Nouvelle-Calédonie (LIVE-EA 4243 devenu ISEA EA-7484), l'IRD (UMR 228 ESPACE-DEV), l'IRSTEA (Unité ETNA), le CEA (LSCE) associé à l'Université de Lyon (UMR-CNRS 5600-IRG), le BRGM, le CNRS (UMR M2C Caen) et deux bureaux d'études en nom propre : Rouetis R&D et Élisabeth Worliczek Consultant.

Le présent document correspond au rapport synthétique du programme IMMILA (Impact de la mine au lagon) – *Qualification et quantification des flux de la mine au lagon et de leurs impacts*.

Ce rapport accompagne un rapport scientifique final (RSF), lui-même associé à un mémoire des contributions intégrales des partenaires scientifiques.

Le texte de ce rapport synthétique est volontairement réduit, à la demande du CNRT, pour faciliter sa lecture. Il renvoie à des paragraphes détaillés, à des figures et à des tableaux de données qui sont présentés dans le rapport scientifique et le volume d'annexes, que le lecteur consultera s'il le juge souhaitable.

Ce programme s'insère dans un ensemble de deux projets sur le '**Transport solide dans les bassins versants miniers**' composé de :

- IMMILA Impact de la mine au lagon, coordonné par Michel ALLENBACH, UNC (2015-2019). 2 volumes : Rapport scientifique et Annexes (Contributions complètes).
- GESTION DU PASSIF de l'activité minière et REMEDIATION, coordonné par Manuel GARCIN, BRGM (2015-2018). 2 volumes : Rapport scientifique et Guide méthodologique.

Cet ensemble de projets traite des causes et des mécanismes de mobilisation des matériaux et propose des mesures de remédiation aux engravements anciens ou plus récents des rivières calédoniennes.

Avertissement : Ce rapport synthétique ne mentionne, au fil du texte, que quelques références bibliographiques. L'intégralité des références bibliographiques utilisées dans les différentes contributions d'IMMILA sont présentées dans le rapport scientifique final du programme et dans le mémoire des contributions intégrales.

1. PRESENTATION DU PROGRAMME

Le programme *IMMILA*, financé par le CNRT 'Nickel et Environnement', a été mené par le consortium UNC (ISEA-EA 7484), IRD (UMR 228 ESPACE-DEV), IRSTEA (Unité ETNA), CEA (LSCE), Université de Lyon (UMR 5600), BRGM, CNRS (UMR M2C Caen), Rouetis R&D, EW Consultant et il a été restitué à Nouméa et à Thio au mois d'octobre 2019.

Les recherches menées ont été étroitement associées à celles du programme CNRT « *Gestion du passif* » dont il se voulait être la première application opérationnelle du guide méthodologique produit. Il avait, par ailleurs, pour objectif de caractériser l'influence des exploitations minières sur les transferts de sédiments (gros et fins) dans différents compartiments (versant, rivière, estuaire, lagon) du transect de la mine au lagon sur le chantier géographique principal (Figure 1) du bassin versant de la rivière Thio (côte est de la Grande Terre néo-calédonienne).

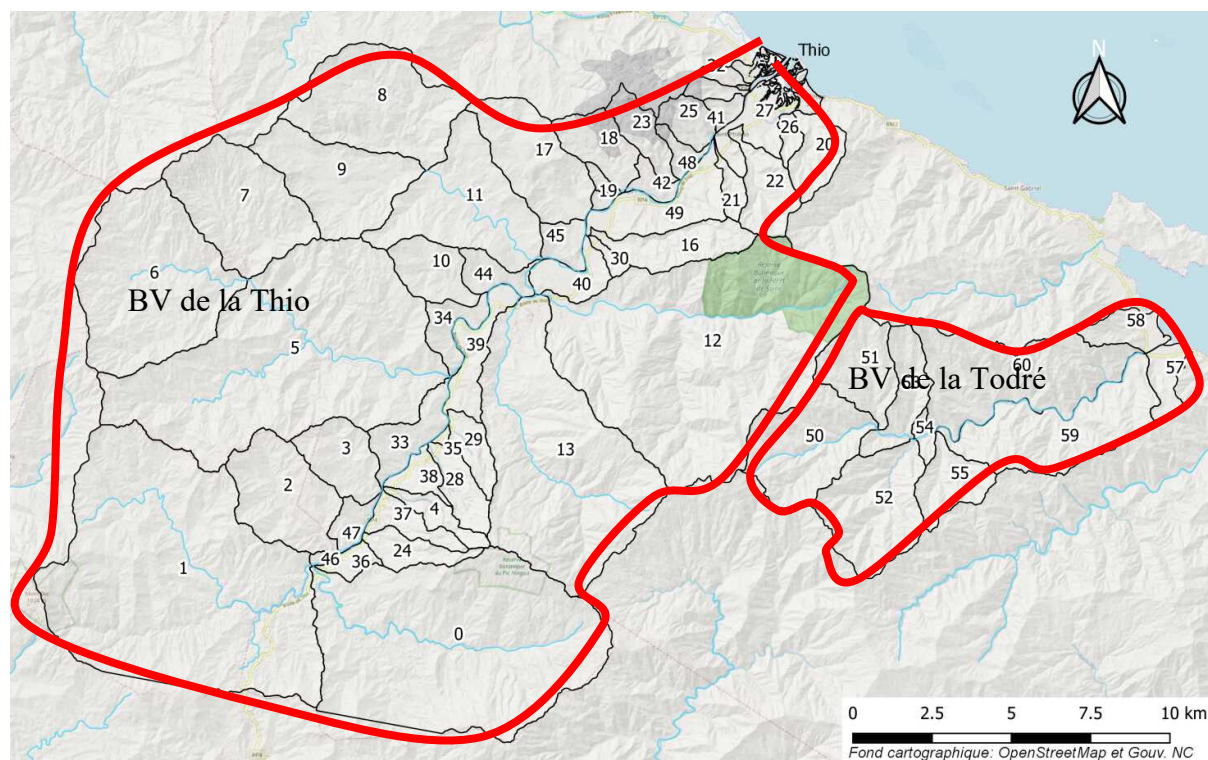


Figure 1 : Les bassins versants de la Thio et de la Todré, chantier géographique d'IMMILA

Ce bassin, d'une superficie de 396 km², formé de roches variées dont une partie de péridotites, a été choisi du fait du passé minier de la région de Thio, berceau de l'exploitation du nickel en Nouvelle-Calédonie et du recul historique (150 ans) sur l'extraction du minerai dans ce secteur géographique.

Le programme a également été mené, chaque fois que cela a été possible, sur le bassin versant de la Todré qui se jette en Baie de Port Bouquet, à une douzaine de kilomètres vers le sud-est de l'embouchure de la rivière Thio. Ce bassin (61 km²) est composé de plusieurs types de roches dont des péridotites qui ont été moins impactées par l'activité minière. Il a été proposé comme bassin de référence. Ce choix est loin d'être parfait du fait des superficies et géologies différentes entre les deux bassins, du profil en long de la rivière et des pentes différentes de celles du bassin versant de la Thio, mais à proximité de l'embouchure de la Thio, ce bassin représentait le moindre mauvais choix pour essayer d'avoir des comparaisons entre un domaine minier fortement impacté et un domaine moins impacté.

IMMILA se proposait de réaliser une approche méthodologique multi-temporelle qui s'articulait autour de trois échelles de temps emboîtées : le temps long (avant la mine et au début de celle-ci, du temps de l'exploitation manuelle), le temps récent (depuis la fin de la guerre et la montée en puissance de l'exploitation mécanisée jusqu'aux années 2000) et le temps actuel (ce qui se passe aujourd'hui). Le rapport a suivi ce plan.

Les principaux résultats obtenus sont présentés dans cette synthèse dans les sections 2 à 5 sous des formats réduits. Ils sont également accessibles dans le rapport scientifique final du projet et son volume d'annexes où sont compilées, dans leur format originel et dans leur intégralité, les contributions détaillées des partenaires du consortium. Le lecteur pourra s'y référer pour compléter, si besoin est, les informations présentées dans ce rapport synthétique. Dans celle-ci, la notation (RSF), suivant un numéro de paragraphe permet de préciser où trouver les informations évoquées dans le rapport scientifique final.

2. DYNAMIQUE ANCIENNE DES APPORTS AU LITTORAL

Sur le transect de la mine au lagon, le milieu le plus favorable pour apporter des éléments d'information sur le temps long à la problématique posée par IMMILA était l'aval du transect de la mine au lagon. C'est dans le milieu marin littoral que l'on s'est efforcé de rechercher les archives sédimentaires ayant enregistré les faits associés aux trois premières étapes (érosion/altération, transport, sédimentation) du cycle sédimentaire actif dans la zone géographique étudiée. Deux approches méthodologiques ont été mises en œuvre : la réalisation de levés géophysiques THR (très haute résolution) à l'interface terre-mer et celle de sondages carottés dans cette même zone.

2.1. L'ÉTUDE DE SISMIQUE MARINE

Auteurs : I. Tessier (Univ. Caen, CNRS), I. Thion (BRGM), S. Trinquart (Stagiaire)

Cette étude détaillée au paragraphe 2.1 (RSF) a montré tout d'abord la pérennité sur une longue période (plusieurs dizaines de milliers d'années) des exutoires de la rivière Thio et le caractère rythmé de l'évolution géomorphologique littorale dans un contexte de fluctuations du niveau de base (le niveau de la mer) soumis aux cycles glacio-eustatiques du quaternaire. Les paléo-vallées aux flancs redressés (Fig. 2) qui caractérisent la morphologie du réflecteur basal ont été creusées au cours de bas niveaux marins associés aux périodes froides. Au cours du dernier épisode de ce type (le Würm daté entre - 115 000 et - 12 000 ans, marqué dans le détail par plusieurs oscillations eustatiques), le niveau de la mer a pu descendre ainsi à plus d'une centaine de mètres au-dessous de ce qu'il est aujourd'hui. Cette régression marine a fait du lagon un espace continental, autorisant l'incision des thalwegs (les paléo-vallées) par l'eau de la rivière jusqu'aux exutoires synchrones de ces périodes : les passes actuelles au niveau du récif barrière. Trois séquences de remplissage (U1, U2 et U3) ont pu être identifiées qui correspondent à des phases de comblement superposées des paléo-vallées. Ces dépôts se sont mis en place à l'occasion de périodes moins froides du Würm se traduisant par des remontées plus ou moins significatives du niveau de la mer.

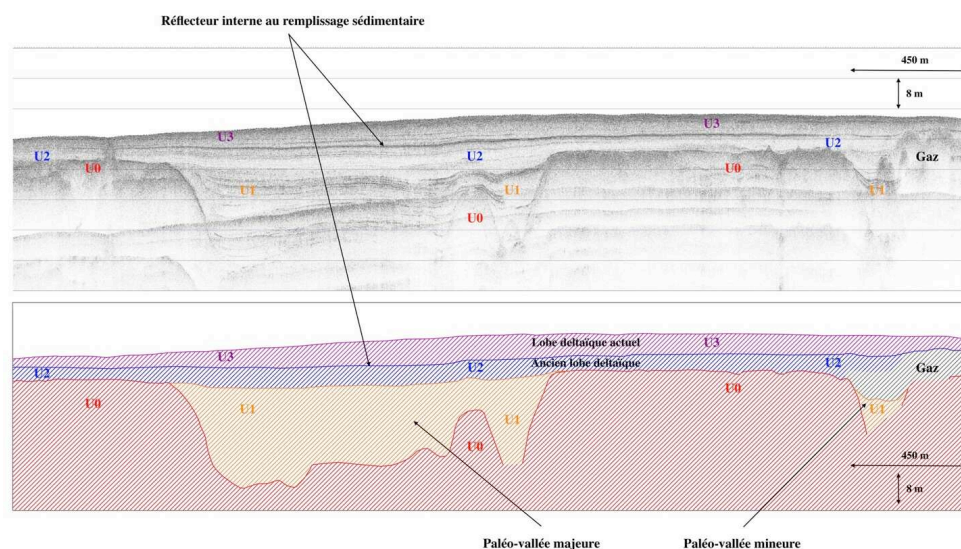


Figure 2 : Profil type (boomer), parallèle à la côte (enregistrement sismique au-dessus et coupe interprétative au-dessous)

Les épaisseurs de sédiments déposés dans les paléo-vallées et sur l'éventail progradant deltaïque proche du littoral sont significatives et démontrent une évolution géomorphologique conforme à la logique sédimentaire d'un bassin versant pentu, aux roches soumises à l'érosion et à l'altération dans une zone géographique à la pluviométrie significative.

En regard de la question posée par la quantification de l'impact des activités minières au sein des apports sédimentaires de la Thio à la zone marine couverte par le levé géophysique, c'est au sein de la

partie supérieure de la séquence de remplissage U3 de vallée incisée que se trouve la réponse avec un premier élément quantitatif. Cet impact qui ne peut pas être seulement minier, mais intègre des facteurs anthropiques (feux, déforestation) et naturels a une épaisseur maximale de 15 mètres, bien moindre lorsque l'on s'éloigne de l'apex des dépôts sans qu'il soit possible par les résultats de la seule étude géophysique de dire quel est l'âge de la base de cette unité.

Cette surface basale se présente sur les enregistrements de géophysique sous la forme d'un réflecteur qui est continu sur l'ensemble de la zone levée. Il traduit donc un fait hydrosédimentaire important sans qu'il ait été possible d'apporter des précisions sur sa signification. Seules des datations et une analyse sédimentologique sur des carottages en mer recoupant l'unité et sa surface basale auraient pu apporter des réponses et fournir des taux de sédimentation. Le financement accordé au programme ne permettait pas de faire ce travail. Nous verrons au paragraphe suivant qu'une tentative a tout de même été réalisée en ce domaine.

L'analyse morphologique de la cartographie isochrone de l'épaisseur du recouvrement sédimentaire entre le fond marin et la base de U3 apporte quelques précisions. Le prodelta marin le plus récent correspondant à l'unité U3 s'étend sur une superficie de l'ordre de 2km² bien visualisable sur la figure 3.

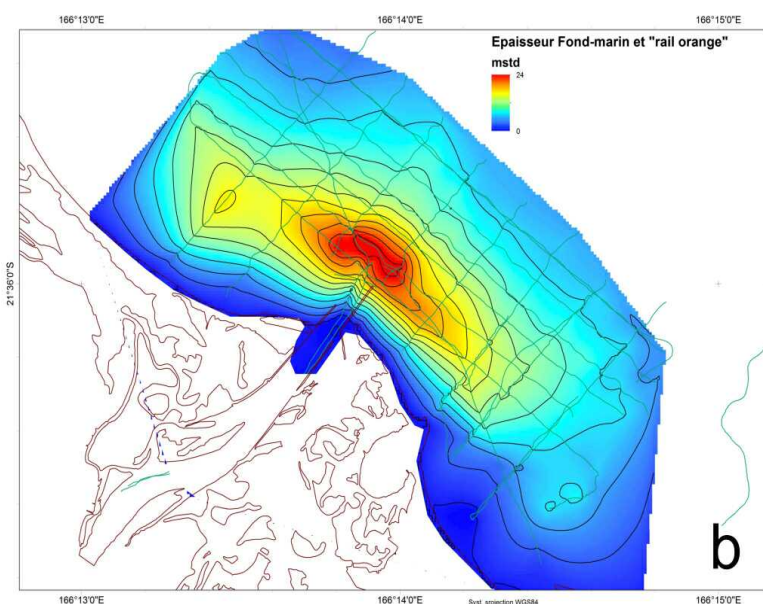


Figure 3 : Cartographie isochrone (mstd) de l'épaisseur du recouvrement sédimentaire entre le fond marin (réflecteur bleu) et le rail interne (réflecteur orange) du remplissage sédimentaire

Au-delà de la courbe bathymétrique des 10 m, la morphologie du fond se régularise et l'appareil sédimentaire deltaïque s'efface. L'impact de l'accumulation des dépôts de la rivière au-delà du trait de côte actuel, à l'interface terre mer, est donc surfaciquement réduit. Il concerne essentiellement des graviers et des sables. Les matières en suspension les plus fines (lutites) arrivant à la mer sont redistribuées dans le lagon par la dynamique sédimentaire littorale et intégrées au recouvrement sédimentaire superficiel sans qu'il apparaisse de placages pérennes de fines d'origine continentale surfaciquement significatifs.

Pour autant, l'apport en fines de la rivière au cours de la période récente est majeur, comme le montreront les conclusions des autres volets de cette synthèse. En effet, le trait de côte a considérablement avancé vers le large au cours du siècle dernier, témoignant d'une forte hypersédimentation liée aux facteurs naturels et anthropiques actifs dans le bassin versant. Les raisons de ce gain surfacique qui traduit le piégeage à l'interface terre-mer des matières en suspension (MES) dans un processus dynamique continu qui déplace progressivement le trait de côte vers le large sont commentées au paragraphe 2.1.4 (RSF).

2.2. LES SONDAGES CAROTTÉS

Auteur : M. Allenbach (UNC)

S'il n'était pas envisageable financièrement de réaliser des carottages en mer, la réflexion sur la signification du réflecteur basal de l'unité U3 et le souhait d'obtenir des taux de sédimentation sur la période du temps long ont poussé le CNRT à dégager un petit complément financier pour réaliser des sondages carottés à terre, au plus près de l'interface terre-mer, là où les enregistrements de géophysique laissaient espérer pouvoir recouper la surface basale de l'unité U3 et échantillonner des sédiments anté et post réflecteur basal.

Deux forages ont ainsi été réalisés en septembre 2018 et mai 2019 en haut de plage en rive droite (S2) et rive gauche (S1) de la rivière en des points visualisables sur la figure 4. Ces forages menés jusqu'à des profondeurs de 25 et 31 mètres ont été difficiles techniquement à réaliser du fait du caractère sablo graveleux des sédiments de surface et les taux de récupération ne sont pas fameux dans les premiers mètres. Pour autant, des longueurs significatives de carottes ont pu être échantillonnées. Les détails sur cette étude peuvent être trouvés au paragraphe 2.2 (RSF).

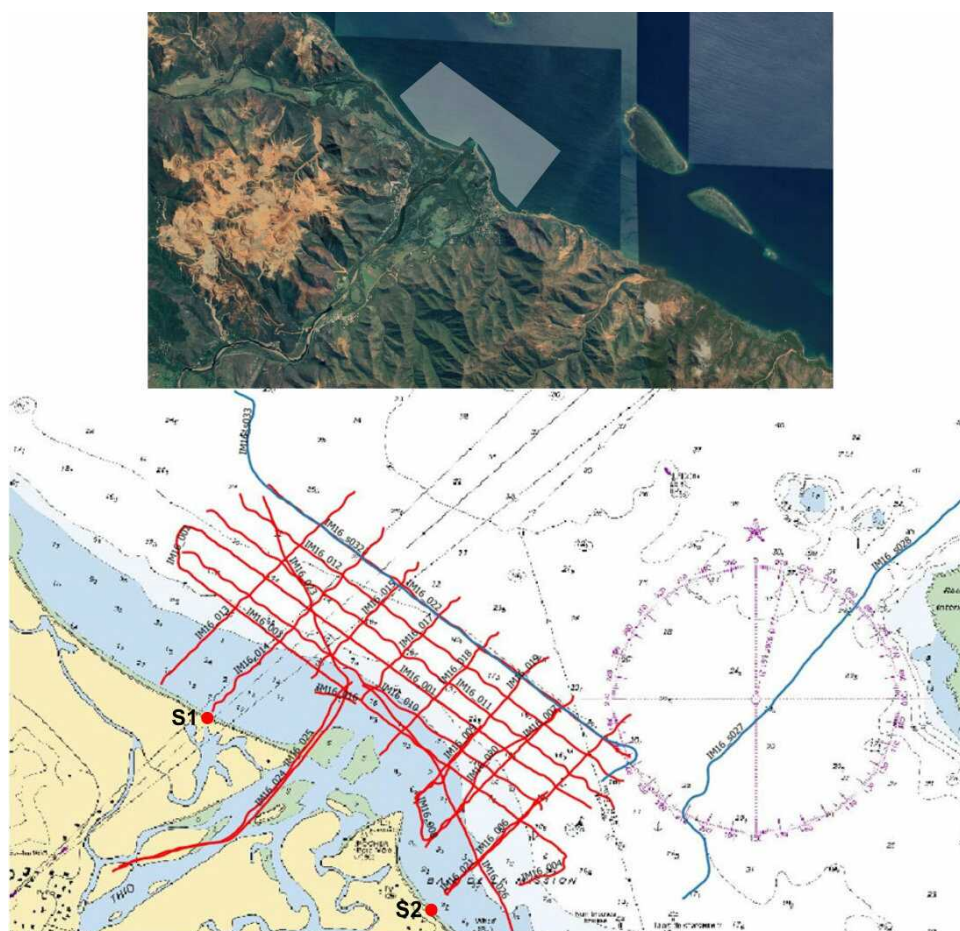


Figure 4 : Positionnement des forages

L'examen de la carotte S2 a révélé une séquence sédimentaire globalement grano-croissante, silto-sableuse à sablo-graveleuse, surmontant une unité basale silto-argileuse.

La partie basale de la carotte, de couleur grise à gris-jaune, est formée de sédiments fins (silto-argileux). Elle ne contient pas de sédiments bioclastiques d'origine marine. Elle est interprétée comme des faciès continentaux d'altérites sur péridotites. Cette hypothèse est renforcée par les observations de terrain et la présence à proximité immédiate du Botaméré.

La séquence grano-croissante qui surmonte le niveau d'altérites contient des sédiments bioclastiques d'origine marine. Elle est interprétée comme une séquence marine de progradation deltaïque dont les datations au carbone 14 (¹⁴C) indiquent qu'elle a débuté il y a environ 6000 ans, ce qui permet de

proposer pour ce secteur géographique un taux de sédimentation moyen pour l'ensemble de la série marine de 3.2mm/an.

Dans le détail, cette série marine est formée de deux membres :

- Un membre inférieur (19.5 - 5m) constitué de sables fins à moyens, de couleur grise à gris jaune, riches en débris de mollusques et de coraux. Ces sédiments sont interprétés comme des dépôts deltaïques distaux (prodelta supérieur à front de delta inférieur) ;
- Un membre supérieur de sables moyens à grossiers voire graveleux, contenant quelques débris coquilliers. Ces faciès sont interprétés comme des dépôts deltaïques proximaux de front de delta (plage - avant plage) ;

Deux niveaux de sédiments silto-argileux, pauvres en CaCO_3 , sont intercalés dans la séquence marine grano-croissante, l'un à 13 m, l'autre autour de 5-6 m. Ces niveaux, dont les sédiments semblent être d'origine continentale compte tenu de leur granulométrie et leur faible teneur en carbonates, sont interprétés comme des dépôts de crue.

Le forage S1 réalisé dans un second temps a permis d'apporter des éléments de précision essentiellement litho-stratigraphiques sachant que contrairement au forage S2, les datations n'ont pas pu être faites. L'ensemble des résultats sédimentologiques obtenus le long du forage montre :

- Une séquence sédimentaire globalement grano-croissante, depuis une unité basale silteuse passant plus ou moins progressivement à des sédiments sablo-graveleux ;
- Une unité basale relativement riche en carbonates (10 à 20 %), sous forme de fins débris coquilliers chétifs et localement des gastéropodes (turtelles) d'origine marine.

L'ensemble de la succession est interprété comme une séquence de progradation deltaïque depuis des sédiments fins de pro-delta supérieur à des sédiments grossiers de front de delta (plage). Les passées les plus grossières de la succession sont très peu carbonatées (très peu bioclastiques), tandis que les niveaux les plus fins, intercalés autour de 20 et 10 m dans les sédiments grossiers de la séquence progradante, sont plus carbonatés, comme les faciès pro-deltaïques. Ils reflètent par conséquent des périodes de rétrogradation deltaïque.

2.3. CORRÉLATION ENTRE LA SISMIQUE THR ET LES SONDAGES CAROTTÉS

Le positionnement du forage S2 proche de la terminaison la plus côtière du profil sismique IM16_021, a permis de proposer une corrélation entre les deux résultats. Pour ce faire, une simple prolongation vers la côte des principaux réflecteurs identifiés sur le profil a été réalisée, en tenant compte de leur pente, jusqu'au zéro marin, c'est-à-dire la plage (Fig. 5.).

L'étude sédimentologique du forage S2 et sa corrélation avec les données sismiques THR acquises sur le delta de la rivière Thio permettent de dégager les conclusions suivantes :

- Le delta sous-marin "actuel" de la Thio, qui comprend deux lobes, constitue une proportion minimale du remplissage de la plaine deltaïque côtière de la rivière Thio ;
- L'ensemble du remplissage progradant deltaïque, qui s'installe sur les altérites, a débuté il y a environ 6000 ans. Cela correspond à la transition entre la fin de la transgression rapide holocène et le début du haut niveau marin (Baltzer, 1970 ; Yamano et al., 2014). Les apports par la Thio sont en quantité suffisante, dès cette transition, pour passer d'un système rétrogradant (transgressif) à un système deltaïque progradant. À cette évolution globale holocène s'ajoutent sans doute les effets d'un accroissement des apports par les bassins versants en lien avec l'implantation de la culture Lapita à partir de 3500 ans BP¹. La progradation s'accélère probablement aussi à cette même époque en raison de la chute du niveau marin relatif (Cabiocch et al., 2008) ;

¹ BP : signifie « *befor present* » (1950)

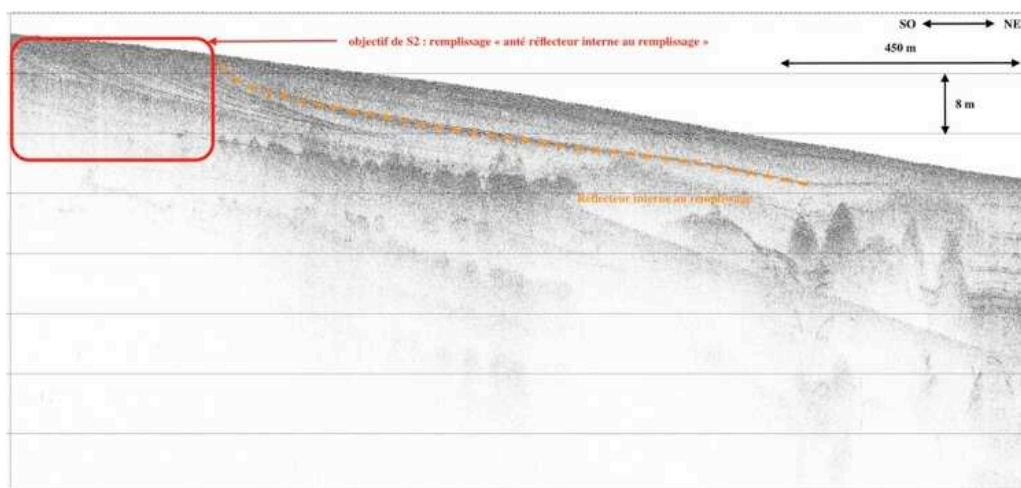


Figure 5 : Cible du sondage S2 situé au plus près de l'extrémité Sud-Ouest du profil sismique IM16_021– Remplissage anti réflecteur interne

- La construction deltaïque sableuse est interrompue à deux reprises par des épisodes de crues qui apportent des quantités importantes de sédiments fins recouvrant tout l'édifice comme le montre la continuité des réflecteurs sismiques correspondant à ces épisodes ;
- Le dernier épisode de crue enregistré, sur la carotte et en sismique, est a priori associé à un événement extrême (ou série d'événements extrêmes) comme l'attestent son extension et son épaisseur qui induisent dans le remplissage une véritable barrière de perméabilité. Cet épisode se produit après 2200-2500 ans BP. Les datations 14C ne permettent pas d'affiner davantage sa chronologie et de conclure sur l'origine climatique ou anthropique (voire combinée climatique et anthropique) de l'épisode ;
- La construction deltaïque avec les deux lobes superposés débute après cet épisode majeur de crue, soit après 2200-2500 ans BP. Les datations et les données sismiques ne permettent pas de définir s'il y a un hiatus entre les deux (ou s'il y a un lien) ;
- Les données du forage S2 (sédimentologie et datations) ne permettent pas de préciser la chronologie de mise en place et l'évolution de conditions d'apports pendant la construction deltaïque "récente". Elles ne renseignent pas non plus sur la nature de la surface qui sépare les deux lobes. Sur la base de ces données, aucune conclusion ne peut donc être tirée sur les liens entre cette construction deltaïque et l'impact des exploitations minières de nickel dans le bassin versant de la Thio sur les apports sédimentaires jusqu'au lagon.

L'échantillonnage des sédiments du forage S2 a permis de réaliser des datations 14C en vue de produire des taux de sédimentation pour cette séquence de dépôts. Deux séries de datations ont été effectuées, la première sur débris coquilliers, la seconde sur débris végétaux. Quatre grandes périodes caractérisées par des vitesses de sédimentation différentes sont apparues :

- Une période comprise entre 5200 ans BP environ et 4600 ans BP durant laquelle les vitesses de sédimentation sont de l'ordre de 4 à 5,3mm/an selon que l'on considère les âges obtenus sur débris coquilliers ou débris végétaux ;
- Une période comprise entre 4600 BP et 3600 BP avec des vitesses de sédimentation plus faibles (de l'ordre de 2,2 à 2,4mm/an) et en dessous de la vitesse moyenne de dépôt.
- Une très forte augmentation des vitesses de sédimentation qui atteignent de 10,7 à 14,3mm/an sur une très courte période comprise entre 3700 et 3300 ans BP environ. Les vitesses y sont de 2,8 à 3,8 supérieures à la vitesse moyenne.
- Un retour à des vitesses plus modérées à partir de 3300 ans BP. Il faut toutefois noter que l'absence de datation dans la période postérieure à 2600-2500 ans BP ne permet pas de restituer la variabilité des vitesses de sédimentation au cours de cette période récente. Elle permet seulement de proposer un taux de sédimentation moyen (3,25mm/an) dont on doit remarquer qu'il est proche de celui noté pour l'ensemble de la période investiguée par le forage.

Il est à noter qu'il ne semble pas apparaître d'augmentation spectaculaire du taux de sédimentation durant cette période des 2500 ans les plus récents. Cette augmentation, si elle avait eu lieu, aurait alors impacté la vitesse moyenne de dépôts sur ce laps de temps. Ce fait est à rapprocher de l'observation constatée au sujet du caractère acoustique des séquences et réflecteurs du lobe supérieur de l'appareil pro-deltaïque situés au-dessus du rail interne. Ils ne se distinguent pas particulièrement des autres, ce qui plaide pour un fonctionnement globalement « constant » au cours de cette période de dépôt. On en avait conclu que l'impact de la mine à la zone marine actuelle s'intégrait dans la normalité des faits identifiables par le levé géophysique. Qualitativement, les datations vont dans le même sens.

Le positionnement du forage S1 proche de la terminaison la plus côtière du profil sismique IM16_014, permet, elle aussi, de proposer une corrélation entre les deux approches (sismique et forage).

Le profil IM16_014 montre une accumulation deltaïque composé de deux lobes, surmontant une succession régulièrement litée constituant le remplissage d'une incision. La partie amont des lobes deltaïques est composée de faciès sismiques chaotiques avec des réflecteurs très discontinus, reflétant des sédiments grossiers. Cela est confirmé par la faible pénétration du signal boomer. Cette pénétration devient meilleure vers le large, corrélativement à l'affinement des sédiments deltaïques plus distaux.

Les échelles en mètres sont indiquées sur le profil interprété - une vitesse de 1600 m/s a été considérée pour la conversion temps - profondeur (attention à l'exagération verticale). 3 unités sismiques sont distinguées.

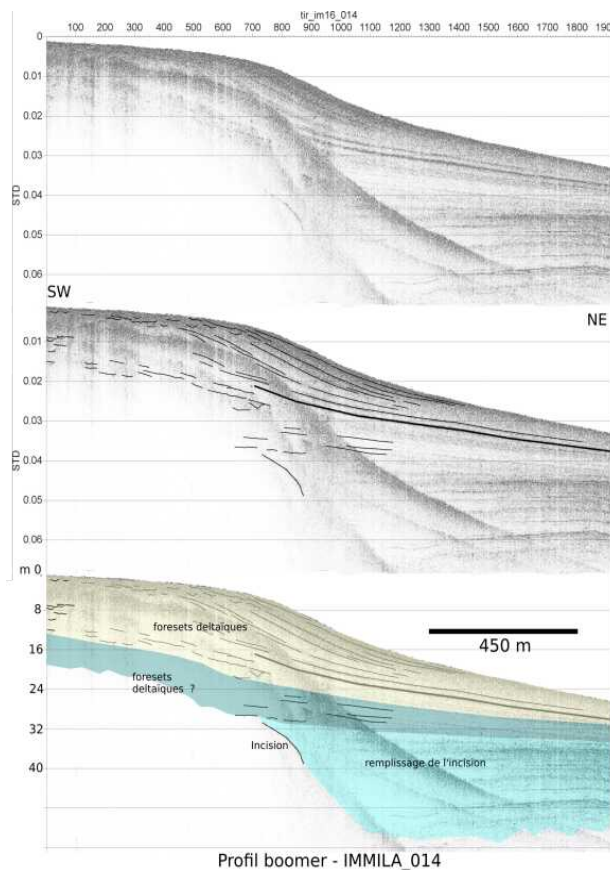


Figure 6 : Profil sismique IM16_014, brut (haut), avec les principaux réflecteurs pointés (milieu), interprété (bas)

Pour corréler le forage S1 avec le profil sismique IM16_014, une simple prolongation vers la côte des principaux réflecteurs identifiés sur le profil a été réalisée en tenant compte de leur pente, jusqu'au zéro marin, c'est-à-dire la plage (Figure 7).

La corrélation montre que la progradation deltaïque identifiée sur la sismique ne représente que la partie sommitale du forage (les 10 premiers mètres). Aucune autre corrélation claire n'est possible et l'absence de datation ne permet pas d'apporter d'information supplémentaire à celle fournie par le sondage S2 concernant les taux de sédimentation de la séquence de dépôts.

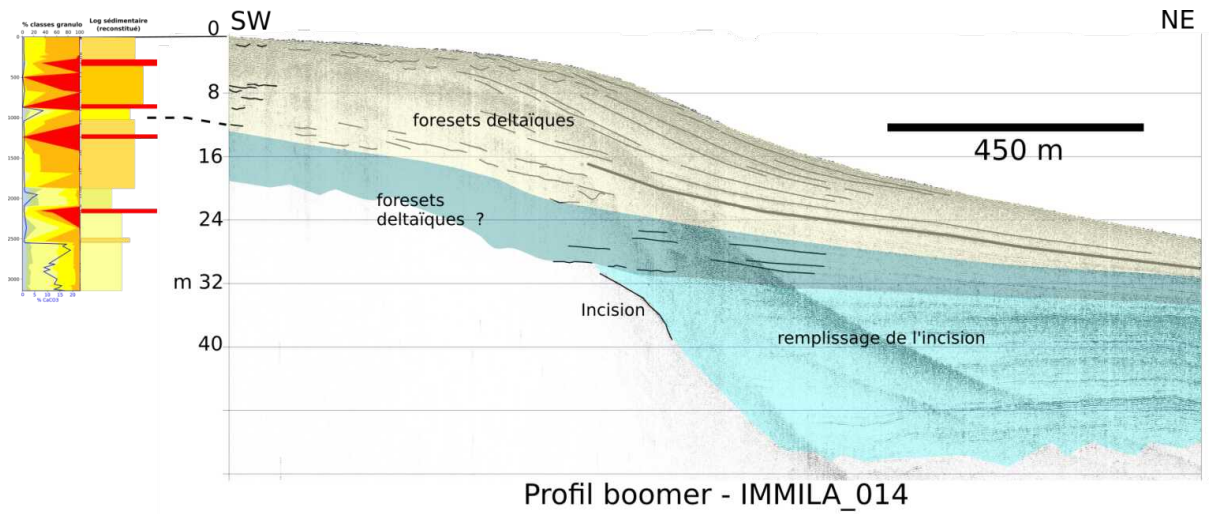


Figure 7 : Corrélation entre le forage S1 et le profil sismique IM16_014

3. EVOLUTION « RECENTE » DES BASSINS VERSANTS ET DES HYDROSYSTÈMES

Pour caractériser l'évolution du bassin versant depuis les débuts de l'exploitation minière (1864) jusqu'au début de la période actuelle marquée par la place d'une législation minière (dans les années 1970) puis le durcissement des contraintes réglementaires avec la mise en place des grands projets industriels miniers et métallurgiques en Nouvelle-Calédonie, plusieurs approches méthodologiques ont été mises en œuvre.

Trois d'entre-elles ont permis de travailler sur le contexte général de l'évolution récente des bassins versants et des hydrosystèmes au cours de la période considérée. Il s'agit :

- D'un travail sur la chronique météorologique et hydrologique de la zone. Les trois premières phases du cycle sédimentaire (érosion/altération, transport et sédimentation) agissant sur l'évolution géomorphologique sont intimement dépendantes de l'action de l'eau et du climat. Il était donc essentiel d'étudier les chroniques disponibles pour comprendre ces éléments de forçage de l'évolution du bassin ;
- D'un descriptif géomorphologique global du bassin et de son évolution au cours du temps. Ce diagnostic diachronique a été réalisé en partie sur photographies aériennes pour la période ayant immédiatement suivi la seconde guerre mondiale où seule cette imagerie était disponible. Il a également été réalisé par télédétection spatiale avec une analyse commençant en 1986 (premières scènes accessibles) et se poursuivant jusqu'à 2015. Ce faisant, ce volet du travail a permis de caractériser la situation à la fin de la période d'exploitation « sauvage » de la ressource, au moment où les premières mesures réglementaires commencent à être appliquées et à donner des résultats, puis le suivi sur 30 ans de la situation consécutive à la mise en place de la législation minière. Si l'analyse sur photographie aérienne a été essentiellement faite pour caractériser l'impact de la mine, la télédétection spatiale avait pour objectif d'étudier l'évolution des bassins versants sous l'angle des relations sols nus/végétation ;
- D'une analyse cartographique diachronique du surengrèvement des hydrosystèmes à partir d'une analyse et d'une photo-interprétation de l'imagerie aérienne et satellitale disponible.

Une quatrième approche ciblait la quantification et l'analyse de l'évolution au fil du temps des surfaces minières ayant impacté le bassin. Deux voies complémentaires ont été travaillées, la quantification des tonnages et volumes mis en décharge, d'une part, et l'évaluation de l'évolution des surfaces de sols nus réalisé selon une typologie spécifique des sols nus.

3.1. CHRONIQUE MÉTÉOROLOGIQUE ET HYDROLOGIE

Auteurs : O.Navratil (Univ. Lyon 2) et M. Garcin (BRGM)

Pour analyser le forçage météorologique et ses effets sur l'évolution des morphologies des cours d'eau de Nouvelle-Calédonie, de leur engrèvement et du transfert vers l'aval des sédiments, nous avons traité les données enregistrées sur le pluviomètre de Thio-P. Les premiers enregistrements de ce pluviomètre, qui est encore actif, ont commencé en 1952. La fréquence d'enregistrement est journalière et la série couvre 64 ans soit 23 697 enregistrements non vides (92 jours sont manquants).

Les analyses réalisées (détails au paragraphe 3.1 (RSF)) ont porté sur les pluies journalières, les pluies mensuelles, les pluies saisonnières, la recherche de relation entre les oscillations climatiques (ENSO et IPO) et les pluies mensuelles et enfin les événements pluvieux. Une typologie des événements pluvieux a ensuite été proposée (événements pluvieux courts, événements pluvieux longs, événements extrêmes, événements ordinaires...). Une caractérisation des années de 1952 à 2016 selon cette typologie et les différents paramètres pluviométriques préalablement évalués a été réalisée. Enfin, afin de faciliter l'utilisation des données météorologiques pour interpréter les évolutions morphologiques des cours d'eau et l'évolution de leur sur-engrèvement, une agrégation de ces données par période entre chaque campagne de photographie aérienne a été faite.

L'approche consistant à utiliser les enregistrements d'un pluviomètre sur de nombreuses années comme un indicateur de forçage météorologique a plusieurs limites. Cette approche a toutefois été mise en œuvre car c'est la seule donnée qui couvre de façon continue une longue période temporelle. La

période couverte par les enregistrements du pluviomètre de Thio-P est comparable à celle de l'analyse hydro-géomorphologique et à celle des apports en stériles miniers par les décharges et de l'évolution des sols nus (Garcin et al. 2017)².

La première limite de l'approche suivie est que les processus d'érosion des sols ne sont pas une simple fonction linéaire des pluies mais qu'ils résultent de processus complexes ayant trait aussi bien à la géomorphologie de la zone, la structure du sol, son degré d'humidité avant l'occurrence de l'événement etc. La seconde limite réside dans la complexité des relations pluie-débit et cela d'autant plus que les cours d'eau et creeks du bassin de la Thio ont des caractéristiques différentes (pente du linéaire, morphologie, lithologie et couverture végétale etc.). De plus, en fonction de la localisation dans le bassin versant, la réponse en termes de débit de chaque cours d'eau sera très variée (hydrogramme, temps de concentration, vitesse du courant, hauteur d'eau...). La troisième limite est la variabilité spatiale des pluies à l'échelle d'un bassin versant comme celui de la Thio.

Malgré ces limites, notre analyse a permis de mettre en évidence de nombreux faits importants permettant de mieux comprendre l'influence du forçage météorologique et hydrologique. Parmi ces faits, nous retiendrons au niveau de cette synthèse les points suivants (de nombreux autres faits sont cités et explicités au paragraphe 3.1 ((RSF)) :

- Plus de 84% des pluies journalières (19 925 jours) enregistrées sont comprises entre 0 et 5 mm/j. Une pluviométrie supérieure à 300mm n'a été atteinte qu'au cours de 4 jours et les pluies journalières comprises entre 100 et 200 mm ne représentent que 7 pour 1000 du total. Les précipitations exceptionnelles sont donc assez rares ;
- La pluviométrie annuelle cumulée montre une forte variabilité interannuelle avec des valeurs comprises entre un minimum de 804 mm/an (1953) et de 4 111 mm/an (1967). La moyenne des précipitations annuelles est de 1 764 mm/an, la médiane est à 1 603 mm/an et l'écart type de 660 millimètres ;
- Le nombre de jours de pluie dans l'année est lui aussi très variable de 88 j en 1957 à 184 j en 1988. La moyenne est de 127 j/an et la médiane de 125 j/an. Il n'y a pas de corrélation significative entre le nombre de jour de pluie par an et la pluviométrie annuelle cumulée. Pour un même nombre de jours de pluie, on a une très forte dispersion de la pluviométrie annuelle. À titre d'exemple, aux environs de 160 j de pluie par an, les précipitations annuelles cumulées sont comprises entre 1 400 mm et plus de 4 000 mm ;
- La variabilité mensuelle des pluies est très forte. La valeur maximum atteint 905 mm (Mars 2008), la moyenne (tous mois confondus) se situant à 147 mm et la médiane à 100 mm. La moyenne glissante sur 3 mois de cette même pluviométrie mensuelle montre que certaines périodes sont caractérisées par des pluies importantes sur plusieurs mois consécutifs (par exemple au cours des années 1967-1968, 1989-1991, 2008-2009) ;
- La pluviométrie moyenne de la saison cyclonique est de 1 162 mm avec un minimum de 310 mm et un maximum de 3 076 mm alors qu'en saison sèche, la pluviométrie moyenne est de 597 mm, avec un minimum de 131 mm en 1981 et un maximum de 1633 mm en 1967 ;
- Les analyses réalisées ne montrent pas de corrélation très significative entre les oscillations de type ENSO et IPO et les différents paramètres pluviométriques. Toutefois la pluviométrie cumulée annuelle semble partiellement influencée par ces deux oscillations climatiques.

Les analyses par évènement (jours de pluies continus) ont été réalisées afin de caractériser les événements en fonction de leur pluviométrie totale (événements les plus pluvieux) et de leur durée (événements les plus longs). Les événements les plus pluvieux ($P \geq 350$ mm) représentent 0,2% de la chronique. Parmi eux, 22 événements longs, c'est-à-dire dont la durée est supérieure ou égale à 6 jours, ont été recensés et 13 événements courts, dont la durée est inférieure à 6 jours. La majorité (74%) de ces événements se produit entre janvier et mars (la deuxième partie de la saison cyclonique).

La durée des événements extrêmes est très variable. Elle est comprise entre 3 jours et 18 jours. Leurs intensités moyennes (total des précipitations par la durée de l'événement, en mm/jour) sont, de ce fait, elles aussi, extrêmement variables et sont comprises entre 20 mm/j et 146 mm/j. Les deux événements de pluie de 2013 (finissant les 2 janvier et 3 Juillet 2013) apparaissent en tête de liste des événements les plus intenses.

La fréquence relative annuelle de chaque type d'événement (pluvieux court, pluvieux long, ordinaire) a été calculée. Les résultats montrent que certaines années sont largement dominées par des

² Garcin M., Gastaldi Y., Le Simple S. (2017) Quantification et évolution temporelle des apports miniers dans les rivières calédonniennes. BRGM/RP-66840-FR de 2017 (travail réalisé dans le cadre du projet IMMILA)

événements ordinaires alors que d'autres au contraire voient la proportion des événements pluvieux longs ou courts largement plus importante. Il ressort de ces commentaires une très forte variabilité des précipitations à toutes les échelles de temps considérées. Cette variabilité a ensuite été étudiée sous l'angle des relations pluies/débits. Là encore, de nombreuses analyses ont été produites parmi lesquels nous retenons les faits suivants :

- Le débit maximal n'est pas du tout corrélé avec toutes les données relatives à l'ENSO. Les probabilités sont, en effet, très proches de 0, avec une forte p-value dans la plupart des cas ;
- La probabilité pour que le débit et la somme de pluie tombée durant l'événement soient corrélés s'élève à 0.46, avec une forte p-value. La corrélation entre ces variables n'est pas flagrante, mais cela montre qu'il y a bien un lien entre les deux ;
- La relation de l'intensité du débit de pic de crue avec l'intensité maximum tombée durant l'événement et un nouveau paramètre, la pluie cumulée lors de l'événement s'est avérée intéressante car ce dernier paramètre permet d'intégrer le facteur humidité initiale et saturation des sols qui est un paramètre très important pour le bassin versant. Il a été noté que, de manière générale, plus les intensités de pluie ou les pluies cumulées sont fortes, plus les débits de pic de crue semblent importants ;

Trois types d'événements de pluie (Cat A, B, C) ont été distingués par le débit maximal des pics de crue observés :

- Une première classe (« type A ») de 14 événements comprend 71% des événements cycloniques ou dépressions fortes référencés dans la base de données de Météo-France NC (BDMF). Elle comprend les principaux événements majeurs ayant eu lieu sur la Thio (débit journalier $500 \text{ m}^3/\text{s} < \text{QJX} < 2000 \text{ m}^3/\text{s}$) ;
- Une classe intermédiaire (« type B ») comprend 172 événements de crue moyennes ; quelques crues importantes se trouvent toutefois dans cette classe ($83 \text{ m}^3/\text{s} < \text{QJX} < 807 \text{ m}^3/\text{s}$). 8% sont recensés dans la BDMF3.
- Enfin, la classe des événements de faible intensité (« type C ») comprend les crues $0.8 \text{ m}^3/\text{s} < \text{QJX} < 300 \text{ m}^3/\text{s}$. Elle est composée en revanche de 991 événements climatiques, dont 0.3% recensés dans la BDMF.

L'occurrence des trois classes de pluies a pu être reconstituée avec leur année d'occurrence depuis 1952. Ce travail a montré que les occurrences :

- Des crues d'intensités faibles ne montrent pas de tendance sur la période 1952-actuel ;
- Des crues d'intensités moyennes sont irrégulières. Leur fréquence est importante de 1952 au début des années 1970 (de 1 à 6 événements de ce type par an). Par la suite, ils ont lieu moins souvent : seulement de 0 à 3 fois au maximum par an. À partir de 1998, la fréquence augmente à nouveau, s'échelonnant de 0 à 5 avec de nombreux événements apparaissant 3 fois par an. Ces événements aux pics de crue moyens et même faibles ne sont pas à négliger dans l'apport de sédiments au delta et leur impact sur le delta et le lagon.
- Des crues d'intensités fortes sont rares. Il a été observé entre 1957 et 1975 seulement 4 de ces événements. Lors des 12 années suivantes, il n'y a pas eu d'événement marquant. C'est à partir de 1987 que des événements ont eu lieu de manière plus fréquente, jusqu'en 1999. Ensuite, ils ont été observés vers 2008, et 4 événements de la sorte ont été observés en 2013 (2), 2015 puis 2017. On retrouve dans cette catégorie les deux événements de 2013 dont les répercussions sur l'évolution de l'engrèvement des lits de la Néburu et de la Nakalé ainsi que les inondations et dégâts ont été très significatifs.

³ BDMF : Base de données Météo France

3.2. CARTOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS ET ÉVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT

Auteurs : M. Despinoy (IRD), I.Rouetis (R&D), A. Leroux (Stagiaire)

L'évolution diachronique (entre 1986 et 2015) de la proportion relative des sols nus et de la végétation dans le bassin versant de la Thio et de la Todré a été analysée par photo-interprétation (photos aériennes et images satellites à haute résolution) avec pour objectifs (détails au paragraphe 3.2 (RSF)) de produire :

- Une cartographie diachronique des sols nus versus végétation ;
- La quantification des surfaces sources (toutes origines) et des surfaces végétales pour chaque date ;
- Une étude des évolutions et la mise en relation sols nus/végétation.

La répartition géographique des bassins versants représente un total d'environ 460 km² analysés (~45 830 ha), dont environ 393 km² (~39 285 ha) pour la Thio et 65 km² (~6 545 ha) pour la Todré. Pour suivre de façon fine l'évolution de ces grands bassins, ceux-ci ont été scindés en zones géomorphologiques qui correspondent pour la plupart à des sous-bassins versants et pour quelques autres à des versants alimentant un tronçon hydrographique. Ces sous-bassins sont au nombre de 49 pour le bassin versant de la Thio et de 11 pour celui de la Todré.

Afin de répondre aux objectifs (analyse de l'évolution des limites sols nus / végétation), il a été opté pour une solution de seuillage d'histogramme des valeurs des pixels des images satellitaires pour la séparation, dans un premier temps, des sols nus et de la végétation pour chacune des images. Chaque seuil a été réalisé par itération et par expertise de terrain pour isoler ces 2 classes. Cette méthode est simple et rapide à mettre en œuvre et a permis l'obtention de seuils précis et fiables. Les résultats des seuillages d'histogramme ont ensuite été utilisés comme base et affinés par l'introduction de données exogènes (morphologie, piste, zones d'excavation...) dans un modèle réalisé sous SIG⁴.

Une fois les proportions des différentes classes connues pour chaque sous-bassin versant et à chaque date, une comparaison a été réalisée selon deux approches :

- Comparaison entre chaque date et 1986 (1986-1994-95, 1986-1999, 1986-2015) ;
- Comparaison de date à date (1986-1994-95, 1994-95-1999, 1999-2015).

En matière d'analyse diachronique, de très nombreuses cartes ont été produites et sont décrites au paragraphe 3.2 (RSF). Nous renvoyons le lecteur à sa lecture pour suivre, par le détail, l'évolution des deux grands bassins étudiés. Nous présentons ci-après les faits majeurs mis en évidence concernant l'évolution des sols nus :

- L'établissement de la carte du caractère localement favorable à l'érosion par ruissellement (Fig. 8) distingue les zones d'érosion potentielle des zones où l'érosion est fortement improbable. Elle indique les zones où l'on s'attend à observer soit des phénomènes d'érosion liée au ruissellement (sans couverture végétale suffisante), soit à l'inverse des zones défavorables à l'érosion par ruissellement ;
- Cette carte montre des situations contrastées. Sans surprise, les zones peu favorables à ce type d'érosion comme la basse vallée de la Thio et celle de ses principaux affluents (fonds de vallée), sont particulièrement bien mises en évidence, de même que les estuaires. A contrario, l'essentiel des versants est favorable à l'érosion, à l'exception de creux naturels ou anthropisés ;
- À l'échelle du grand bassin versant, ces zones peu favorables à l'érosion représentent environ 2001 ha pour le bassin de la Thio et environ 179 ha pour celui de la Todré, contre environ 37 282 ha de surfaces favorables à l'érosion par ruissellement pour la Thio et environ 6 366 ha pour la Todré. L'analyse montre donc que 95 % (bassin de la Thio) et 97 % (bassin de la Todré) des surfaces sont potentiellement favorables à l'érosion. Ces chiffres sont de très loin largement supérieurs à ceux des surfaces minières. La source des transferts de matière et la présence des sols nus ne doit donc pas être systématiquement attribuée à l'activité minière. De nombreuses autres causes connues dont les feux, la présence d'espaces invasives, l'évolution géomorphologique naturelle des versants, contribuent aux transferts et à la fragilisation du

⁴ SIG : Système d'information géographique

couvert végétal qui est l'élément majeur de la protection des sols contre l'érosion par sa capacité à favoriser l'infiltration des eaux de pluie et à limiter l'impact de la pluie sur le sol. Sa disparition ou une dégradation importante de la végétation sur les versants déstabilise le sol et favorise le ruissellement qui conduit à l'érosion ;

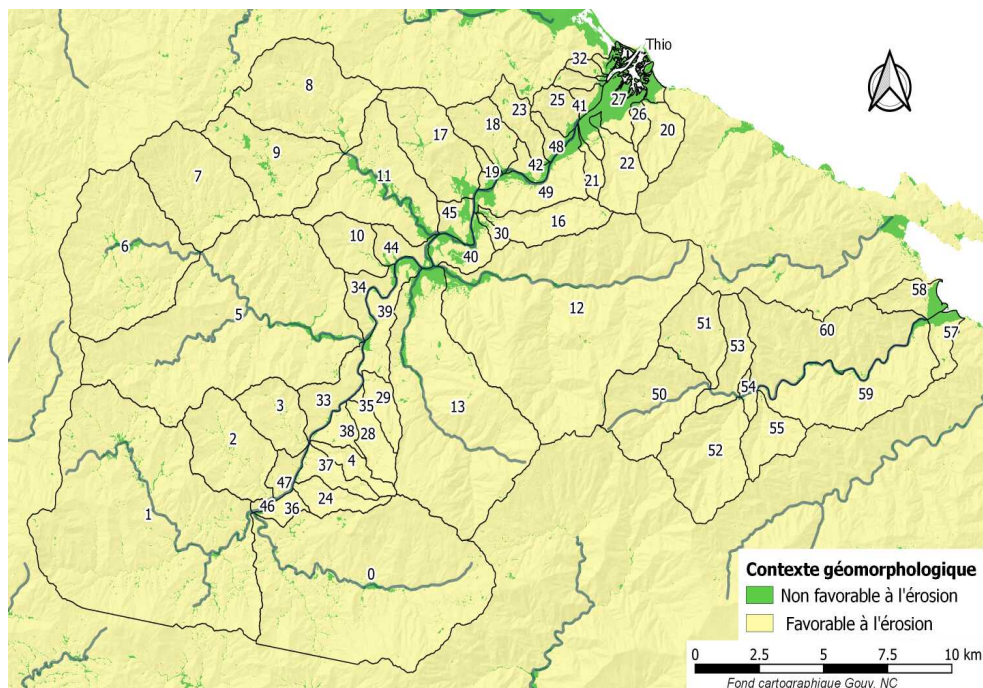


Figure 8 : Carte du caractère localement favorable à l'érosion par ruissellement

- À l'échelle du sous-bassin versant, les zones peu favorables à l'érosion par ruissellement représentent parfois une surface importante rapportée à celle du sous-bassin. Les plus concernées sont sans surprise, dans le bassin de la Thio, les sous-bassins situés dans les zones morphologiques accumulatrices de l'aval du bassin versant. Il en est de même pour le bassin de la Todré. À l'inverse, sur les versants, les surfaces favorables à l'érosion prédominent dans les sous-bassins de grande taille ou si la pente y est importante. Il est donc attendu que des sols nus de ces sous-bassins soient émetteurs de matériaux à destination des zones basses ;
- Les prédispositions morphologiques à l'érosion par ruissellement dans la zone d'étude suggèrent qu'une très grande partie des versants des bassins de la Thio et de la Todré sont susceptibles de produire au moins des matériaux fins par ruissellement dès lors que la végétation disparaît. Dans le détail, l'examen des résultats statistiques liés à l'altitude et à la pente éclaire ce contexte géomorphologique très propice à l'érosion. Les altitudes au sein des sous-bassins les plus propices à l'érosion présentent des altitudes moyennes souvent élevées. On retrouve là des caractéristiques géomorphologiques classiques des grands domaines géologiques calédoniens : les sous-bassins du grand massif du Sud se distinguent par leur dénivelé fort et souvent une pente importante (bassin de la Todré, rive droite de la Thio). Dans ces derniers, l'expression de l'érosion est par conséquent particulièrement attendue sur sols nus. C'est aussi dans ce domaine géologique que sont établies les exploitations minières ;
- À l'échelle des deux grands bassins, les surfaces totales analysées sont sensiblement équivalentes d'une date à l'autre (Tabl. 1). On constate qu'un peu moins de 8 % de sols nus (3 429 ha) sont détectés en 1986 sur la totalité de la zone d'étude. Ces surfaces diminuent en 1994-95 puis en 1999 où elles atteignent 7,6 % (3 276 ha), soit une réduction de 153 ha des sols nus détectés entre 1986 et 1999 (environ 0,35 % de perte de superficie). Cette période se distingue de la période 1999-2015 au terme de laquelle, le cumul des surfaces détectées comme nues en 2015 atteint 8,3 % (3 598 ha), soit une augmentation de 322 ha (+0,40% de gain par rapport à 1986). On notera que sur les 30 années de l'étude, le gain surfacique en sols nus est inférieur à 1%.

Tableau 1 : Surface des bassins versants détectée en sol nu en hectares et proportions dans les images satellitales de 1986, 1994-95, 1999 et 2015

	1986	1994-95	1999	2015
Total des surfaces analysées	43 231	43 215	43 232	43 218
Surface de sols nus	3 429	3 368	3 276	3 598
% sols nus	7,9	7,8	7,6	8,3
Sols nus, bassin Thio	3193	2 976	2 841	3 208
% sols nus, bassin Thio	8,7	8,1	7,7	8,7
Sols nus, bassin Todré	235	392	435	390
% sols nus, bassin Todré	3,6	6,0	6,7	6,0

- L'examen des résultats à l'échelle du sous-bassin permet de distinguer clairement plusieurs dynamiques au sein des bassins versants de la Thio et de la Todré. Tout d'abord, la proportion de sols nus dans chaque sous-bassin met en évidence des sous-bassins pour lesquels les superficies évoluent peu dans le temps et des bassins très ou moyennement évolutifs. Les sous-bassins les plus stables du point de vue des sols nus sont tous situés sur le versant sud de la zone de Thio-Plateau. Les sous-bassins dont l'évolution est la plus marquée sont directement liés à une activité minière. Les sous-bassins montrant une évolution moins marquée sont pour certains liés à une mine, pour d'autres non, sans qu'il semble se dégager de caractéristique particulière ;
- Un élément cartographique important existant a été intégré à l'analyse. Il s'agit des informations de la BD Topo (Gouv.NC) qui ont permis de prendre en compte les zones d'activité minière. La carte de la figure 9 présente les sous-bassins et la répartition des excavations artificielles. Si cette donnée ne semble pas couvrir les plateformes de manière exhaustive (entre autres dans la Todré), elle permet d'identifier les principaux secteurs concernés par l'activité d'extraction minière passée ou actuelle ;

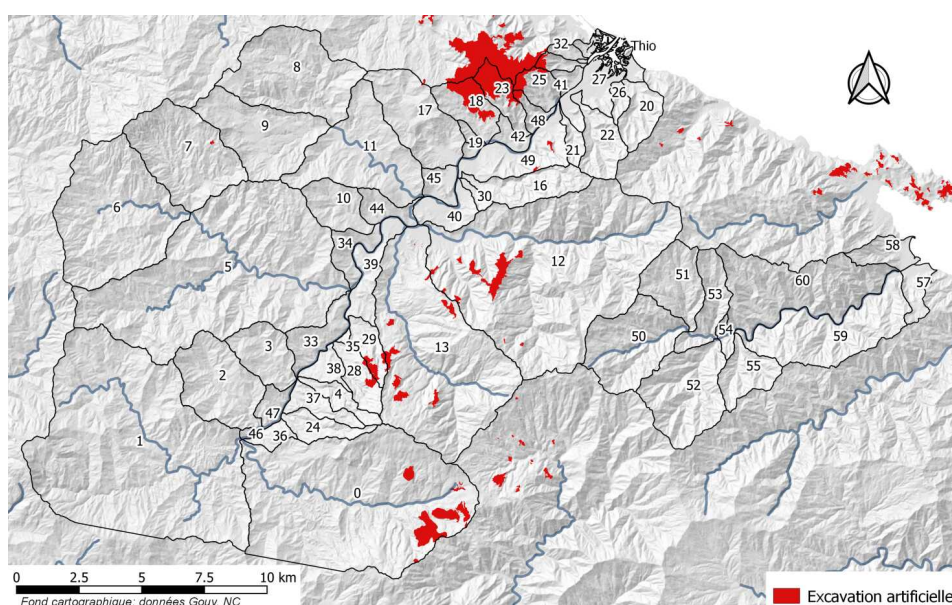


Figure 9 : Carte des surfaces en excavation artificielle (source BDTPOPO, Gouvernement NC).

- Un graphique détaillant par classe (distinguées en fonction du contexte localement favorable ou non à l'érosion par ruissellement) et par date les superficies dans le bassin de la Thio a été produit (Fig.10). On peut y lire que l'essentiel des sols nus soumis à l'érosion ne concerne pas directement les plateformes minières du bassin de la Thio, même si les surfaces de ces dernières ne sont pas négligeables (~510 ha de sols nus détectés comme localement favorables à l'érosion sur excavation artificielle en 1986, soit 1,4 % de l'aire analysée du grand bassin versant et un peu plus de 16 % des sols nus détectés dans ce bassin). Les sols nus liés aux activités minières hors plate-forme, comme par exemple les anciennes zones de décharge, n'ont pas été spécifiquement quantifiés et sont classés indifféremment dans la classe « sols autres ». Ces sols nus autres représentent la classe très largement majoritaire devant les pistes et les excavations et ceux en condition localement favorable à l'érosion y dominant fortement ;

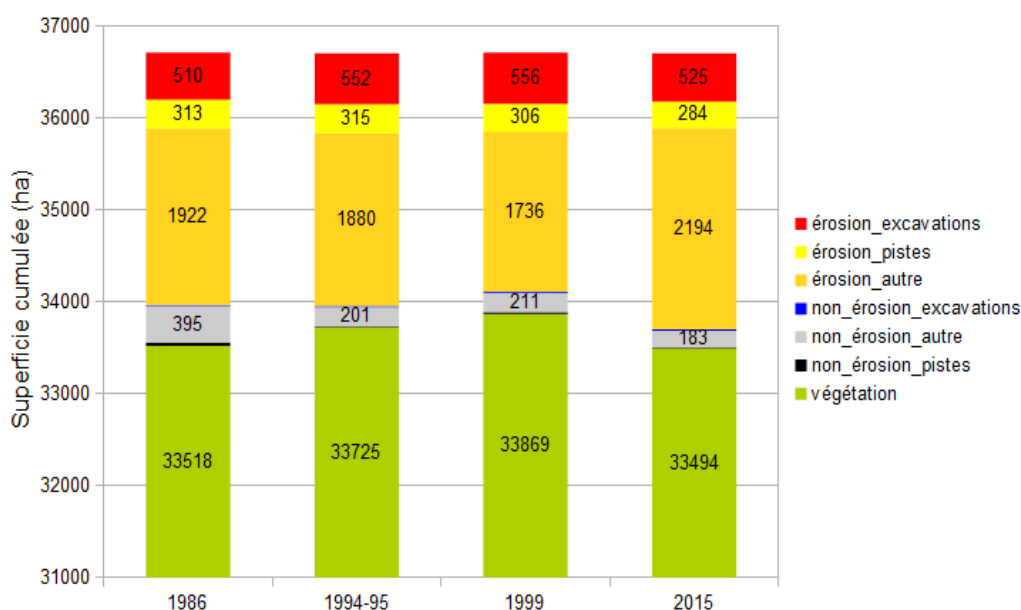


Figure 10 : Détail par classe et par date des superficies dans le bassin de la Thio

- L'analyse a montré l'importance des incendies, mais aussi des reprises de végétation post-incendies. C'est ainsi, par exemple, qu'en 1986, dans le bassin de la Thio, une partie des sols nus concernait des surfaces brûlées qui ont été reconquises par la végétation entre 1986 et 1999, notamment pour ce qui concerne les sols nus en position localement non favorable à l'érosion. Ce fait peut être mis en relation avec le caractère plus favorable à la reprise de la végétation dans les zones quasiment plates susceptibles de collecter l'eau des versants alentours et où l'eau s'évacue moins vite ;
- En considérant les proportions relatives des différentes classes de sols nus pour chaque sous-bassin, il a été possible de mettre en évidence d'autres caractéristiques dans la zone d'étude. Globalement, l'essentiel des sols nus détectés est plutôt émetteur de particules solides, sauf dans les petits sous-bassins qui jalonnent le fond de vallée de la Thio, ceux-ci collectant bien sûr les émissions des versants. Les sols nus sans érosion dominante autres y sont majoritaires et comprennent l'ensemble des surfaces nues peu favorables à l'érosion par ruissellement qui ne sont ni sur voirie ni sur excavation artificielle. On retrouve principalement dans cette catégorie les surfaces nues des milieux anthropisés (habitat et zones dénudées à proximité, certaines zones de cultures, etc.) et les étendues sédimentaires sous et hors d'eau. Les sous-bassins de la vallée de la Thio sont particulièrement concernés par cette catégorie, qui représente parfois la quasi-totalité des sols nus d'un petit sous-bassin. Dans les sous-bassins miniers principaux, la tendance générale est à la diminution de l'emprise des sols nus sans érosion dominante autres, ce qui s'observe aussi dans l'estuaire de la Thio ;

S'il arrive d'observer une évolution des proportions relatives de sols nus entre deux dates dans les bassins hors massifs ultramafiques, il s'agit des effets temporaires d'incendies plus que d'une variation de surfaces de sols nus établie à plus long terme comme celle liée à l'activité minière par exemple. L'impact de la responsabilité humaine dans ces incendies semble indéniable (proximité de zones anthropisées), aucune trace de feu n'ayant par ailleurs été observée dans

la Todré dans la période étudiée. Si cela est également vrai dans les sous-bassins ultramafiques, ceux-ci présentent par ailleurs, comme attendu, bien plus de surfaces de sols nus établies, qu'elles soient d'origine naturelle ou non. La présence fréquente de traces d'activité minière accentue, bien sûr, cet état de fait, ce qui conduit à identifier dans certains bassins plus de 50 % des sols nus d'origine anthropique (zone de Thio-Plateau). Dans d'autres bassins notoirement impactés par l'activité minière, la proportion de sols nus émetteurs directement imputables à la mine ne dépasse jamais 20 %. La comparaison des résultats de l'analyse diachronique de l'évolution des sols nus réalisée par photo-interprétation de l'imagerie satellitale disponible entre 1986 et 2015 avec celle produite par le BRGM⁵ et présentée au paragraphe 3.4 (RSF) est visualisable sur la figure 11. La courbe en bleu correspond à l'évolution des superficies des sols nus obtenue par l'équipe de l'IRD et la courbe en orange aux chiffres de l'équipe du BRGM pour les mêmes sous-bassins versants. La bonne corrélation des courbes montre une cohérence entre les résultats des deux approches. On peut noter une tendance à la baisse qui s'amorcerait après 2008 (diminution de la superficie des sols nus au profit de la végétation dans la zone commune).



Figure 11 : Évolution générale des surfaces de sols nus sur 12 sous-bassins versants miniers de la Thio étudiés par le BRGM et l'IRD.

L'autre facette de ce travail concerne l'évolution de la végétation. La comparaison des situations entre 1986 et 2015 (Fig. 12) permet d'évaluer les changements sur les 30 années de l'étude. Sur cette période globale, le bassin de la Todré présente une tendance du tandem sols nus-végétation à la dégradation de la végétation. Cette dégradation se manifeste par une alternance de recul et d'avancée de la végétation active sur les versants dégradés, sans qu'il soit mis en évidence une incidence anthropique. Le manque d'informations sur les conditions hydriques dans ce bassin versant ne permet pas de proposer des hypothèses pour expliquer ces variations.

⁵ Garcin M., Gastaldi Y., Le Simple S. (2017) Quantification et évolution temporelle des apports miniers dans les rivières calédoniennes. BRGM/RP-66840-FR de 2017 (travail réalisé dans le cadre du projet IMMILA)

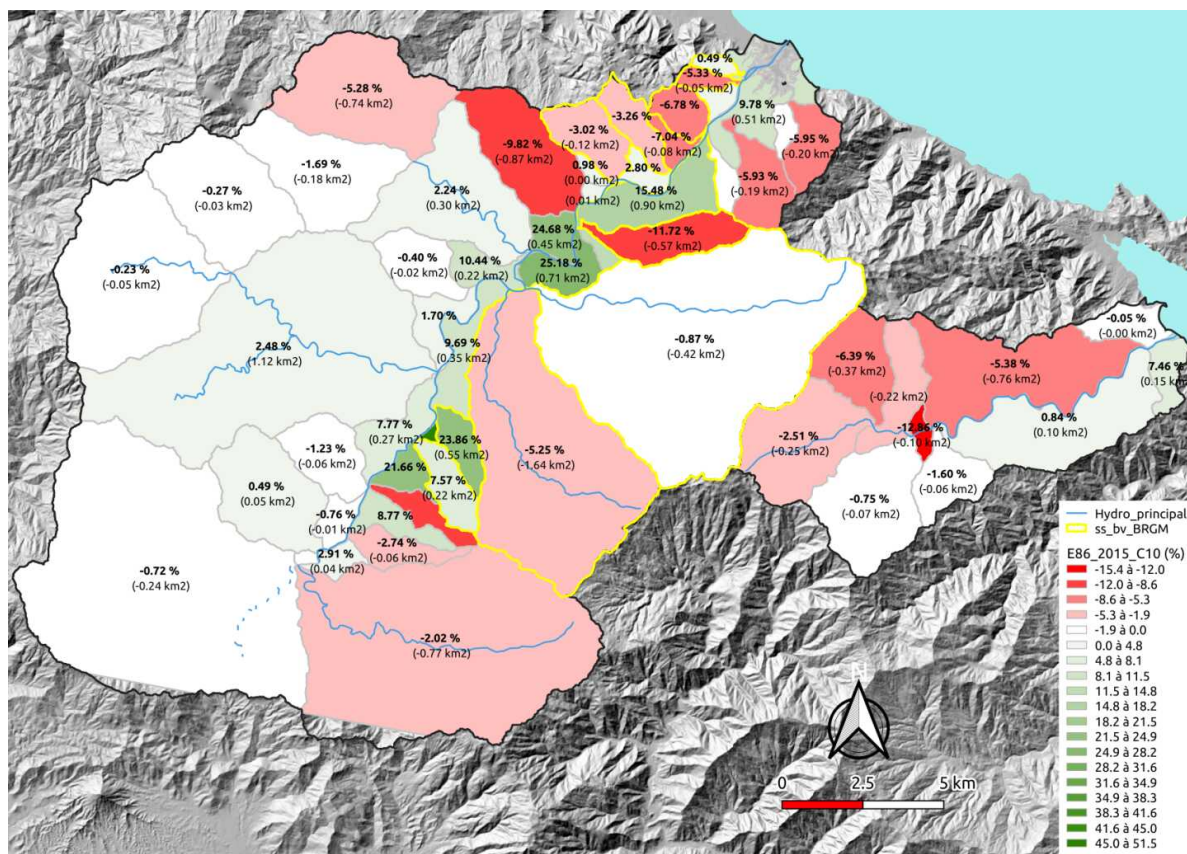


Figure 12 : Évolution de la superficie de végétation par sous-bassin versant entre 1986 et 2015.

Dans le bassin de la Thio, quelques grands sous-bassins voient leur végétation se développer légèrement et les autres sont plutôt stables sauf pour 3 d'entre eux en lien avec l'état de la végétation dégradée et pour l'un d'entre eux, l'extension des surfaces décapées (Camp de Sapins). Les plus petits sous-bassins sont partagés en 2 catégories : ceux situés en fonds de vallée qui présentent une recolonisation de la végétation et ceux situés en zones d'exploitations minières présentant un recul de la végétation au profit des sols nus (essentiellement sur des sols nus peu favorables à l'érosion et en lien avec l'état de la végétation sur ces versants).

À l'échelle du sous-bassin versant, on ne met pas en évidence d'évolution importante, en termes de superficie, de la couverture végétale qui serait liée à des surfaces impactées par les activités humaines, hors incendies, comme les zones d'habitat ou de culture et a fortiori par la mine de manière directe (plateformes). À l'échelle du grand bassin versant, il apparaît que l'essentiel des impacts sur la limite sols nus-végétation mis en évidence au cours de la période 1986-2015 est lié aux incendies dans le bassin de la Thio, ainsi qu'à l'état fluctuant de la végétation dégradée des versants, notamment dans les milieux ultramafiques.

3.3. ÉTUDE MORPHODYNAMIQUE DE L'HYDROSYSTÈME

Auteurs : F. Liébault (IRSTEA) et M. Bertrand (IRSTEA)

Cette analyse réalisée sur les bassins versants de la Thio et de la Todré a été basée sur une métrique caractérisant la migration vers l'aval des sédiments grossiers : la largeur de la bande active au cours du temps. Ce travail (détails au paragraphe 3.3 (RSF) s'inscrit dans la continuité des résultats de l'analyse régionale des bandes actives dans les massifs de péridotites de la Grande Terre qui a été effectuée dans le cadre du projet « Gestion du Passif ». Ce programme a en effet démontré que la largeur de bande active pouvait être considérée comme un très bon indicateur de l'impact sédimentaire minier (Bertrand et Liébault, 2019) et son **application positive dans IMMILA nous amène à recommander son usage sur d'autres sites.**

Un jeu de 10 séries de photographies aériennes et d'images satellitales couvrant la période 1943-2015 a été utilisé pour réaliser ce travail selon une méthodologie décrite au paragraphe 3.3 (RSF). Les principales observations qui peuvent être faites sur l'évolution des bandes actives dans le bassin de la Thio sont les suivantes :

- La Thio, qu'elle soit considérée en amont ou en aval des confluences avec les principaux contributeurs miniers (Nakalé et Néburu), montre les mêmes tendances lourdes (Fig. 13), à savoir un paroxysme d'engravement sur les photos de 1954, puis 2 phases de rétraction successive, la première entre 1954 et 1971, puis la deuxième entre 1989 et 2008.

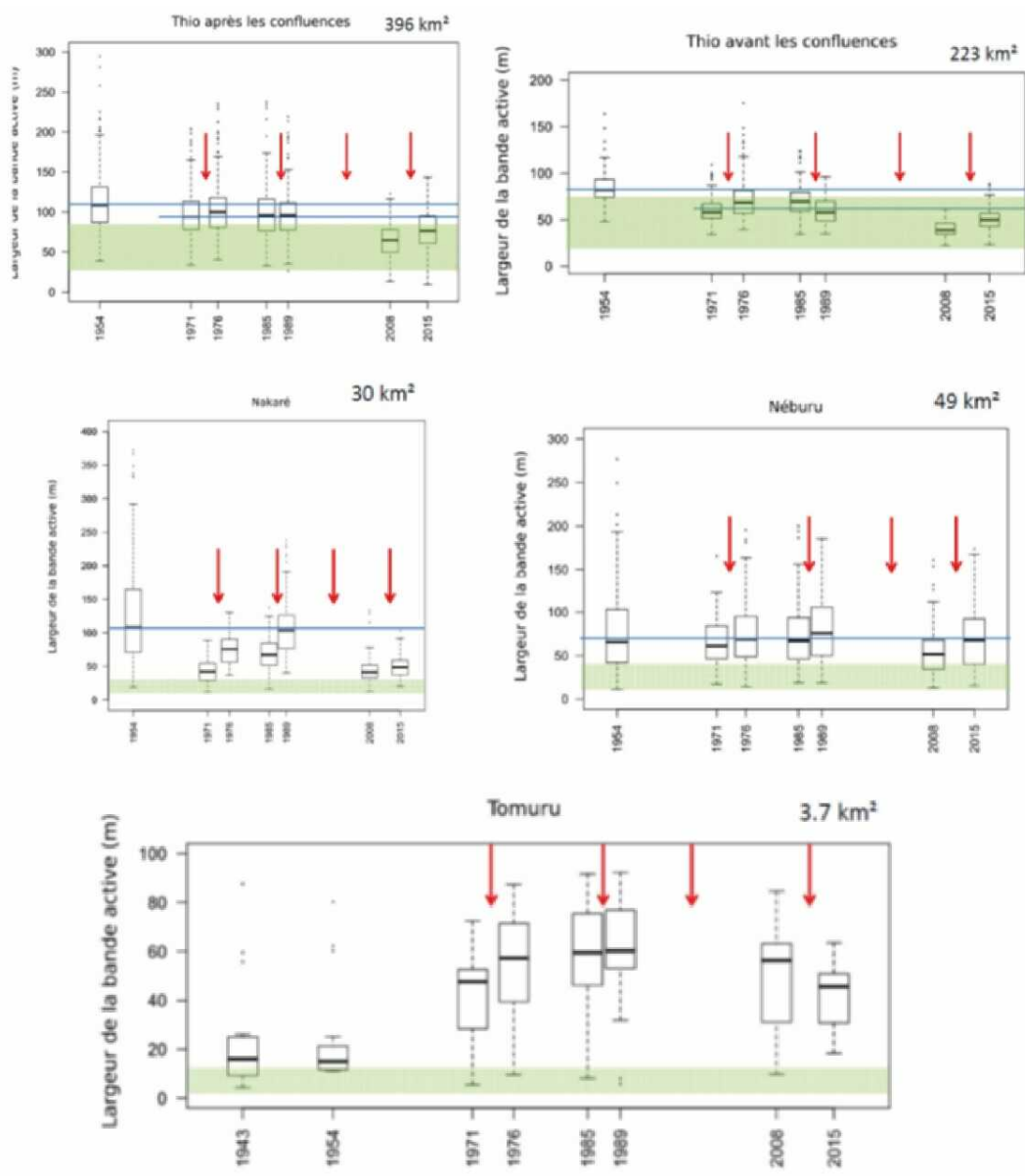


Figure 13 : Évolutions de la bande active de la Thio et de ses affluents entre 1954 et 2015

- La différence principale entre l'amont et l'aval des confluences concerne le retour dans le fuseau de référence⁶, qui intervient dès les années 1970 en amont, et seulement à partir des années 2000 en aval. Les cyclones qui semblent avoir eu un effet morphologique, à savoir un élargissement de bande active, sont ceux de 1975 (Alison) et 2013 (Freda). Il faut noter que les photos aériennes sont trop récentes pour permettre de voir l'arrivée des vagues sédimentaires d'origine minière sur la Thio ;
- La Nakalé et la Néburu (Fig. 13) montrent des bandes actives impactées sur l'ensemble de la période, qui ne reviennent jamais dans le fuseau de référence, même si la Nakalé semble plus s'en approcher sur la période récente. On note aussi des fluctuations beaucoup plus marquées sur la Nakalé, qui présente une réactivité forte aux cyclones, notamment à ceux de 1975 (Alison) et 1988 (Anne), et dans une moindre mesure, à celui de 2013 (Freda). La Néburu montre les mêmes tendances, mais les fluctuations sont plus faibles, sans doute parce que l'espace de divagation est beaucoup plus confiné que sur la Nakalé. C'est ce qui ressort également des observations de terrain réalisées suite au cyclone Cook de 2017, qui montrent une réponse beaucoup plus marquée sur la Nakalé. Même si une phase de rétraction est bien observée à partir de la mise en place du code minier, on voit que ces systèmes sont encore très engravés, ce qui s'explique par leur proximité aux sources d'érosion minière. Comme pour la Thio, les photos sont trop récentes pour visualiser l'arrivée des premières vagues sédimentaires ;
- La Tomuru (Fig. 13) montre de manière exemplaire la mise en place des vagues sédimentaires d'origine minière, ainsi que leur stabilisation à partir des années 1970 sous l'effet de l'incision du lit. On voit ainsi une tendance très nette à l'élargissement entre 1954 et 1976, puis une phase de rétraction qui démarre à partir de 1989. L'état actuel est encore très au-dessus du fuseau de référence, mais la trajectoire montre un possible retour à l'équilibre dans les années à venir. Il s'agit également du seul site qui ne montre pas d'élargissement suite au cyclone de 2013 (Freda).
- L'évolution morphologique observée sur la Todrè, notre système de référence (ou site témoin du projet), montre que la bande active est restée très stable sur l'ensemble de la période (Fig. 14). On note une réponse aux cyclones de 1975 (Alison) et 2013 (Freda), même si les élargissements sont de faible ampleur.

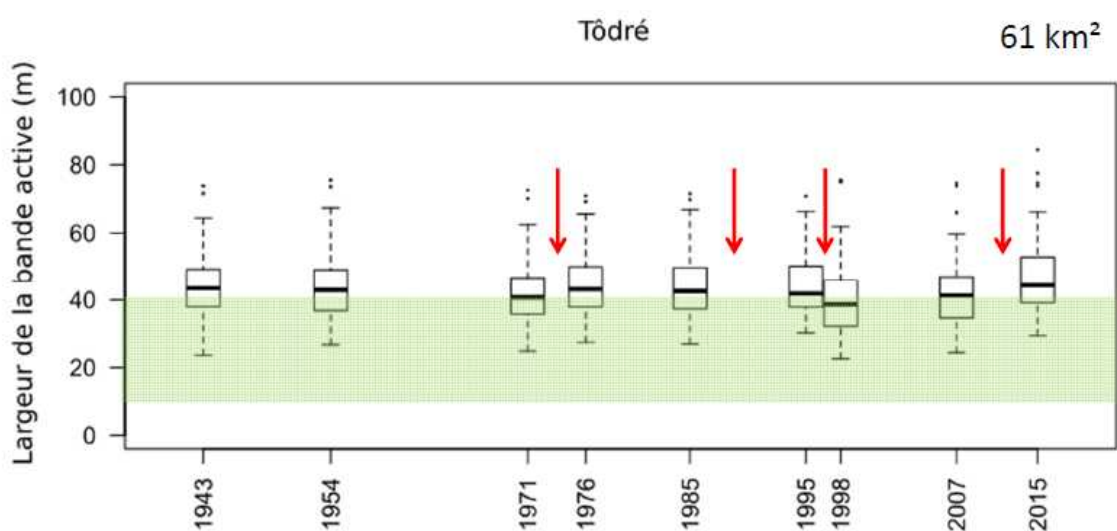


Figure 14 : Évolution de la bande active de la Todrè entre 1943 et 2015

L'existence d'un levé LIDAR datant de 2012 et le croisement de ses résultats avec les photos aériennes historiques et les observations de terrain ont permis d'esquisser la reconstitution diachronique des phases récentes d'exhaussement et d'incision de l'un des principaux creeks affluents de la Thio, la

⁶ Le fuseau de référence correspond à la gamme de variabilité des largeurs de bande active observée dans les bassins versants non impactés par l'activité minière, dans les massifs de péridotite. Elle est obtenue à partir d'une loi statistique largeur active vs. surface drainée, qui a été développée dans le projet « Gestion du Passif » (Bertrand et Liébault, 2019).

Néburu. Trois surfaces alluviales perchées ont été mises en évidence qui amènent à la conclusion de l'existence de plusieurs phases d'exhaussement de la Néburu au cours des 50 dernières années :

- Une première phase dans les années 1940 ou 1950, liée aux premières vagues sédimentaires d'origine minière ; les photographies aériennes de 1954 montrent en effet que le lit est déjà très impacté par les apports sédimentaires ; même si une bande active très large est observée, elle n'occupe pas la totalité du fond de vallée, et des portions de plaine d'inondation sont conservées ; elles le sont encore aujourd'hui ;
- L'exhaussement se poursuit vraisemblablement jusqu'au cyclone Alison de 1975, qui marque sans doute le paroxysme de l'aggradation minière (aucun niveau supérieur n'est observé sur le cours inférieur de la Néburu) ; l'interdiction de la mise en verse des stériles date du début des années 1970, et il faut donc considérer que la recharge sédimentaire depuis les ravines est encore très élevée lorsque le cyclone Alison se produit ;
- Une troisième phase d'exhaussement se produit suite au cyclone Anne de 1988, sans doute après une période d'encaissement du lit, sous l'effet de la réglementation minière ; une nouvelle vague sédimentaire se forme, mais elle est moins puissante que celle de 1975, même si sa mise en place remobilise une grande partie des atterrissements de 1975 ; la comparaison des vagues sédimentaires de 1975 et 1988 montre bien que la recharge sédimentaire depuis les sites miniers, même si elle reste forte aujourd'hui, connaît une tendance à la diminution.

Le lit actuel est fortement incisé dans tous ces dépôts, et tend à retrouver un équilibre proche de celui avant perturbation, comme semble le montrer la structure des pentes actuelles, très proche de celle de la plaine alluviale anté1954. La bande active actuelle montre néanmoins un lit encore très large, qui subit encore des apports sédimentaires soutenus depuis les sites miniers.

Une représentation schématique de la succession des événements qui ont pu conduire à la situation actuelle est proposée à la figure 15 dont certains éléments restent cependant de nature hypothétique.

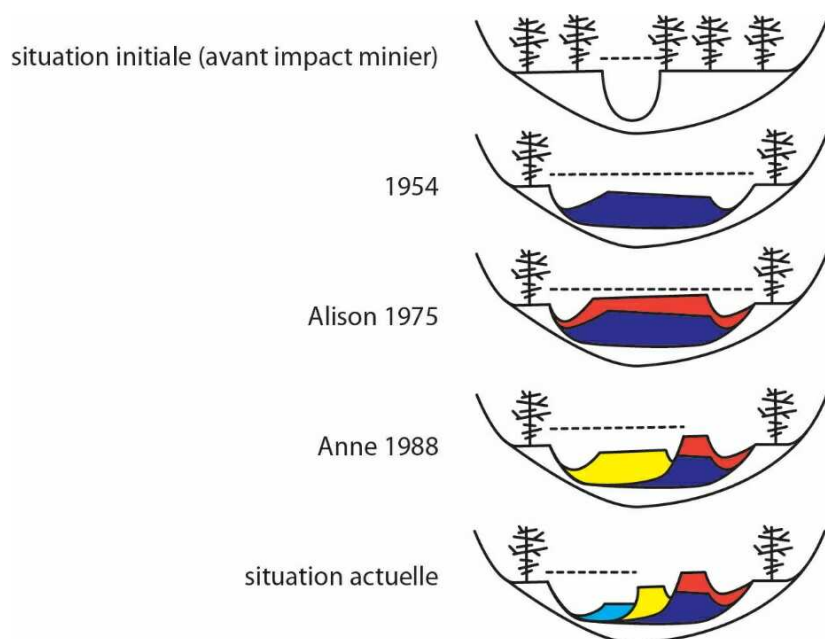


Figure 15 : Mise en place schématique des vagues sédimentaires successives de la Néburu ; le trait discontinu représente l'extension latérale de la bande active

Cette reconstitution historique montre bien que l'exploitation minière s'est traduite par la formation de puissantes nappes sédimentaires dont l'essentiel du volume est encore stocké dans la plaine alluviale de la Néburu. L'estimation basse du volume stocké sur les trois derniers kilomètres du cours d'eau, en prenant comme niveau de base l'altitude moyenne du lit actif actuel, comme sommet le profil en long reconstitué de 1975, et comme largeur celle de la bande active des années 1970 (avec un profil de forme rectangulaire simple) donne un chiffre de 830 000 m3. Il est fort probable que le niveau actuel du

lit soit encore surélevé par rapport à la situation initiale avant impact, et ce chiffre doit donc être considéré comme un minimum.

Si on le compare avec l'estimation des stériles produits dans le bassin de la Néburu depuis 1975, évalué à 2 Mm³. Il apparaît que la moitié des apports miniers se sont déposés dans la plaine alluviale de la Néburu ; l'autre moitié est donc restée piégée sur les versants, sous forme de talus d'éboulis et de cônes de déjections. Les estimations du déstockage entre 1975 et 1988, puis entre 1988 et 2012, donnent des valeurs de 223 000 et 166 000 m³, soit un cumul de 389 000 m³. Le déstockage des quarante dernières années, qui est donc parvenu jusqu'à la Thio, représente donc moins de la moitié du passif minier stocké dans la plaine alluviale, et seulement 20% des apports miniers reconstitués d'après les archives.

3.4. ÉVOLUTION DES APPORTS MINIERES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA THIO

Auteur : M. Garcin (BRGM)

Les évolutions de ces surfaces sont évidemment liées à l'expansion dans le temps de la prospection et des mines. Les sols mis à nus qui en résultent sont autant de sources potentielles de matériaux. En effet, ces sols une fois dénudés ne se végétalisent que très difficilement et sont très sensibles au ruissellement et à l'érosion lors des événements pluvieux.

L'approche souvent utilisée (Garcin et al. 2013, Garcin & Le simple 2013) visant à évaluer les surfaces mises à nus par l'exploitation minière a été affinée. En effet, les observations de terrain, les retours d'expériences des sociétés minières, les témoignages et les analyses des photographies aériennes et des images satellites démontraient la variété des états des « sols nus » et des processus les affectant. C'est avec cet objectif que dans le cadre d'IMMILA, deux méthodes conjointes ont été utilisées pour caractériser l'évolution des exploitations minières :

- Une quantification des tonnages et volumes mis en décharge ;
- Une évaluation de l'évolution des surfaces de sols nus réalisée selon une typologie spécifique des sols nus.

Il est à noter que la méthodologie utilisée pour accéder aux résultats présentés ci-après a été développée dans le programme « *Gestion du passif*⁷ ». On se référera à ce livrable du CNRT ainsi qu'au paragraphe 3.4 (RSF) pour sa description.

Pour le volet quantification des apports solides par les décharges minières, il convient tout d'abord de signaler que les massifs miniers exploités sont essentiellement localisés dans la partie médiane orientale (rive droite) et aval du bassin (rive gauche). Seule une faible activité minière ancienne a affecté le haut bassin.

L'évaluation des tonnages de stériles produits par an et par sous bassin est présentée à la figure 16. On y voit :

- Des pics de production de stériles qui se situent entre les années 50 et le milieu des années 70 correspondant au boom du nickel postérieur à la seconde guerre mondiale ;
- Une forte disparité temporelle des pics de production de stériles en fonction des bassins versants en lien avec la découverte de gisements, leur rentabilité et les fluctuations de la demande mondiale en nickel ;

⁷ M. Garcin et al. (2017) - *Gestion du passif* ». Rapport scientifique. CNRT « Nickel & son environnement. 131 p.

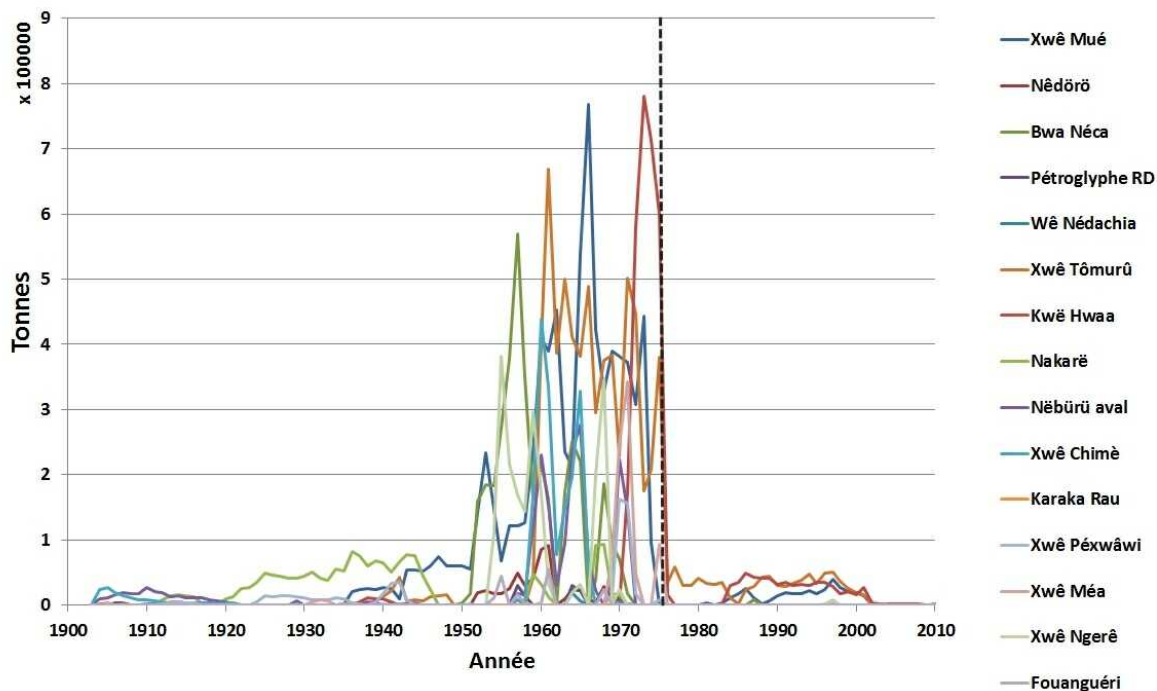


Figure 16 : Tonnage de stériles produit dans les sous-bassins versants de la Thio (la ligne verticale en tiret violet correspond à l'année 1975, date de la mise en œuvre du code minier interdisant la mise en décharge des stériles)

- Des apports en stériles très précoces (dès le début du XX^{ème} siècle et surtout entre les années 1920 et la seconde guerre mondiale) dans certains bassins versants historiques de l'exploitation du nickel. Les tonnages de stériles de ces périodes anciennes sont beaucoup moins importants que ceux de la période 1950-1970, mais n'en restent pas moins significatifs.

Pour l'ensemble du bassin de la Thio (Fig. 17), la quantité de stérile mis en décharge dépasse les 30 millions de tonnes en considérant l'application immédiate du code minier de 1975 soit un volume de stérile supérieur à 10 millions de m³.

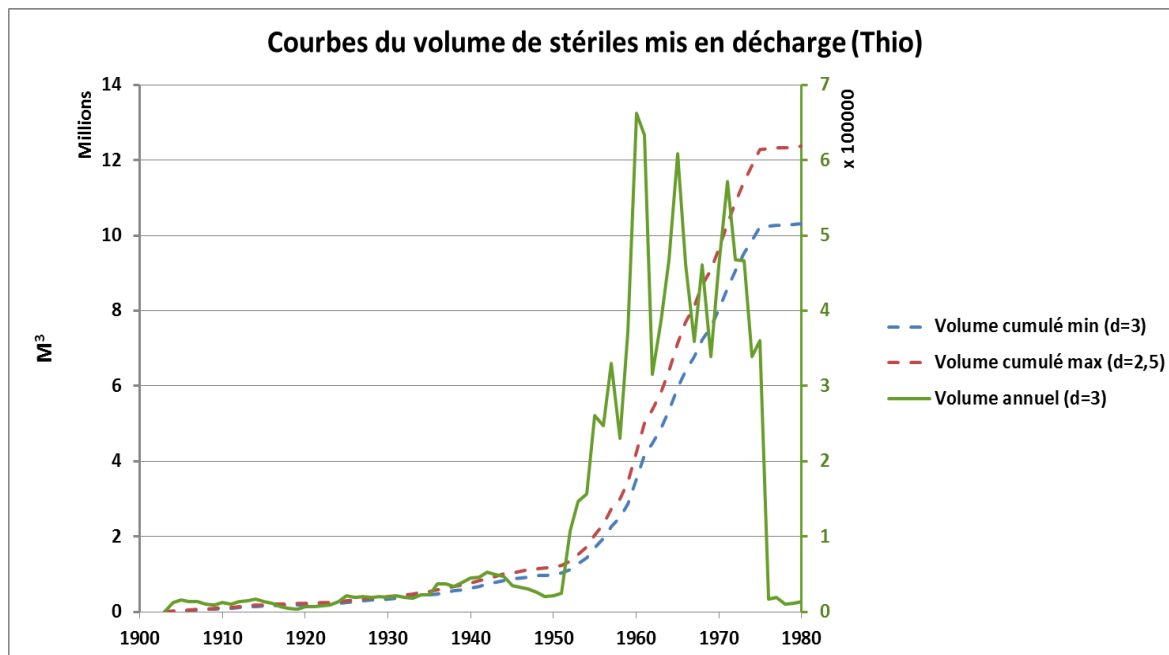


Figure 17 : Évaluation du volume de stériles mis en décharge sur l'ensemble du bassin versant de la Thio

Le positionnement et la courbe du tonnage des apports cumulés en stériles portés sur les profils en long (Fig. 20) apportent des informations importantes :

- Les apports par les décharges minières sont très diversement répartis par rapport à la structure du réseau hydrographique. Certains apports sont très distaux comme ceux de la Kwe Hwaa à plus de 40 km de l'embouchure de la Thio, d'autres, notamment dans le bassin médian, sont à une distance comprise entre 17 et 24 km de l'embouchure alors qu'enfin certains sont très proches de 1 km à 7 km seulement. Il en résulte que le temps de transfert des sédiments pour rejoindre un site particulier sera plus ou moins long en fonction de la position des rejets dans l'hydrosystème. Même si la mise en décharge sur deux sites est synchrone, compte tenu de cette répartition spatiale hétérogène, il n'y aura pas synchronisme des arrivées de matériaux à un endroit donné, mais au contraire un déphasage temporel ;
- La localisation des apports issus des décharges par rapport au profil en long de chaque cours d'eau est elle aussi diversement placée. Ainsi, certains apports se font dans le haut des profils (creeks aval RG, Kwe Whaa), d'autres en partie médiane (e.g. Xwé Méa, Pexwawi, Nakaré) alors que certains sont plutôt dans le bas des profils (Néburu). Ainsi, certains cours d'eau sont ou seront affectés sur l'ensemble de leur lit alors que certains autres ne le seront qu'en partie médiane ou même aval. Le surengrèvement qui en découle affectera donc diversement l'ensemble des lits ;
- Les transferts de matériaux et la réaction des lits (sur-engrèvement, puis déstockage) seront plus ou moins rapides en fonction du paramètre précédent et de la pente générale du profil, Dans le cas où le profil du cours d'eau est très raide (comme pour les creeks aval en rive gauche de la Thio), le sur-engrèvement, tout comme son déstockage ultérieur, se produira rapidement après l'apport en matériaux. La forte pente des lits favorisera donc un transit rapide. Par contre, la rupture de pente très forte qui existe entre les pentes aval de ce type de creek et la pente du lit de la Thio favorisera le dépôt en bas de profil, la reprise et le transport vers l'aval de ces sédiments par la Thio seront beaucoup plus lents compte-tenu de la capacité de transport plus faible en matériaux grossier de la Thio ;
- Les apports en parties médianes des profils dans les secteurs où les pentes des cours d'eau sont modérées (Xwé Méa, Pexwawi, Nakaré pro parte) conduiront dans certains cas à un stockage au moins temporaire de la fraction plus grossière des apports dans les segments à plus faibles pentes du lit. Les dépôts auront tendance à s'étaler en aval des cônes issus des décharges et à sur-engraver les secteurs immédiatement en aval. Les apports en matériaux auront tendance à sur-engraver la rivière dont le lit et la bande active s'élargiront lors de la phase paroxysmale des apports. Ultérieurement, une partie du stock sédimentaire pourra être transportée en aval lors des crues les plus importantes sans toutefois que l'ensemble des sédiments soient remobilisés. Il en résulte de nouvelles terrasses dont le toit correspond à la phase paroxysmale de l'engrèvement. Ces terrasses dont les galets sont patinés, ne sont que très partiellement végétalisées. Elles sont en voie de fixation et ne participent plus au bilan sédimentaire ; seule l'occurrence de débits exceptionnels induits par de fortes pluies lors de cyclones majeurs ou de très fortes dépressions tropicales pourraient être en mesure de les remobiliser.

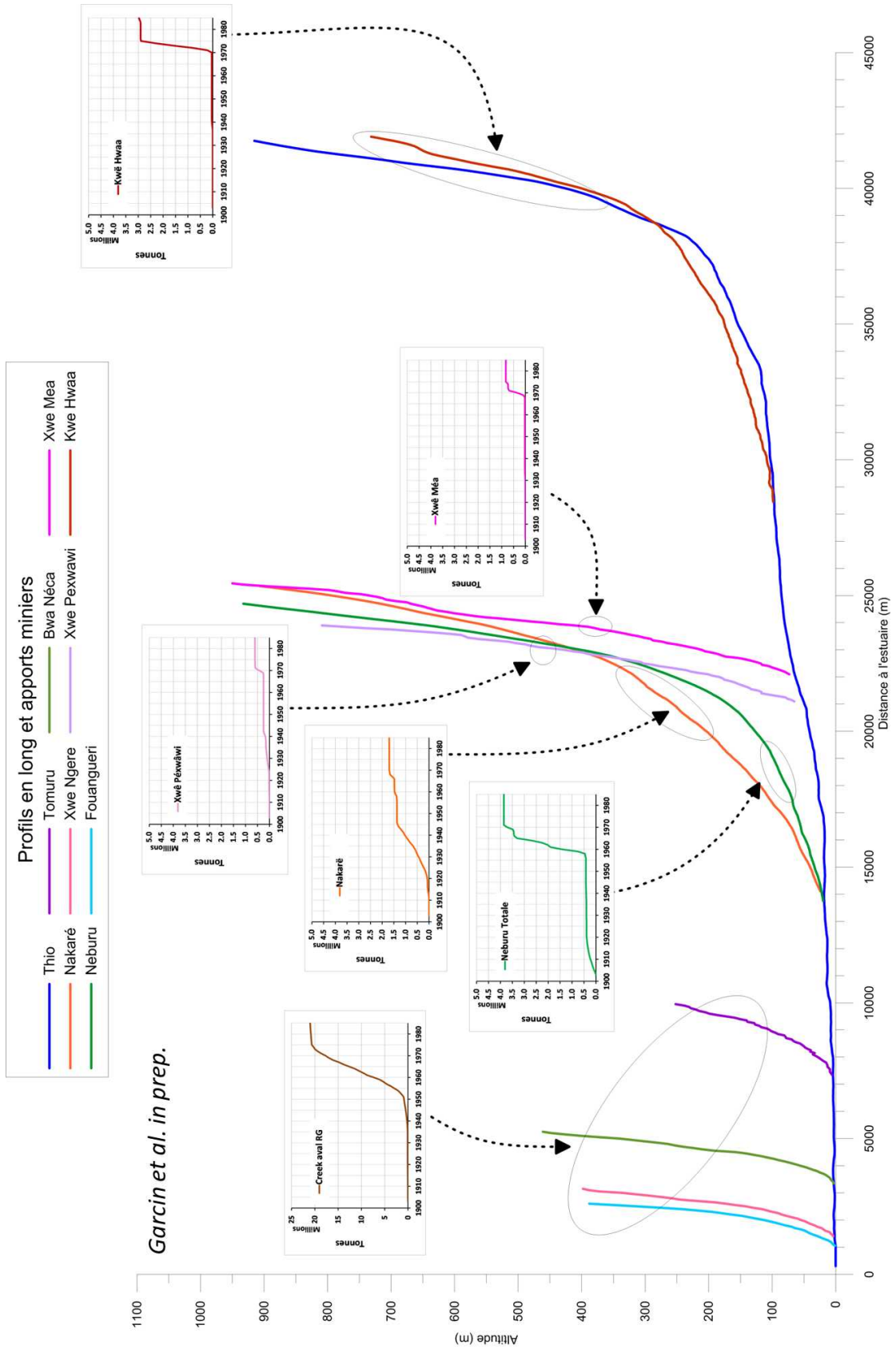


Figure 20 : Localisation des apports en stériles miniers sur les profils en long des cours d'eau

Le regroupement des apports miniers selon leur position dans le bassin versant amont, médian et aval a été effectué (Fig. 21).

Il permet de mieux visualiser et caractériser leurs contributions respectives. La courbe des tonnages annuels montre que l'essentiel des pics de production se situe comme évoqué plus avant des années 50 au milieu des années 70. La courbe des tonnages cumulés met en évidence le déphasage entre des apports du bassin médian qui sont nettement plus précoces que ceux du bassin aval et amont. Dans le bassin médian, les apports s'opèrent du début du XX^{ème} siècle jusqu'à la seconde guerre mondiale puis reprennent de la fin des années 50 jusqu'au milieu des années 70. La zone aval est contributive essentiellement de 1950 jusqu'à milieu des années 70 tandis que la zone amont montre une courte mais intense activité durant la première moitié des années 70. Ce graphique montre qu'en termes quantitatifs, c'est le bassin aval qui produit le plus de stériles (20 millions de tonnes) puis le bassin médian (un peu plus de 5 millions de tonnes) tandis que l'apport tardif bassin amont est légèrement inférieur à 5 millions de tonnes.

L'évaluation de l'évolution des surfaces de sols nus réalisée selon une typologie spécifique des sols nus correspond au second volet du travail mené. Il a été distingué la surface des zones productives et des zones actives. Cette typologie est explicitée dans la méthodologie du paragraphe 3.4 (RSF). Il a été réalisé les cartes de ces deux familles de surface en 1954, 1976 et 2008.

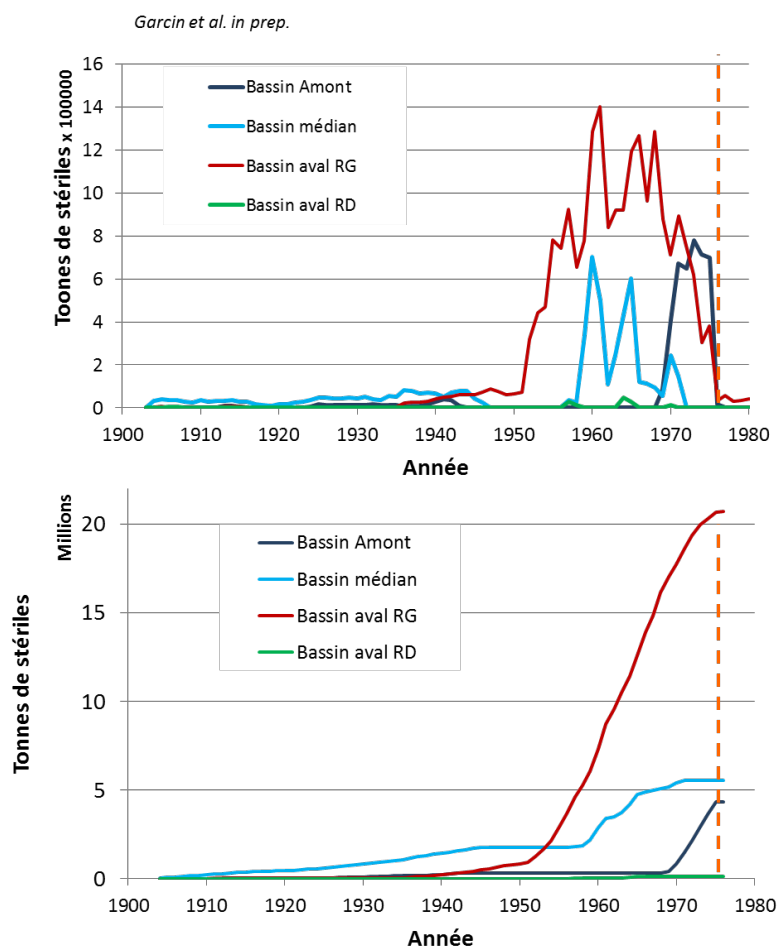


Figure 21 : Tonnage des apports miniers issus des décharges regroupées selon leur localisation dans le bassin amont, médian ou aval de la Thio (en haut tonnage annuel, en bas tonnage cumulé)

En ce qui concerne les zones productives (zone d'érosion naturelle, zone de décharge minière, zone d'érosion sur mine où les morphologies indiquent clairement que des érosions significatives sont en cours), les superficies ont évolué à la hausse. En effet, en 1954, les surfaces des zones productives étaient de 194 ha, elles sont passées à 1 388 ha en 1976 pour se stabiliser autour de 1 427 ha en 2008.

Pour ce qui est des zones actives (zones d'exploitations et pistes minières), il a été observé une très forte augmentation de la surface des zones d'exploitation entre 1954 et 1976 qui passe de 233 ha à

775 ha (facteur 3,3) puis une augmentation faible entre 1976 et 2008 qui passe à 831 ha. Dans le même temps, la surface occupée par les pistes minières qui était de seulement 44 ha en 1954 passe à 613 ha en 1976 (facteur proche de 14) et régresse légèrement en 2008. Les pistes ne représentaient que 15,8% des surfaces actives (somme des surfaces des exploitations et pistes) en 1954 alors qu'elles représentent 44,2% de ces mêmes surfaces actives en 1976 puis 41,7% en 2008. Cela indique que l'augmentation des surfaces de pistes est proportionnellement beaucoup plus importante que celle des surfaces d'exploitation. La contribution des pistes à l'apport des fines par ruissellement suit donc potentiellement la même tendance. Cela paraît d'autant plus important que sur mine, des efforts sont faits pour gérer les eaux d'écoulement, par contre les pistes, notamment les pistes anciennes qui ne sont plus utilisées, ne sont pas nécessairement traitées.

La comparaison de l'évolution des volumes de stériles mis en décharge par rapport à la surface des décharges est un élément de connaissance important pour comprendre les phénomènes d'engravement en aval des exploitations. Sur l'ensemble du bassin versant de la Thio, entre 1954 et 1976, les surfaces des décharges minières passent de 110 ha à 218 ha soit un doublement de la surface. Aux mêmes dates, le tonnage de stériles mis en décharges passe de 4,29 millions de tonnes à 30,7 millions de tonnes soit un facteur de 7,15. L'évolution de la surface des décharges minières n'est donc pas représentative de l'apport en matériaux réellement effectué dans le temps. En effet, si l'on prenait comme indicateur l'évolution de la surface des décharges pour calculer l'apport en stériles en utilisant les valeurs de 1954 (4,29 millions de tonnes pour 110 ha) nous obtiendrions en 1976 un tonnage de seulement 8,5 millions de tonnes de stériles à comparer aux 30,7 millions de tonnes réellement mis en décharge.

En conséquence, l'évolution de la surface des décharges ne peut donc pas être considérée comme un indicateur pertinent de la quantité de stérile mis en décharge et donc, comme un indicateur de la source des matériaux grossiers d'origine minière.

3.5. QUANTIFICATION DES TAUX DE SÉDIMENTATION DANS LA ZONE LITTORALE

Plusieurs approches complémentaires ont été mises en œuvre tant au niveau de la zone terrestre que de la zone marine proximale. Une première approche (géophysique et sondages) a été présentée au 2.1 (RSF).

Une seconde approche, basée sur l'analyse des documents bathymétriques anciens et récents, les orthophotos et les images satellites disponibles, avait pour finalité de comprendre l'évolution morphologique de l'hydrosystème deltaïque sur la période récente et actuelle. Cette seconde approche a fait l'objet de deux contributions complémentaires.

Enfin une estimation des taux de sédimentation dans la zone littorale est proposée en s'appuyant sur les sondages réalisés en deux points particuliers de la rivière Thio.

3.5.1. ÉTUDE DES SYSTÈMES CÔTIERS DES EMBOUCHURES DE LA THIO ET DE LA TODRÉ

Les résultats principaux de la seconde approche basée sur l'analyse des documents à disposition (bathymétries anciennes et récentes, orthophotos et images satellites) et réalisée via deux contributions parallèles sont présentés ci-après.

Un premier travail (*Auteur : A. Leroux, stagiaire IRD, paragraphe 3.2.3 (RSF)*) a consisté à suivre l'évolution du trait de côte au niveau du delta de la Thio sur une soixantaine d'années entre 1954 et 2015 à partir d'un jeu de 11 séries de photographies aériennes et d'images satellitaires. La méthodologie suivie pour traiter les données, très classique, peut être consultée au paragraphe 3.2.3 (RSF).

Un second travail (*Auteurs : O.Navratil et L. Schneider, Univ. Lyon 2, paragraphe 3.5.1 (RSF)*) a également porté sur l'analyse du corpus de photographies aériennes et d'images satellitaires mais il a également intégré les données de cartographies anciennes disponibles ainsi que les photographies anciennes, ce qui lui a permis de faire remonter l'analyse diachronique jusqu'aux années 1880, c'est-à-dire au début de l'exploitation minière. L'hétérogénéité des sources a nécessité un important travail d'acquisition des données et de validation de celles-ci qui sont explicités au paragraphe 3.5.1 (RSF).

Au niveau de cette synthèse, les résultats ne seront pas dissociés car ils sont convergents sur la période commune, la seconde approche apportant de la profondeur historique à l'analyse diachronique effectuée.

Il ressort des travaux réalisés des évolutions contrastées de part et d'autre de l'embouchure de la Thio. La zone de rive gauche du delta (le secteur d'Ouroué) est assez stable avec une légère tendance à l'érosion du trait de côte. En rive droite, le Botaméré marque une limite entre deux secteurs littoraux aux évolutions nettement différentes. Depuis la rive droite de la rivière jusqu'au Botaméré, on note une importante accrétion avec des vitesses atteignant 6 mètres/an de gain linéaire au plus près du mégalithe et se réduisant en se rapprochant de la rivière. Au contraire, la plage au droit de Saint Philippe, au sud du Botaméré, est globalement stable, avec une légère tendance à l'érosion.

Le tableau 2 permet d'accéder aux distances de déplacement (en m) et à la vitesse d'évolution (en m/an) des traits de côte successifs par rapport à la bande représentative du trait de côte de 1880 au niveau de 4 transects positionnés sur les segments littoraux situés de part et d'autre de l'embouchure actuelle de la Thio (Fig. 22).

Tableau 2 : Distance de déplacement (en m) et vitesse (en m/an) des traits de côte par rapport à la bande représentative du trait de côte de 1880 au niveau des 4 transects.

n° transect		1880	1954	1971	1976	1982	1985	1989	1995	2008	2017
1	Déplacement	0	-32	-62.6	-60.8	-87.1	-62	-83.9	-78.1	-70.4	-78.1
	Vitesse	0	-0.43	-1.80	0.36	-4.38	8.37	-5.48	0.97	0.59	-0.86
2	Déplacement	0	94.7	51	58.8	43.5	69.7	95.4	103.4	106	124.4
	Vitesse	0	1.28	-2.57	1.56	-2.55	8.73	6.43	1.33	0.20	2.04
3	Déplacement	0	9.8	103	141.4	340	242.4	301.5	311	343.1	336.7
	Vitesse	0	0.13	5.48	7.68	33.10	-32.53	14.78	1.58	2.47	-0.71
4	Déplacement	0	30	2.6	13.9	5.9	9.9	9	16.6	5.3	1.8
	Vitesse	0	0.41	-1.61	2.26	-1.33	1.33	-0.23	1.27	-0.87	-0.39

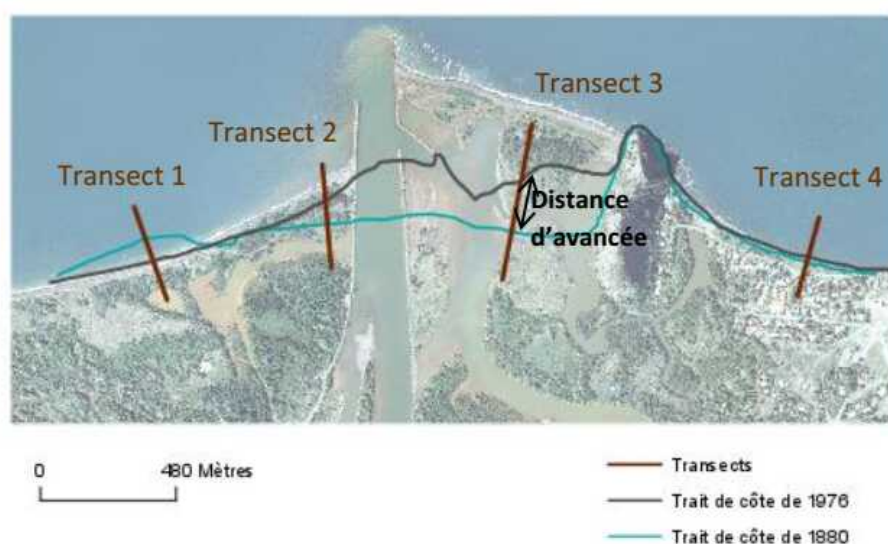


Figure 22 : Les 4 transects utilisés pour l'analyse du trait de côte.

Nous détaillerons uniquement ici l'évolution du transect 3 caractéristique du segment côtier situé entre le Botaméré et la rive droite de la Thio car il s'agit de la zone d'hypersédimentation du delta.

Entre 1880 et 1954, c'est-à-dire avant la mécanisation de l'activité minière, le trait de côte ne semble pas avoir beaucoup changé. C'est à partir de 1954 que le trait de côte a commencé son avancée sur le lagon. Il progresse d'environ 100 m jusqu'en 1971. Ce phénomène continue en 1976, puis en 1982 où il progresse d'un coup jusqu'à +350 m. Cette avancée est synchrone du boom du nickel et donc à mettre en relation avec l'activité minière. Après un recul surprenant d'une centaine de mètres du trait de côte dont l'origine est sans doute à rechercher pour partie du côté des aménagements qui se construisent

pour endiguer la rivière et linéariser son cours et pour partie dans les modifications de l'hydrodynamisme littoral associé à la mise en place des digues. Par la suite, le trait avance encore un peu jusqu'à atteindre de nouveau une avancée de 350 m par rapport à 1880. Sur cette zone du delta, les changements sont donc importants et rapides.

Les vitesses de déplacement sont très variables : elles passent de 14.8 m/an entre 1985 et 1989 à 2 m/an entre 1989 et 1995. Elles atteignent 33 m/an entre 1976 et 1982, et sont du même ordre de grandeur entre 1982 et 1985. Ce fait est à relier à l'installation d'un banc de sable au nord du Botaméré qui démontre la réalité d'une sédimentation active sur la rive droite de la Thio au cours du temps, et probablement à partir de 1975 puisque c'est en 1982 que les changements importants sont visibles. Ce phénomène est bien sûr à mettre en relation avec les apports de la rivière et de la mer mais aussi et surtout avec l'aménagement du lit principal de la Thio, favorisant la sédimentation dans cette zone par effet d'épi (Allenbach, 2002⁸).

3.5.2. ESTIMATION DES TAUX DE SÉDIMENTATION DANS LA ZONE LITTORALE

Les résultats présentés au paragraphe précédent indiquent des évolutions fortement différenciées selon que l'on se trouve en rive droite ou gauche de l'embouchure principale de la Thio. Ils indiquent également que ces évolutions ne sont pas linéaires sur les 140 ans du suivi diachronique réalisé. Elles font alterner des périodes d'accélération, de ralentissement voire d'inversion de la dynamique des dépôts de sorte qu'il est illusoire d'essayer de proposer un taux de sédimentation réellement représentatif pour les dépôts de la zone littorale dans son ensemble.

Nous avons pourtant essayé d'obtenir des estimations de ces taux de sédimentation. Ces estimations sont relatives à des prélèvements réalisés en 2 points particuliers (Fig. 23). Il s'agit, d'une part, du carottage S2 dont les résultats en termes de taux de sédimentation ont été présentés au paragraphe 2.2. de cette synthèse. Il s'agit, d'autre part, d'un carottage (C1) réalisé à la tarière à main dans la plaine inondable de la Thio dans le cadre de l'étude des matières en suspension.



Figure 23 : Position des échantillonnages associés à des estimations de vitesses de sédimentation

Les résultats obtenus sur le forage S2 concernent préférentiellement les évolutions à long terme (sur plusieurs milliers d'années) de la zone deltaïque alors que ceux obtenus sur le carottage C1 sont relatifs à la période récente (le dernier siècle). Pour le carottage C1, il a été testé la faisabilité de mesure à partir des activités en ¹³⁷Cs et ²¹⁰Pb_{xs} qui sont classiquement utilisées dans les études de traçage

⁸ M. Allenbach, T. Hoibian [L'évolution géomorphologique récente du littoral à l'embouchure des rivières Thio et Dothio \(Nouvelle-Calédonie\) : Un exemple d'interactions anthropiques et naturelles](#) (pp. 127-136) - doi: 10.5150/jngcgc.2002.013-A

sédimentaire pour dater les carottes sédimentaires. Ce test s'est révélé négatif en raison de leurs trop faibles activités au sein du profil.

Par contre, l'étude statistique des données journalières de pluviométrie et d'hydrologie collectées respectivement depuis 1952 et 1981 sur le bassin versant de Thio (Tab 3) ont permis d'isoler plusieurs événements de crues débordantes à l'endroit du carottage. Les témoignages des habitants de Thio ont permis de corroborer et de compléter cette chronologie d'événements avec notamment l'ajout d'événements plus anciens tels que le cyclone Alison (1975) et le cyclone Anne (1988) pour lesquels on ne disposait pas de données hydrologiques et/ou de données complètes de pluviométrie.

Tableau 3 : Chroniques des crues débordantes à l'endroit du carottage

Année	Types d'événements	Données de débit disponibles	Moyens d'identification
1975	Cyclone Alison	-	Témoignages
1988	Cyclone Anne	-	Témoignages
1990	Événement non nommé du 20-23 janvier	Q = 899 m ³ .s ⁻¹	Approche statistique
1996	Cyclone Beti	Q = 2014 m ³ .s ⁻¹	Approche statistique
2008	Événement non-nommé du 28 février	Q = 825 m ³ .s ⁻¹	Approche statistique
	Événement non-nommé du 22 mars	Q = 931 m ³ .s ⁻¹	Approche statistique
2009	Dépression tropicale Jasper	Q = 829 m ³ .s ⁻¹	Approche statistique, Témoignages
2013	Cyclone Freda	Q = 1182 m ³ .s ⁻¹	Approches statistiques, Témoignages
	Événement non-nommé du 1 ^{er} juillet	Q = 1200 m ³ .s ⁻¹	Approches statistiques, Témoignages
2015	Dépression tropicale	Q = 860 m ³ .s ⁻¹	Approches statistiques, Témoignages

Les apports croisés de l'analyse des chroniques hydrologiques de la géochimie et de la colorimétrie ont ainsi permis de mettre en évidence un horizon clef à 83cm sous la surface du sol, horizon clef qui a été daté de 1975 (Cyclone Alison), ce qui permet de proposer un taux de sédimentation de 20.2 mm/an dans cette partie de la plaine alluviale inondable.

4. ÉTAT ET FONCTIONNEMENT ACTUEL : TRANSPORT SOLIDE GROSSIER ET MATIÈRES EN SUSPENSION

Le programme prévoyait de quantifier et qualifier le transport solide grossier (section 4 (RSF)) et le transport solide en suspension (section 5 (RSF)) dans les hydrosystèmes. Les informations issues de cette section devant ensuite être confrontées à la perception des habitants et l'acceptation sociale des transformations environnementales (section 6 (RSF)) et proposer ainsi des regards croisés entre savoirs scientifique et savoirs locaux.

4.1. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE GROSSIER

Auteurs : A. Recking, N. Gosselin, T. Burlat (IRSTEA)

Cette première partie de l'étude de l'état et du fonctionnement actuel du bassin versant concerne le transport solide grossier. Deux approches ont été mises en œuvre pour essayer de comprendre la dynamique sédimentaire de la Thio et ses creeks : l'approche géomorphologique et l'approche calculatoire.

Une première facette du travail a consisté à réaliser une reconnaissance géomorphologique classique de la Thio et des affluents mais aussi de la Todré et de la cascade Wellington avec pour objectif de réaliser un maximum d'observations (mesures sommaires, photos). Ces observations ont été rapportées aux paragraphes 4.1 (RSF).

4.1.1. ANALYSE GÉOMORPHOLOGIQUE DE LA DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE

L'analyse géomorphologique du bassin versant a tout d'abord permis de retracer l'évolution de la Thio et de ses creeks depuis les débuts de l'exploitation minière et de poser un diagnostic sur leur fonctionnement actuel. Nous avons mis en évidence un passé commun à la Thio et ses affluents, avec notamment une forte période d'exhaussement qui a engendré de hautes terrasses, suivie d'une période de purge avec enfoncement du lit mineur dans ces terrasses. Elle a, ensuite, mis en évidence un fort contraste entre la dynamique sédimentaire actuelle de la Thio et de ses creeks.

La Thio présente un lit sinueux, végétalisé, sans véritables dépôts meubles récents très marqués. Sa granulométrie grossière associée aux faibles pentes est symptomatique d'un pavage, c'est-à-dire d'un fonctionnement avec déficit d'apports amont conduisant progressivement à un lessivage du lit de ses matériaux meubles (on parle ici des sédiments grossiers apportés par charriage, les dépôts de sédiments fins issus de la suspension étant eux très importants sur les zones latérales de débordement)

Les creeks présentent, quant à eux, des stocks très importants de dépôts meubles, fraîchement mobilisés, dans leur partie aval, juste en amont de la confluence avec la Thio.

Cette différence de dynamique constatée entre la Thio et ses creeks nous amène à conclure qu'ils sont déconnectés : les creeks transportent encore aujourd'hui des volumes de sédiments grossiers importants jusqu'à la Thio, mais ceux-ci ne sont pas transférés, pour l'essentiel, à la Thio.

Les raisons de cette déconnexion sont différentes pour chaque creek (construction de peignes à sédiments construits pour bloquer la charge sédimentaire (creek cimetièrre), rétrécissement local du lit (à la fois naturel et induit par la construction de la digue routière pour la Nakalé et la Néburu).

Tout comme cela se produit dans les plages de dépôt, on peut supposer que lors des crues extrêmes, l'amont de la digue piège très efficacement les sédiments grossiers, et que lors des crues courantes (et des fins de crues extrêmes), une purge selon la section d'écoulement permet un transfert d'une fraction relativement plus fine (le reste étant remanié et régalaé en berges en amont de la digue routière). À défaut d'observations directes, on en restera sur cette hypothèse mais il conviendra par la suite de mieux considérer le comportement de la charge sédimentaire au droit des digues routières pendant les fortes crues.

4.1.2. QUANTIFICATION DES FLUX

Pour aller plus loin et essayer de quantifier cette dynamique, il a été effectué un essai de quantification des flux. Pour ce faire, un lot de données très diversifiées a été collecté (granulométrie du lit, topographie du lit sous la forme de profils en travers et de profils en long, données hydrologiques, état de la végétation). À partir de ces données, une analyse a été effectuée qui a été présentée au paragraphe 4.2. (RSF). Cette analyse débouche sur les constats suivants :

- En ce qui concerne la granulométrie, le profil établi pour la Thio ne montre pas, à première vue, une tendance nette à l'affinage des tailles de grain, comme c'est en général le cas, depuis l'amont vers l'aval. On observe plutôt deux pics, l'un au pK 2000 qui correspond aux confluences avec la Nakalé et la Néburu, et un second au pK8500, qui correspond approximativement à la confluence avec la Tomuru. Ces pics tendent à montrer que la déconnexion entre la Thio et ses creeks affluents n'est pas totale et que des matériaux passent, au moins lors des grosses crues ;
- Le pic granulométrique aval évoqué à l'alinéa précédent est associé à une singularité sur le profil en long, où on peut noter une rupture de pente (Fig. 24) avec une pente locale très forte. Cette forte rupture de pente nous amène à penser que cette zone pourrait correspondre à un front de dépôt pour la Thio, contrôlé par une pente hydraulique faible en aval.

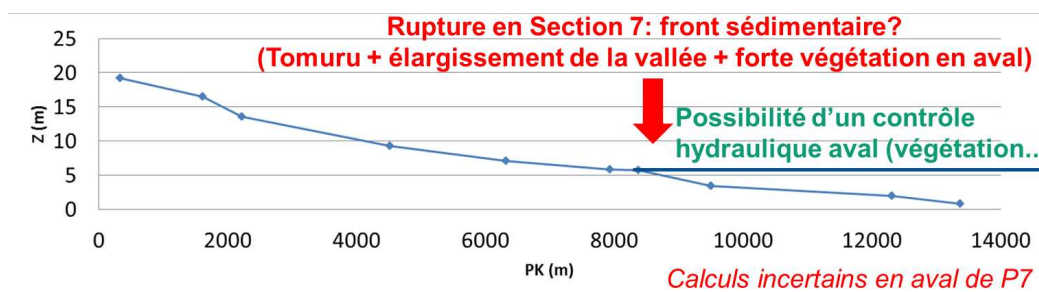


Figure 24 : Hypothèse d'un contrôle hydraulique aval

Les calculs pour l'estimation des flux de sédiments transportés par **charriage**, c'est-à-dire de la charge grossière (depuis les sables jusqu'aux blocs) se déplaçant près du fond, et responsable des changements de la morphologie du lit des cours d'eau sont d'un usage classique. Ils relient la force hydraulique de l'écoulement à un flux de matériau en mouvement, ce qui se fait via deux lois :

- Une loi de frottement : elle transforme le débit (Q) s'écoulant sur la surface rugueuse du lit (granulométrie des sédiments) en force F ; on parle plus couramment de contrainte τ , qui n'est autre que la force divisée par la surface du lit (la force exercée par m^2) ;
- Une loi de transport : elle donne une estimation du flux de matériaux que cette force de l'écoulement est capable de mobiliser.

L'ensemble des calculs a été réalisé avec le programme BedloadWeb disponible en ligne sur internet (<http://www.bedloadweb.com/>) qui a permis de tester plusieurs formules de transport solide. Dans tous les cas, le résultat a indiqué une nette différence de comportement entre la Thio et ses creeks. La formule Recking [2013] a été considérée dans la mesure où c'est la seule qui a réellement été validée sur des données de terrain (10000 valeurs, 3000 ayant servi à la construction de la formule et 7000 ayant servi à sa validation). Les résultats indiquent quelques centaines de m^3/an pour la Thio et plusieurs milliers de m^3/an pour les creeks. Les chiffres détaillés sont fournis dans le tableau 32 (RSF).

Concernant les matières en suspension, l'approche calculatoire, très compliquée (probablement plus compliquée que l'estimation du charriage de la charge grossière) a néanmoins été esquissée. Elle l'a été à partir de travaux récents [Misset et al., 2019] qui ont utilisé la mobilité du lit comme un proxy de la charge en suspension. La formulation relie par une loi puissance la concentration en suspension et le débit solide par charriage. Lorsqu'on l'applique à la Nakalé, par exemple, on obtient un volume transporté de l'ordre de $60\,000\,m^3/an$ ($80\,000\,m^3/an$ en volume apparent). Cela nous amène à la conclusion que probablement plusieurs centaines de milliers de m^3 de sédiments sont transportés

chaque année par suspension vers l'océan (une partie non négligeable de cette charge se trouvant piégée sur les terrasses par effet peigne de la végétation).

La dynamique de la Thio pourrait donc être essentiellement une dynamique de fines (transport par suspension) qui seraient apportées depuis les creeks de façon non négligeable pour se déposer sur les terrasses (un dépôt accentué par effet peigne de la végétation), ainsi qu'à l'estuaire. Dans ce scénario, les sédiments grossiers de la Thio ne seraient mobilisés que lors des crues extrêmes (cyclones).

Pour préciser la connaissance du transport en suspension, l'approche consistant à utiliser des capteurs in situ a été mise en œuvre selon une méthodologie présentée au paragraphe 6.1.4.1. (RSF). Ces capteurs ont permis d'échantillonner deux événements de crue de faible intensité (<200 m³/s) entre 2015 et 2017. Les flux spécifiques mesurés pour ces petites crues sont de l'ordre de 10 t/km² tandis que le flux spécifique de MES estimé pour la crue de 2015 est de 1000 t/km² (crue de période de retour estimée à 20 ans). Cette dernière estimation devra cependant être validée par des mesures directes des concentrations.

4.2. LES MATIÈRES EN SUSPENSION

Un travail spécifique sur les sédiments en suspension (MES) a été mené en trois phases complémentaires visant à déterminer l'origine des sédiments en suspension par traçage isotopique, à quantifier le colmatage du lit de la rivière Thio et ses affluents et à estimer les flux de MES à l'exutoire.

4.2.1. TRAÇAGE DES MATIÈRES EN SUSPENSION

Auteurs : V. Sellier et O. Evrard (LSCE-CEA), O. Navratil, L. Nemoadjou, G. Mériaux, (Unv. Lyon 2)

La qualification des matières en suspension transportées par la Thio et ses affluents a consisté à appliquer des méthodes de traçage (*fingerprinting*) avec l'objectif de tenter d'évaluer l'origine des MES dans le bassin versant, à savoir les sédiments d'origine minière (ou déchets miniers) vs. les sédiments provenant d'autres sources sédimentaires (feux, glissement de terrain naturels).

Ces méthodes reposent sur l'analyse d'un ensemble de propriétés physiques et chimiques conservatives tant au sein des sédiments que de leurs sources potentielles. La capacité d'une ou plusieurs de ces propriétés à discriminer les sources entre elles permet alors par le biais d'un modèle de mélange d'estimer la contribution relative de chacune de ces sources.

Les matériels utilisés et les méthodes mises en œuvre (spectrocolorimétrie, fluorescence X, spectrométrie gamma, géochimie, activité des radionucléides sont détaillés au paragraphe 5.1 (RSF).

Le modèle de mélange statistique à deux sources, développé par Laceby and Olley (2015) et basé sur l'Equation 1 a ensuite été utilisé pour quantifier les contributions respectives des sources minières et non-minières dans les sédiments de la rivière Thio.

$$Ax + B(1 - x) = C \text{ (Equation 1)}$$

où A et B intègrent les distributions des paramètres moyens (traceurs) mesurés respectivement dans les sources minières et non-minières, x est la contribution de la source A , et C est la distribution des paramètres moyens (traceurs) modélisée pour les sédiments. Ce modèle a été appliqué via l'algorithme d'Opquest du logiciel Crystal Ball.

Le modèle de mélange a été appliqué aux crues de février 2015 et d'avril 2017 (Fig.25), toutes deux considérées comme des crues décennales avec des débit instantanés maxima enregistrés de 3500 m³. s⁻¹.

Les conclusions apportées sont les suivantes : **les apports des sous-bassins miniers sont les principales sources d'apport sédimentaire arrivant dans la Thio aussi bien pour l'événement de 2015 (68 ± 25 %) que celui de 2017 (84 ± 7 %).**

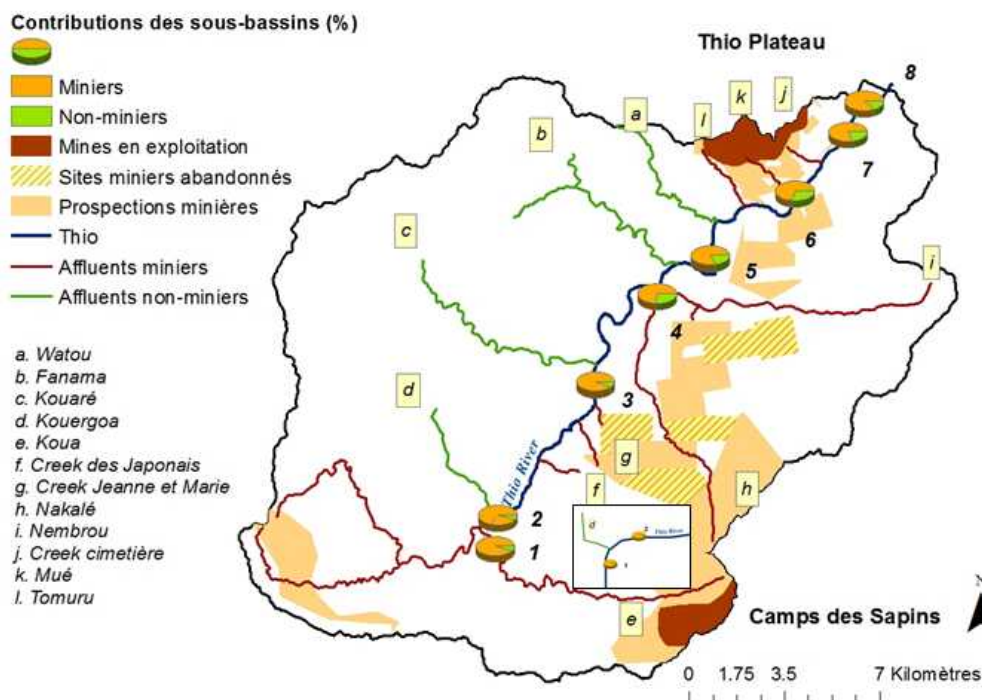


Figure 25 : Carte des contributions relatives des sous-bassins miniers et non-miniers aux sédiments transitant dans la Thio au moment de la crue d'avril 2017 (Cyclone Cook)

Cependant, la distribution spatiale des précipitations peut modifier de façon locale et sporadique l'apport de sédiments dans la Thio. Les précipitations générées par la dépression tropicale de février 2015 et principalement localisées sur le sous-bassin versant de la Kouaré ont permis, par exemple, à ce dernier affluent de contribuer de façon conséquente aux apports sédimentaires. Bien que cet affluent contribue aux apports sédimentaires, les apports en provenance des sous-bassins miniers dominent largement en aval du bassin versant et à l'estuaire avec l'apport des affluents miniers (Creek cimetièrre, Tomuru, Mué) qui drainent la mine Thio Plateau.

4.2.2. CARACTÉRISATION ET QUANTIFICATION DU COLMATAGE DE LA THIO ET DE SES AFFLUENTS

Auteurs : O. Navratil, L. Nemoadjou, G. Mériaux, C. Legout (Unv. Lyon 2)

Cette section porte sur l'évaluation de la quantité de fines dans le système, c'est-à-dire le colmatage du substrat grossier, qui peut être mis en suspension lors des cyclones majeurs comme des crues fréquentes, à des intensités différentes. La question de la distribution spatiale de ces fines, de leur composition chimique et de leur origine (minier/non minier) et en particulier l'évolution de ce colmatage de l'amont vers l'aval de la rivière Thio est également abordée ici.

Le travail est effectué sur des sédiments prélevés sur les tronçons de la rivière et ses affluents. La mesure de la quantité de sédiments fins par volume de sédiments prélevés sur les bancs de la rivière en kg/m^2 permet d'estimer la fraction fine contenue.

Différentes analyses réalisées sur les sédiments prélevés, telles que granulométrie laser, fluorescence X (teneurs en métaux), analyse de la couleur sur la fraction $< 63 \mu\text{m}$ des sédiments (origine des sédiments) permettent une caractérisation et une évaluation de la variabilité spatiale de cette fraction fine.

Les résultats montrent que la concentration des fines dans le lit de la Thio et ses creeks varie de 2,4 à $50,6 \text{ kg/m}^3$ (Fig. 26). Le cumul des sédiments fins sur le réseau hydrographique de la Thio est estimé à 8 500 tonnes en considérant une épaisseur de charriage de 10 cm en moyenne sur les cours d'eau.

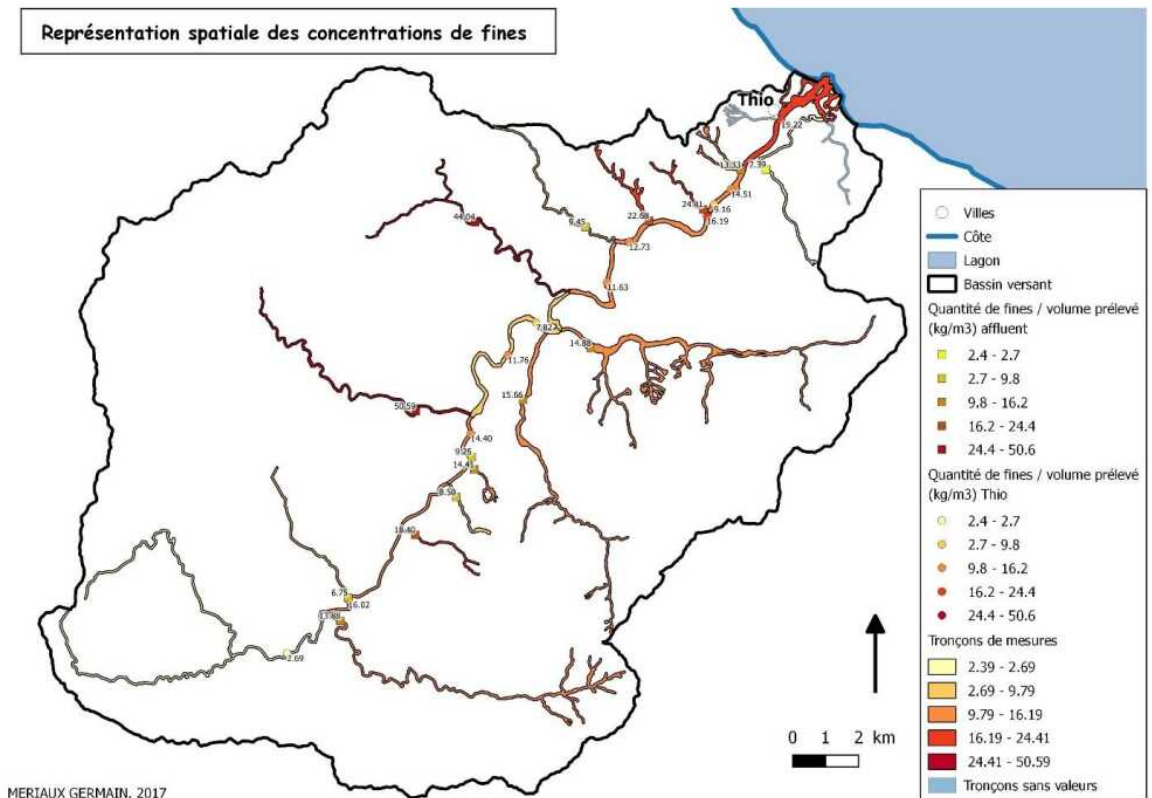


Figure 26 : Variabilité spatiale des quantités de fines dans les creeks et sur la Thio

Les stocks de fines déposées et potentiellement remobilisables sont importants. Ce colmatage est essentiellement contrôlé par les bassins miniers. Toutefois pour les crues de 2015, les bassins non miniers (Fanama et Kouaré) ont aussi fortement contribué à la production de MES en raison de la localisation des pluies sur ces bassins lors de ces événements.

4.2.3. CONCENTRATIONS ET FLUX DE MATIÈRES EN SUSPENSION À L'EXUTOIRE DE LA THIO

Une station environnementale de mesure à l'aval de la Thio, en place depuis 2015, permet de mesurer la hauteur d'eau et la turbidité à un pas de temps de 10 minutes. Cette station de mesure a permis de réaliser des sédigrammes et hydrogrammes sur la période 2015-2018 avec toutefois de nombreuses lacunes. Les flux spécifiques mesurés pour les petites crues sont de l'ordre de 10 t/km² tandis que le flux spécifique de MES estimé pour la crue de 2015 est de 1000 t/km² (période de retour estimée à 20 ans). Cette dernière estimation devrait cependant être validée par des mesures directes des concentrations.

5. PERCEPTION DES HABITANTS ET ACCEPTATION SOCIALE DES TRANSFORMATIONS ENVIRONNEMENTALES

Auteurs : C. Sabinot, L. Gosset, A. Pidjot (IRD), E. Worliczek

Dans un contexte d'engravement des rivières où les phénomènes d'hypersédimentation se déploient jusqu'à l'interface terre-mer, l'objectif de ce volet était, d'une part, de décrire et d'analyser l'évolution des perceptions des transformations de l'environnement par la population et de les spatialiser, et d'autre part, de décrire et analyser les changements dans les activités des populations liées au lagon et à l'embouchure. Ce travail correspond à la section 6 (RSF).

Les vécus, les représentations et les perceptions des habitants de la commune vis-à-vis du sur-engravement des creeks et de la Thio et de l'hypersédimentation du delta sont très variés. Un point commun les relie cependant, celui de l'association systématique des inondations aux transformations géomorphologiques des cours d'eau et de l'estuaire de la Thio.

La mine est considérée par les habitants comme responsable des inondations de grande ampleur qui se produisent depuis le milieu des années 1970 et plus particulièrement, depuis le cyclone Alison (1975). Ce dernier est perçu comme un moment clef pour les habitants, puisqu'en accélérant un processus d'érosion déjà en cours, il a également amené la pollution à laquelle les habitants font souvent référence. Ceux-ci associent le sur-engravement et l'hypersédimentation du delta à des changements physiques, géomorphologiques, écologiques, sociaux et culturels, ainsi qu'à des risques de santé publique.

Un focus sur les dépôts de boue a été fait pour mieux appréhender quelles étaient les conséquences spécifiques dues à la boue pour les tribus (épaisseur des dépôts, qualité, circonstances du dépôt). Ce focus révèle que les dépôts de boue décrits par les habitants sont plus importants vers l'estuaire que pour les tribus de la chaîne et sont qualifiés selon leur couleur, leur quantité et leur qualité (mélange de terre et minéral). Les différents volets de la restitution des entretiens ont été consignés dans une série de tableaux récapitulatifs qui restituent tout d'abord de façon synthétique les éléments du contexte général et des enjeux spécifiques aux différentes tribus (Cf. section 6 (RSF)).

Les réponses apportées par la population montrent que face à une problématique commune, les effets de l'engravement et de l'hypersédimentation sont spécifiques à chaque tribu et qu'ils dépendent largement de critères tels que la morphologie du territoire, la présence et la proximité de cours d'eau, l'organisation spatiale, la présence d'une exploitation minière à proximité de la tribu, etc. Tout comme les effets de l'engravement sont à appréhender de manière localisée selon les tribus, il est important de souligner qu'ils sont également différents au sein des tribus elles-mêmes.

Les conséquences concernant différents aspects de la vie des populations ont ensuite été rapportées (conséquences sur le foncier, sur les cultures vivrières) qui démontrent des impacts forts. Ces derniers varient selon qu'ils concernent les tribus de la chaîne ou de la zone littorale. À titre d'exemple de cette variabilité, nous citerons le fait que, d'une manière générale, le foncier habitable et cultivable est plus fortement impacté dans les tribus de l'estuaire. Cependant, bien qu'il y ait plus de foncier disponible dans les tribus de la chaîne, d'autres facteurs sont à prendre en compte. Pour la tribu de Saint-Paul par exemple, le foncier disponible cultivable non inondable se situe sur le GDPL de Shan Poro, c'est-à-dire relativement loin par rapport aux habitations des personnes habitant toujours près de la maison commune (les champs les plus proches se situent à plus de 2,5 km en passant par la route). De plus, ces personnes étant majoritairement des personnes âgées (plus de 60 ans), le déplacement vers ces zones de culture devient complexe. Elles cultivent d'ailleurs autour de chez elles. De plus, même si le foncier non inondable est accessible pour cette tribu, son utilisation pour les habitations amène une reconfiguration importante de l'organisation spatiale au sein de la tribu.

D'autres conséquences ont été analysées qui sont détaillées à la section 6 (RSF). Elles portent sur les représentations des habitants à propos des cours d'eaux et leur perception des risques, les enjeux pour le futur, les enjeux sur les zones de pêche et sur le maintien d'une pratique familiale nourricière.

5.1. REGARDS CROISÉS ENTRE SAVOIRS SCIENTIFIQUES ET SAVOIRS LOCAUX

Il est apparu intéressant à l'ensemble des partenaires du programme IMMILA d'esquisser au terme du travail réalisé un dialogue entre les vécus et les représentations des populations avec les analyses des transformations environnementales réalisées par les experts des différentes disciplines. Ces regards croisés sont présentés ci-après.

5.1.1. LA CONFRONTATION DES SAVOIRS, VÉCUS ET REPRÉSENTATIONS LOCALES AUX ANALYSES SCIENTIFIQUES DU SUR-ENGRAVEMENT DES CREEKS ET DE LA THIO CONCERNANT LES DÉCHETS MINIERS, LA CAILLASSE ET LES SÉDIMENTS CHARRIÉS

Les travaux d'enquête montrent que, d'après les habitants, les creeks situés en aval des zones de mise en verse des déchets miniers sont particulièrement sujets au phénomène de sur-engravement. Le cyclone Alison de 1975 est une date clef qui a marqué les esprits. Il correspond dans les mémoires aux premières grosses inondations associées à ce que les habitants nomment la pollution et attribuent à l'histoire minière. L'analyse historique des formes fluviales à partir des photographies aériennes d'archive montre néanmoins que dès le milieu des années 1950, de puissantes vagues sédimentaires étaient déjà en place sur la Thio et ses grands affluents miniers (Néburu, Nakalé). Même si le cyclone Alison a laissé une empreinte morphologique remarquable dans le paysage, encore nettement visible aujourd'hui (comme par exemple des bancs perchés à patine sombre sur la Néburu), les analyses historiques montrent que l'origine du sur-engravement est antérieure aux plus vieilles photographies aériennes disponibles (1954). Au moment des cyclones ou des fortes pluies, certains cours d'eaux débordent et inondent en partie les tribus. Les creeks peuvent aussi renforcer le courant de la « grande rivière », la Thio. À l'inverse, certains creeks engravés et asséchés une bonne partie de l'année ne débordent pas pendant les événements météorologiques intenses. C'est le cas du creek de *xwá perüpéé* à Saint-Paul par exemple. Chaque cours d'eau a donc un fonctionnement particulier, et il convient d'identifier avec les habitants des différentes tribus et du village, quels sont ceux qui présentent un risque important d'inondation ou d'érosion de berge, mettant ainsi en péril les aménagements, les biens et les personnes.

○ Récit partagé par les habitants rencontrés

Les habitants ont fréquemment raconté l'histoire de la montée d'embarcations dans la rivière jusqu'au col de Saint-Pierre. Certains habitants ont parlé de pirogues, d'autres de chaloupes ; toujours est-il que ce récit est devenu une référence pour évoquer l'état de la rivière par le passé et ainsi montrer la différence avec son état actuel. Il s'agit d'une histoire transmise de générations en générations et qui retrace des faits situés autour du début du 20e siècle. Si cette histoire est relatée par la plupart des personnes rencontrées, aucune d'entre elles n'a observé ces déplacements en amont.

La morphologie de la Thio avant le dépôt des premières vagues sédimentaires minières n'a pas pu être reconstituée à partir des photographies aériennes historiques, dans la mesure où la rivière montrait déjà en 1954 un lit très engravé, beaucoup plus large qu'aujourd'hui. Il est en revanche possible d'imaginer qu'avant les premières phases d'engravement, la rivière présentait un lit à méandres, avec un tirant d'eau plus important et une largeur à pleins bords plus faible par rapport à la situation actuelle. On voit d'ailleurs que les évolutions morphologiques récentes sur la Thio se traduisent par un retour vers ces conditions « naturelles », avec une dynamique de rétraction et d'incision des bandes actives bien marquée. Le retour à la situation « naturelle » est beaucoup moins avancé sur les affluents (Néburu, Nakalé), qui subissent encore des apports en sédiments grossiers importants du fait de leur proximité avec les sites miniers.

La transformation du lit des rivières et de leurs berges par le dépôt de « caillasse », la diminution généralisée de la profondeur des creeks et de la Thio entraînent un encaissement et le remplissage des « trous d'eau » diminuant de manière générale leur valeur vivrière, et ayant une influence sur les repères coutumiers et culturels (certaines espèces de poissons comme le mulot noir ne sont plus présentes dans les coutumes). D'après les habitants, l'engravement en sédiments grossiers a entraîné un

assèchement entier ou partiel (certaines zones et petits bassins peuvent perdurer), ce qui a nécessairement des impacts sur les écosystèmes inféodés à ces milieux.

Les transformations des rivières et de l'estuaire sont souvent associées à des histoires transmises entre les générations. D'autres, portant sur des expériences vécues par les habitants rencontrés, permettent d'estimer la variation de la profondeur de la rivière, le déplacement de son lit et l'effondrement de ses berges, la hauteur des crues (identifiée par les laisses de crue, repères visibles sur les ponts ou dans les maisons) ; mais aussi indiquent la diminution de la ressource en poissons. Ces récits apparaissent alors comme des supports de mémoire pour dire l'état des rivières. Quelques illustrations de ces transformations sont reprises dans le récit suivant.

○ Récit de Saint-Michel

Un homme racontait une anecdote de son enfance, dans les années 70, sur l'importance des prises à la pêche. Il était parti pêcher avec sa famille dans le trou d'eau avant l'embouchure de la Fanama. Ils avaient posé la senne à la tombée de la nuit et avaient prévu de rester camper sur place. Or, peu de temps après, ils avaient dû rentrer chez eux car le filet était déjà plein de poissons.

Les discours des habitants relatifs à l'évolution de l'état de la rivière, portent sur deux types de transformations qui s'entremêlent. Elles reposent sur deux temporalités spécifiques : celle de l'événement (un temps court) et celle de la durée (temps long). Ces transformations font écho respectivement à des phénomènes différents : les cyclones et les fortes pluies générant des inondations et le changement climatique. Même si les cyclones et des fortes pluies sont davantage associés à des transformations sur le temps court, leur répétition et l'accumulation de sédiments peut amener les habitants à les évoquer également sur le temps long

5.2. LA CONFRONTATION DES PERCEPTIONS ET DES ANALYSES SCIENTIFIQUES DE L'HYPERSEDIMENTATION DES CREEKS ET DE LA THIO, JUSQU'AU DELTA : LES BOUES, LA POLLUTION ET LES MATIÈRES EN SUSPENSION (MES)

La Thio aval et la zone de l'estuaire seraient, d'après les habitants des zones concernées, particulièrement touchées par l'accumulation de particules fines et de sables, entraînant une hypersédimentation du delta. D'après les descriptions des habitants, l'observation de la présence de ces particules remontent au milieu des années 60 et se serait systématisée avec les événements météorologiques des années 70 à 90. Les analyses diachroniques d'imagerie aérienne menées sur le delta ont, en effet, identifié une progradation maximale de 350m sur la période comprise entre 1870 (début de l'activité minière) et 2018 (Schneider et al., 2018). D'après les habitants, le phénomène d'inondation serait accentué sur la Thio aval, en raison de la confluence de plusieurs cours d'eau, et pourrait-être exacerbé dans certains cas lors de la concomitance avec de forts coefficients des marées. Par exemple, ce phénomène aurait été observé à la confluence de la Poudeux à Saint-Philippo 1. Toutefois, aucune information ou donnée ne permettent à ce stade de mettre en évidence l'importance de ces marées vis-à-vis du phénomène d'inondation observé, mis à part le cas de crues survenant en période de surcote cyclonique mais ce phénomène n'est pas renseigné scientifiquement à Thio.

D'autre part, le manque de données historiques quant à l'occurrence des inondations dans le delta de la Thio empêche d'attester clairement si l'augmentation des inondations récentes dans le delta est liée directement à l'activité minière ou à une augmentation des précipitations et de leurs intensités. À notre connaissance, aucun travail d'enquête poussé avec des levés des plus hautes-eaux n'a été réalisé sur Thio. Ce manque de connaissance renforce la controverse sur le sujet de l'origine anthropique ou climatique de l'augmentation de la fréquence des inondations dans le delta.

Bien que la source supposée d'hyper-sédimentation soit perçue comme principalement associée à l'activité minière, les habitants considèrent aussi que d'autres agents érosifs peuvent y contribuer. Ils identifient les feux de brousse et la présence des cochons et des cerfs comme des facteurs de vulnérabilité des sols face à l'aléa érosion (par ex. par la déstabilisation des berges, ou les glissements de terrain). Les analyses de traçage sédimentaire menées dans le cadre d'IMMILA et de la thèse de Virginie Sellier (thèse CEA-LSCE) ont cherché à caractériser la fraction de sédiments provenant d'une érosion de terrains miniers et la fraction non-minière. Les analyses de traçage géochimiques des

sédiments fins mises en œuvre sur le bassin de Thio montrent que lors d'une dépression tropicale (2015) et pour un cyclone (Cook, 2017), les déchets provenant des terrains miniers sous la forme de MES représentent plus de 80 % des MES déposées dans le delta, et plus de 50 % en moyenne déposés sur le bassin de la Thio (Sellier et al., 2019). Ces résultats montrent le rôle déterminant de l'apport des terrains miniers sur l'hypersédimentation du delta lors des cyclones et dépressions tropicales.

La couleur de l'eau est un indicateur important pour les habitants, leur permettant de juger rapidement si les sédiments fins sont des déchets miniers ou issus de l'érosion des versants en lien avec d'autres processus (érosion naturelle, feux, cerfs). Le fait qu'un creek « coule rouge » est un critère très utilisé localement pour attester du mauvais fonctionnement ou de la mauvaise gestion des eaux pluviales sur mines. Par exemple, en 2013, seule la première crue aurait été très chargée en sédiments fins et rouges, alors que la seconde l'aurait été beaucoup moins. Les travaux de Virginie Sellier ont permis de montrer une convergence interprétative à ce sujet. Les différences de couleurs observées entre les échantillons de terrains miniers et non-miniers par spectrorimétrie peuvent être utilisées comme technique de traçage sédimentaire. En effet, des sédiments présentant une couleur rouge-orangée seront davantage associés aux sources provenant de terrains miniers alors que ceux présentant une teinte grise seront davantage associés aux sources de substrats non-miniers.

Au-delà de la seule problématique d'inondation déjà évoquée précédemment, de nombreuses transformations des creeks, de la Thio et de son estuaire sont évoquées par les habitants, en lien avec les sédiments fins. Tout d'abord, la transformation de la forme de l'embouchure et l'envasement progressif de la Thio aval ont été identifiés depuis les années 90. Des témoignages rapportent un plus récent envasement de la partie basse de la Thio (vers 2010). Les différentes approches de cartographie diachronique de la partie aval de la plaine alluviale sont en accord avec ces observations.

● Exemple de récit de Saint-Phillipo 1

Une habitante indique que dans les années 1970-80, son mari allait à la pêche en mer avec son bateau à moteur en partant de la tribu. Actuellement le niveau d'eau est trop bas pour qu'une barque à moteur ne puisse passer. De plus, la présence de caillasse sur le lit de la rivière n'était pas visible dans ces années-là.

D'après les populations, mais également d'après les hydromorphologues, les lits des creeks engravés accumulent aussi d'importantes quantités de sédiments fins entraînant alors un colmatage important du lit des rivières (que l'on peut facilement mettre en évidence en grattant le fond des rivières). Des analyses menées sur la Thio et ses affluents ont montré que les quantités de sédiments fins colmatant les lits des rivières sont très importantes. Elles sont estimées à 8 000 tonnes sur la Thio et ses affluents (cf. § 4.3). Ces sédiments déposés dans le lit de la Thio et ses marges alluviales constituent des stocks hérités très importants pouvant être mobilisés lors de cyclones pendant encore de nombreuses années.

D'importants dépôts de sédiments fins rouges sont aussi observés par les habitants dans la plaine deltaïque et la plaine alluviale des creeks et cours d'eau. Les dépôts très importants de sédiments fins qui ont eu lieu à la suite du cyclone Alison (1975) restent présents dans toutes les mémoires : jusqu'à un mètre de boue déposée à certains endroits et près de 50 cm sur le delta. Ces dépôts ont entraîné une baisse de la productivité agricole et dans certains cas, un abandon progressif des champs. Les carottages sédimentaires réalisés dans la plaine deltaïque rapportent un dépôt de 20 cm à 1 m de sédiments au-dessus du toit de galets. Une carotte sédimentaire réalisée dans l'apex du delta (cf. travaux de Virginie Sellier, section 5 (RSF)) montre qu'une sédimentation de l'ordre de 80 cm depuis le cyclone Alison (1975) a eu lieu, soit une sédimentation moyenne de 2 cm/an ou 5 cm/cyclone. Ces analyses concordent avec les résultats des enquêtes. Cette sédimentation serait constituée en 1975 de plus de 80 % de déchets miniers. Cette fraction tend vers 60 % actuellement.

D'après les populations, ces transformations environnementales vont de pair avec des changements écologiques et posent de nombreuses questions d'ordre de santé publique :

- L'arrivée ou la disparition de végétaux : roseaux, bambous, jameloniers qui sont transportés et implantés dans différents endroits ;
- La diminution de la quantité de poissons et autres ressources présentes dans la zone récifale, dans la Thio et sur ses berges ainsi que la crainte de leur toxicité potentielle (particulièrement en ce qui concerne les crabes) ;
- La diminution de la production agricole et pour certains, la crainte de la toxicité des produits ;

- La baisse de qualité visuelle (taille, apparition de certaines caractéristiques : tâches noires sur les bananes, etc.) et gustative de certains aliments (ex. igname, manioc).

Aucune mesure n'a été réalisée dans le cadre de ce projet sur les volets écologique, éco-toxicologique ou en matière de santé publique. Ce seraient des pistes importantes pour la suite. Elles étaient hors sujet dans le cadre d'*IMMILA* mais elles demandent des réponses scientifiques claires pour satisfaire à la demande des populations locales.

Les échanges avec la population de Thio que le présent rapport a souhaité mettre en lumière à travers le dernier volet du paragraphe de synthèse (regards croisés) ont été très riches. Ils ont permis, grâce aux temps d'échanges de paroles entre sachants scientifiques et locaux, une meilleure compréhension mutuelle, un enrichissement réciproque et une connaissance améliorée des phénomènes naturels et anthropiques actifs dans le bassin versant de la Thio.

Pour le consortium UNC (ISEA-EA 7484), IRD (UMR 228 ESPACE-DEV), IRSTEA (Unité ETNA), CEA (LSCE-CEA – UMR 5600), BRGM, CNRS (UMR M2C Caen), Rouetis R&D, EW Consultant.

Pr. Michel ALLENBACH

Le site interopérable du programme *IMMILA*

Les données et métadonnées produites par le programme sont intégrées sur le portail scientifique interopérable de l'UNC. Elles peuvent être consultées en ligne en utilisant le lien : <http://grimm.univ-nc.nc/geoportail/> puis en se connectant sur le serveur CNRT et en déroulant le menu *IMMILA*.

