

CNRT "Nickel et son environnement"

---

# Rapport scientifique

## Edition 2016

### **BASSINS VERSANTS**

Fonctionnement des petits  
bassins versants miniers

Volume I - Rapport de synthèse



# Rapport Scientifique 2015

## FONCTIONNEMENT DES PETITS BASSINS VERSANTS MINIERS

### VOLUME I - RAPPORT DE SYNTHÈSE



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

**CNRT**  
**NICKEL**  
& son environnement

Avril 2015



*Le présent rapport (Volume I) est une synthèse des différentes contributions produites par les partenaires du Consortium scientifique pour répondre aux questionnements posés par la problématique du « Fonctionnement des petits bassins miniers ». Les résultats du programme ont été restitués en Décembre 2014. Le volume II complète cette synthèse en présentant les rapports thématiques.*

# « FONCTIONNEMENT DES PETITS BASSINS VERSANTS MINIERES »

## Rapport de synthèse

Avril 2015

Ouvrage collectif coordonné par Michel ALLENBACH (Université de Nouvelle-Calédonie - Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement)

Pour le consortium UNC-IRSTEA-IRD- Univ.REUNION-A2EP-METEO-FRANCE.NC

### Auteurs

Allenbach Michel (UNC), Andreoli Rémi (BLUECHAM SAS), Cavarero Virgil (Météo France NC), Caze Nicolas (A2EP), Cluzel Dominique (UNC), Couturier Arnaud (UNC), De Boissieu Florian (Océanide), Despinoy Marc (IRD), Dumas Pascal (UNC), Flouvat Frédéric (UNC), Gunkel-Grillon Peggy (UNC), Hoibian Thierry (UNC), Jeanpert Julie (SGNC), Join Jean-Lambert (Univ. Réunion), Kranitz Thierry (Météo France NC), Mangeas Morgan (IRD), Mathys Nicolle (IRSTEA), Métayer Cyril (UNC), Meyer Michael (UNC), Recking Alain (IRSTEA), Richard Didier (IRSTEA), Rouet Isabelle (UNC), Selmaoui-Folcher Nazha (UNC), Temau Tehei (Météo France NC), Touraivane (UNC), Wattelez Guillaume (UNC), Yu Olivia (Météo France NC).

S'ajoutent à ces auteurs les stagiaires du programme accueillis au sein des équipes contributrices, dont les noms suivent : Aksoy Muhammed, Allouin Pierre-Erick, Bazire Nicolas, Carpentier Laureen, Chillou Audrey, Derooy Pierre-Henri, Freydier Perinne, Guyonneau Antoine, Leverman Julia, Moesch Joan, Motto Alexandre, Mu Chengcheng, Navarrot Lucie dont les travaux constituent une importante documentation.

### REVISION DU DOCUMENT

| Réf.    | CSF Fonctionnement des petits bassins versants miniers 15 Mai 2010 |                               |                           |                    |
|---------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Version | Date                                                               | Rédacteur(s)                  | Qualité du rédacteur(s)   | Révision pour CNRT |
| VF      | 30/03/2015                                                         | Michel Allenbach (UNC - PPME) | Coordinateur du programme | F. Bailly CNRT     |

### CITATION DU DOCUMENT

**Mots clés** : bassins versants, transport solide, hydrologie, modélisation, métaux, instrumentation, télédétection, hydrogéologie

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

M. Allenbach et coll. (2015) – *Volume I - Rapport de Synthèse*. Programme « Fonctionnement des petits bassins versants miniers ». CNRT « Nickel & son environnement. 55 pages.



# SOMMAIRE

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREAMBULE.....</b>                                                                                                | <b>8</b>  |
| <b>2. PRESENTATION GENERALE DU PROGRAMME.....</b>                                                                       | <b>9</b>  |
| 2.1. LES OBJECTIFS PRINCIPAUX DU PROGRAMME .....                                                                        | 9         |
| 2.2. LE CONSORTIUM SCIENTIFIQUE .....                                                                                   | 9         |
| 2.3. ROLE DES PARTENAIRES DU CONSORTIUM ET COMPLEMENTARITE DE LEURS ACTIONS ...                                         | 10        |
| 2.4. LES BASSINS VERSANTS ETUDIES .....                                                                                 | 13        |
| 2.5. STRUCTURATION DU PROGRAMME SCIENTIFIQUE SUIVI .....                                                                | 14        |
| <b>3. VOLET 2 : LES PRINCIPAUX RESULTATS DU PROGRAMME .....</b>                                                         | <b>16</b> |
| 3.1. L'HYDROLOGIE MINIERE, CŒUR DU PROGRAMME .....                                                                      | 16        |
| 3.1.1. <i>Eléments contextuels.</i> .....                                                                               | 16        |
| 3.1.2. <i>Le pilotage scientifique et les travaux de l'unité ETNA de l'IRSTEA Grenoble en hydrologie minière.</i> ..... | 18        |
| 3.1.3. <i>Les éléments forts des résultats de l'IRSTEA.</i> .....                                                       | 19        |
| 3.2. LES MODELISATIONS .....                                                                                            | 26        |
| 3.2.1. <i>Présentation des approches diversifiées mises en œuvre.</i> .....                                             | 26        |
| 3.2.2. <i>Les modélisations à l'échelle des massifs</i> .....                                                           | 27        |
| 3.2.3. <i>Les modélisations à l'échelle des petits bassins versants miniers.</i> .....                                  | 34        |
| 3.3. LE PROGRAMME DE TRANSFERT ET DE FORMATION .....                                                                    | 37        |
| 3.3.1. <i>Le groupe « Instrumentation » et les séminaires de formation</i> .....                                        | 37        |
| 3.3.2. <i>Le guide méthodologique des bonnes pratiques de l'hydrologie minière</i> .....                                | 38        |
| 3.4. LES AUTRES RESULTATS DU PROGRAMME .....                                                                            | 39        |
| 3.4.1. <i>Etude des propriétés physico-chimiques des MES.</i> .....                                                     | 39        |
| 3.4.2. <i>Evolution de la chimie des eaux.</i> .....                                                                    | 43        |
| 3.4.3. <i>Hydrogéologie. Les relations eaux superficielles/eaux souterraines.</i> .....                                 | 45        |
| 3.4.4. <i>L'apport des lames d'eau radar.</i> .....                                                                     | 47        |
| 3.4.5. <i>Mise à disposition des données et produits du programme.</i> .....                                            | 49        |
| <b>4. CONCLUSIONS - ANALYSE SYNTHETIQUE ET CRITIQUE DES RESULTATS PRODUITS.....</b>                                     | <b>51</b> |
| 4.1. LE CONSTAT AU TERME DU PROGRAMME .....                                                                             | 51        |
| 4.2. LES PERSPECTIVES .....                                                                                             | 54        |
| 4.3. CONCLUSION GENERALE .....                                                                                          | 55        |
| <b>5. DOCUMENTS THEMATIQUES .....</b>                                                                                   | <b>56</b> |

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1. Les massifs miniers concernés par le programme - <i>Modifié d'après la carte « sites d'activité du Nickel » (Dimenc, 2011)</i> .....                                                                           | 13 |
| Figure 2 : Le ruissellement sur site minier et son impact en aval.....                                                                                                                                                   | 15 |
| Figure 3 : Qualification et quantification des flux liquides et solides .....                                                                                                                                            | 17 |
| Figure 4 : Station KN15 – Goro.....                                                                                                                                                                                      | 21 |
| Figure 5 : Station Coco amont (SW35) KNS.....                                                                                                                                                                            | 21 |
| Figure 6 : Povio, seuil aval en V - Poum SLN .....                                                                                                                                                                       | 21 |
| Figure 7 : Station Poro amont en cruCFTMC.....                                                                                                                                                                           | 21 |
| Figure 8 : Station type pour le suivi des débits et des transports en suspension (MES) .....                                                                                                                             | 22 |
| Figure 9 : Planche photographique montrant les conditions de mesure lors d'un évènement fort sur le site de Poro. ....                                                                                                   | 25 |
| Figure 10 : Carte d'occupation des sols avec les zones de changements (rouge).....                                                                                                                                       | 29 |
| Figure 11 : Prototype permettant de suivre l'évolution d'objets d'intérêt à grande échelle. ....                                                                                                                         | 31 |
| Figure 12 : Exemple de zones ayant connu entre 1999 et 2002 une très forte diminution de leur indice de rougeur (un Indicateur d'érosion) et qui ont, en 2002, un fort indice de végétation (bleu). ....                 | 32 |
| Figure 13 : Carte de serpentinsation. On remarquera le changement de serpentinsation avec la rupture de pente entre le plateau latéritique (au Sud) et la semelle serpentinsée (versant Nord plongeant dans la mer)..... | 33 |
| Figure 14 : Carte de la répartition du facteur K à Poro.....                                                                                                                                                             | 35 |
| Figure 15 : Quelques cartes produites par le modèle BLUECHAM SAS .....                                                                                                                                                   | 36 |
| Figure 16 : Séminaire de formation en hydrologie minière (2014) .....                                                                                                                                                    | 37 |
| Figure 17 : Diffractogramme classique des échantillons prélevés. En rouge, vert clair, noir et vert foncé les données de la banque JCPS concernant respectivement la Goethite, le Talc, l'Antigorite et le Quartz. ....  | 40 |
| Figure 18 : Abattement des MES dans un des décanteurs proches des bassins emboîtés de Poro...                                                                                                                            | 42 |
| Figure 19 : Schéma de circulation du chrome dans les eaux superficielles en contexte minier .....                                                                                                                        | 44 |
| Figure 20 : Cartographie de l'infiltration potentielle .....                                                                                                                                                             | 46 |
| Figure 21 : Un exemple de résultat des lames d'eau radar. ....                                                                                                                                                           | 48 |
| <i>Lame d'eau corrigée (facteur correctif mensuel) du RADAR de Lifou centrée sur le site de Goro entre le 02/07/2013 14h locales et le 03/07/2013 14h locale et les séries temporelles associées. ....</i>               | 48 |
| Figure 22 : Exemple de graphe des données et d'accès au téléchargement .....                                                                                                                                             | 50 |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Les petits bassins versants miniers intégrés au programme. .... | 20 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|



## LISTE DES ABREVIATIONS

|               |                                                                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A2EP</b>   | Agence pour l'Eau et l'Environnement du Pacifique                                                   |
| <b>CFTMC</b>  | Centre de Formation aux Techniques de la Mine et des Carrières                                      |
| <b>CNRT</b>   | Centre National de Recherche Technologique                                                          |
| <b>DAVAR</b>  | Direction des Affaires Vétérinaires Alimentaires et Rurales                                         |
| <b>DIMENC</b> | Direction des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie                                           |
| <b>ETNA</b>   | Unité de l'IRSTEA - Erosion Torrentielle Neige et Avalanches                                        |
| <b>IPGP</b>   | Institut de Physique du Globe de Paris                                                              |
| <b>IRD</b>    | Institut de recherche pour le Développement                                                         |
| <b>IRSTEA</b> | Institut de Recherche en Science et technologie pour l'Environnement et l'Agriculture (ex CEMAGREF) |
| <b>KNS</b>    | Koniambo Nickel SAS                                                                                 |
| <b>MES</b>    | Matières en suspension                                                                              |
| <b>NC</b>     | Nouvelle-Calédonie                                                                                  |
| <b>PPME</b>   | Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement                                         |
| <b>SIG</b>    | Système d'Information Géographique                                                                  |
| <b>SLN</b>    | Société Le Nickel                                                                                   |
| <b>UMR</b>    | Unité Mixte de Recherche                                                                            |

# 1. PREAMBULE

Le programme « **Fonctionnement des petits bassins versant miniers** » a fait l'objet d'une restitution publique le 2 Décembre 2014. Parallèlement à cette restitution, **un rapport scientifique a été produit**, regroupant **l'ensemble des contributions des différents partenaires du consortium** scientifique. Le lecteur de la présente synthèse pourra utilement s'y référer pour obtenir les éléments d'information dont il pourrait avoir besoin pour compléter ceux qui vont être présentés dans ce rapport, **sous un format volontairement réduit**.

L'objectif du présent document est de **présenter à l'attention prioritaire de la profession et des services techniques des collectivités**, les résultats essentiels que l'on peut dégager des efforts de recherche réalisés dans le cadre du programme, les avancées obtenues, mais aussi les difficultés rencontrées et les actions restant à produire pour conforter les acquis du programme. **Le formalisme propre aux publications scientifiques sera donc volontairement réduit et la présentation ne se veut pas exhaustive des résultats produits par le programme**. Elle gomme volontairement la majeure partie des développements méthodologiques et les raisonnements scientifiques qui seront à rechercher dans le rapport détaillé.

Le rapport de synthèse est articulé en deux volets principaux :

- Le premier est consacré à la présentation générale du programme, de ses acteurs, de leurs rôles respectifs, des zones étudiées et du planning des études tel qu'il a été contractualisé ;
- Le second décrit les résultats essentiels regroupés sous quatre rubriques : l'hydrologie minière, les modélisations, le programme de transfert et de formation, et les autres résultats.

Un court chapitre de conclusion s'efforcera de faire le bilan du programme en précisant les difficultés rencontrées et les pistes conseillées pour tirer un maximum de profits des résultats engrangés.

## 2. PRESENTATION GENERALE DU PROGRAMME

### 2.1. LES OBJECTIFS PRINCIPAUX DU PROGRAMME

L'appel à projet lancé en 2009 par le CNRT « Nickel & son environnement » a posé la problématique des bassins versants miniers en tant que thème d'étude prioritaire dans le cadre de son axe « Nickel & Environnement naturel ».

L'appel à projet (thème 2) spécifique à cet axe visait, d'une part, « **à améliorer la compréhension des mécanismes de fonctionnement** » et d'autre part, « **à quantifier les flux en amont pour une minimisation de l'impact du transport solide en aval, dans les différents contextes géo-morpho-climatiques des petits bassins versants impactés par l'activité minière en Nouvelle-Calédonie** ».

Le constat scientifique en amont de l'appel d'offres a mis en exergue la difficulté existante à caractériser ces processus et les liens entre processus (relations pluies – débits – production et transport sédimentaires) par manque de données quantifiées sur la plupart des grandeurs concernées : pluies, débits liquides (très peu de stations de jaugeage, surtout à l'échelle des petits bassins versants « miniers »), et encore moins de mesures de flux solides, à part quelques valeurs cumulées sur d'assez longues périodes, qu'il est très difficile d'attribuer à tel ou tel épisode de crue. Dans ces conditions, les quelques outils de modélisation hydro-sédimentaire utilisables à l'échelle d'un bassin versant étaient en conséquence quasi inexploitable, en tout cas impossibles à caler et donc, encore moins à valider. La réponse du consortium vise à apporter une base de connaissances sur la problématique posée de la quantification et de la qualification des flux liquides et solides issus des petits bassins versants miniers néo-calédoniens.

### 2.2. LE CONSORTIUM SCIENTIFIQUE

Un consortium scientifique composé de six partenaires s'est constitué pour proposer un programme de recherche :

- L'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC) à travers son EA 3325, le PPME (Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement) ;
- L'IRSTEA, Institut National de Recherche en sciences et Technologies pour l'environnement et l'agriculture (ex CEMAGREF), par le biais de l'unité ETNA basée à Grenoble ;
- L'Institut pour la Recherche et le Développement (IRD), via l'US Espace Nouméa (aujourd'hui devenue UMR 228 Espace-Dev) ;
- L'Université de la Réunion par le biais du LGSR (laboratoire de géosciences), associé à l'UMR-CNRS IPGP 7154 (Unité Mixte de Recherche – Centre National de la Recherche Scientifique Institut de Physique du Globe) ;
- Le bureau d'études néo-calédonien A2EP (Agence pour l'eau et l'environnement du Pacifique) ;

- La Direction Interrégionale de Météo-France en Nouvelle-Calédonie et à Wallis et Futuna.

### 2.3. ROLE DES PARTENAIRES DU CONSORTIUM ET COMPLEMENTARITE DE LEURS ACTIONS

Le portage et la coordination du projet ont été assurés par le PPME – EA 3325. Son intervention scientifique a été axée sur la caractérisation physico-chimique des flux sédimentaires, la modélisation des processus du cycle sédimentaire (érosion, transport, sédimentation en amont et aval des petits bassins versants miniers) et la structuration et mise à disposition des bases de données collectées par le programme.

L'unité ETNA de l'IRSTEA Grenoble a assumé le pilotage scientifique du consortium scientifique constitué et elle a animé, en synergie avec le PPME, le comité de pilotage qui a été mis en place pour suivre l'avancement du programme. Outre le pilotage scientifique du programme et l'animation du comité de pilotage, la contribution de l'IRSTEA Grenoble a porté plus spécifiquement sur de l'assistance technique pour le choix et l'instrumentation des bassins et sites de mesure, la mise en œuvre de modélisation hydro-sédimentologique et sur une participation à la formation des hommes et à l'appropriation par le pays (transfert) des compétences dans un domaine crucial pour son économie.

L'UMR 228 Espace-Dev de l'IRD Nouméa a pris en charge le volet acquisition et traitement de l'imagerie aérienne et satellitaire du projet avec l'objectif principal d'étudier les potentialités de la télédétection à technologie passive sur les problématiques de morphologie dynamique fluviale en Nouvelle-Calédonie.

L'Université de la Réunion (UMR IPGP 7154) s'est vu confier la responsabilité du volet hydrogéologique (relations eaux superficielles/eaux souterraines) du programme.

A2EP est intervenu pour produire une documentation préparatoire à l'élaboration d'un guide méthodologique à finaliser après la restitution du programme par une mise en synergie des compétences d'IRSTEA, de l'UNC et des services territoriaux compétents en la matière (DAVAR et DIMENC). Cette documentation porte, d'une part, sur l'acquisition et la bancarisation des mesures de terrain (hydrologie, qualité des eaux, transport solide) et, d'autre part, sur la définition d'un schéma conceptuel pour l'organisation des données pour un réseau de mesures adaptées au contexte de la Nouvelle-Calédonie.

Météo France NC a fait évoluer sa contribution vers l'analyse de l'apport qui pourrait résulter de l'utilisation de la lame d'eau radar calibrée par Météo-France en Nouvelle-Calédonie dans le contexte opérationnel d'un service de prévision à fournir pour les mineurs et *a posteriori*, pour estimer les précipitations dans les zones sans mesure directe par pluviomètre ou encore dans le comblement des lacunes pouvant exister dans les séries de données enregistrées.

De nombreux partenaires sont donc associés au sein du programme **qui impliquait une réponse pluridisciplinaire** pour répondre aux objectifs scientifiques de l'appel à projet. La volonté était d'apporter une base de connaissances sur la problématique posée de la quantification et de la qualification des flux liquides et solides issus des petits bassins versants miniers néo-calédoniens.

**Cette réponse pluridisciplinaire ne se veut pas être un simple collage d'approches, mais une réflexion intégrée pour apporter des réponses concrètes aux problèmes posés par la gestion de l'eau sur les sites miniers.** Chacune des contributions apporte sa pierre à la construction de cette base de connaissances, soit au plan de la quantification des flux, soit au plan de leur qualification avec des objectifs appliqués complémentaires des avancées scientifiques plus fondamentales que se doit d'apporter un programme de recherche. Les alinéas suivants ont pour objet de présenter quelques aspects de cette interdépendance des travaux réalisés et de leur intérêt appliqué.

Le socle de cette base de connaissances est naturellement la base de données hydrologiques compilée sur le site de référence de Poro, mais également sur tous les bassins versants équipés par les mineurs et intégrés au programme. C'est l'IRSTEA qui a piloté ce travail. **L'hydrologie minière est indiscutablement au cœur du programme et c'est à ce titre qu'une part non négligeable des résultats qui seront présentés dans ce rapport de synthèse lui est consacrée.** Ce sont les données mesurées in situ et validées qui peuvent permettre de répondre aux questionnements qui se posent sur l'optimisation du dimensionnement des ouvrages de gestion de l'eau et des flux de MES issus des sites miniers. **Connaissant les flux, on pourra dimensionner les ouvrages et ce programme avait pour objet premier de mesurer ces flux.** Un volet spécifique relatif au contexte hydrogéologique et aux relations eaux superficielles - eaux souterraines a été mené par l'Université de La Réunion afin de préciser quel pouvait être l'apport des eaux souterraines à l'écoulement superficiel.

**Le dimensionnement des ouvrages passe par la compréhension des mécanismes érosifs que génèrent ces flux.** Ces mécanismes se produisent au sein des exploitations, mais également hors sites minier, au sein des massifs sur lesquels sont implantées les mines. L'action anthropique des mineurs s'inscrit dans des tendances plus générales de l'évolution géomorphologique des versants qu'il convient de comprendre et de quantifier pour estimer leur contribution aux eaux rouges qui viennent impacter le lagon.

**La télédétection diachronique représente aujourd'hui la méthode optimale pour aborder la quantification des dynamiques environnementales affectant la surface de la planète.** C'est l'IRD qui a traité ce sujet, apporté des informations sur l'évolution spatio-temporelle des sols à l'échelle des massifs et proposé une quantification des flux par le biais d'une première modélisation hydro-sédimentaire. Ces données ont été exploitées par les équipes de l'UNC pour produire des cartographies du régolithe (équipe géosciences) et des outils automatisés de suivi de l'évolution géomorphologique des versants (équipe informatique). Ces approches ont été complétées par les modélisations hydrosédimentaires réalisées à l'échelle des petits bassins par l'IRSTEA et BLUECHAM SAS à partir des données d'hydrologie et de télédétection précédemment décrites.

**Toutes ces modélisations ont pour finalité de mettre à disposition des mineurs des outils leur permettant de connaître l'efficacité de leurs plans de gestion des eaux.** Plusieurs approches ont été testées pour essayer de converger vers le modèle le plus pertinent à proposer à la profession. Ce volet des modélisations hydrosédimentaires constitue le second point focal des résultats qui sont présentés dans ce rapport.

De façon complémentaire à ces approches d'hydrologie et de modélisation qui cherchent à quantifier les flux, deux facettes du programme ont été plus spécifiquement consacrées à la qualification des flux.

Il s'agit, d'une part, du volet chimie des eaux qui s'est attaché à préciser quelles étaient les substances dissoutes présentes dans les eaux de surface issues des bassins versants miniers. **La finalité appliquée de cette approche était de mieux appréhender le potentiel de toxicité des flux issus de la mine.**

Il s'agit, d'autre part, du volet physico-chimique qui a cherché à caractériser finement la nature des MES transportées par les eaux de surface et celle des facteurs qui influencent leurs agrégation. **L'objectif appliqué de ce type de travail était de participer à la compréhension et à l'optimisation des mécanismes de rétention et de décantation des particules dans les ouvrages de sédimentation mis en place par les mineurs.** Cette approche de laboratoire s'est voulue complémentaires des études de terrain menées sur les décanteurs par l'IRSTEA.

Les études visant à la qualification des flux ont été complétées par les travaux réalisés par Météo-France NC sur les lames d'eaux radars. **Cette approche novatrice se voulait complémentaire des mesures *in situ* de pluviométrie réalisées sur le volet hydrologie minière et visait à préciser son potentiel d'application aux problématiques minières qui n'avait pas été testé.** Il n'est pas possible d'installer partout des pluviomètres et des défaillances instrumentales sont toujours possibles. La mise en place par Météo-France des radars hydrométéorologiques (bande C) et le développement des process de traitement permettaient d'envisager la reconstitution des séries de données sur les sites dépourvus de pluviomètre ou victimes d'un matériel défaillant. Le test a été réalisé pour essayer de compléter les bases de données nécessaires à la compréhension du fonctionnement hydrologique des petits bassins versants miniers.

Un attendu important était le transfert de compétences vers les sociétés minières sur le cœur du programme, l'hydrologie minière. C'est pour répondre à cette demande que le groupe instrumentation a été créé et qu'un **document préparatoire à la publication d'un guide méthodologique sur l'instrumentation hydrologique adaptée au contexte minier néo-calédonien a été préparé** par A2EP travaillant en synergie avec l'IRSTEA. Il répond à une demande forte de la profession à un moment où la réglementation impose aux mineurs d'équiper leurs sites et il sera rapidement mis à disposition de la profession.

Ce faisant, et comme indiqué plus avant dans ce paragraphe, tous les travaux réalisés par les scientifiques du consortium se sont voulus complémentaires et ont été mis en œuvre avec comme objectif de répondre au plus près aux attentes de la profession. Les résultats et les données acquises dans le cadre du programme sont aujourd'hui disponibles et sécurisées sur le portail scientifique interopérable de l'UNC.

## 2.4. LES BASSINS VERSANTS ETUDIES

Le programme présenté par le consortium visait à améliorer, par une approche pluridisciplinaire, les connaissances sur le fonctionnement des petits bassins versants miniers.

Quatre massifs miniers ont été intégrés dans l'étude (cf. figure 1).



Figure 1. Les massifs miniers concernés par le programme - *Modifié d'après la carte « sites d'activité du Nickel » (Dimenc, 2011)*

Il s'agit tout d'abord, du massif de Poro qui est implanté sur la côte est de la Grande Terre. Sur ce massif, deux petits bassins ont été étudiés sur le domaine minier exploité par le CFTMC pour le compte de la SLN. Il s'agit de deux bassins emboîtés qui ont été équipés dans le cadre du programme « Hydromine ». Ils sont référencés dans les textes sous les noms de Poro amont et de Poro aval.

Il s'agit ensuite du massif de Poum qui est situé à la pointe nord de la Grande Terre. Sur ce massif faisant partie du domaine minier de la SLN, deux bassins ont été équipés et sont intégrés dans le programme. Il s'agit, d'une part, du bassin de Pôvio et d'autre part, du bassin de Titch.

Sur la côte ouest, c'est le massif du Koniambo appartenant au domaine minier de KNS qui a été choisi. KNS a proposé que deux bassins, SW34 et SW 35, soient analysés.

Enfin, dans le massif du sud, Vale a également proposé d'intégrer 2 bassins : KN15 et KN06.

Au total, ce sont donc 8 petits bassins versants qui ont été analysés dans le cadre du programme. Nous retiendrons de cette localisation générale qu'elle permet d'aborder de façon minimale, certes, mais sans impasse, la question de la variabilité géographique et climatique des sites puisque ces stations sont situées :

- D'une part, sur le transect latitudinal nord-sud à Poum et Goro ;
- D'autre part, sur le transect longitudinal est-ouest à Voh et Poro.

## 2.5. STRUCTURATION DU PROGRAMME SCIENTIFIQUE SUIVI

Le phasage des travaux a été programmé sur quatre années :

### ⊙ 1° année :

- Définition, en partenariat avec les sociétés minières, et en concertation avec les porteurs des autres projets retenus par le CNRT, de stratégies communes sur les zones de travail. La volonté exprimée par le groupe-projet était de s'inscrire dans une démarche collective sur des zones pilotes communes, où pourraient être collectées de façon synchrone des informations complémentaires.
- Choix des sites de mesure et concertation avec les opérateurs des sociétés minières partenaires sur les capteurs à mettre en œuvre ; Poursuite de l'acquisition des données sur le site de Poro et début des traitements spécifiques proposés par le groupe-projet sur ce site de référence ;
- Equipement des stations de mesures sur les sites-pilotes « *industriels* » ;
- Test de méthodes d'acquisition et de traitement de données ;
- Inventaire des données.

### ⊙ 2° année :

- Déploiement des mesures sur les sites-pilotes « *industriels* » ;
- Poursuite des mesures et observations sur le site de Poro ;
- Caractérisation physico-chimique des flux et expertise hydrogéologique ;
- Mise en place d'outils d'analyse pour l'étude et le suivi de l'érosion ;
- Acquisition et traitement de l'imagerie aérienne et satellitaire ;
- Structuration de la base de données (système d'information).



⊙ **3° année :**

- Poursuite des actions année 2 ;
- Tentatives de modélisation hydro-sédimentologique ;
- Tentatives de modélisation de l'érosion.

⊙ **4° année :**

- Modélisation des flux, bilans de matière, production d'un rapport de synthèse des données acquises ;
- Spécifications d'un réseau pérenne et production d'un guide méthodologique ;
- Réalisation d'un programme de formation et transfert ;
- Intégration des résultats dans le portail thématique « *petits bassins versants miniers* ».



Figure 2 : Le ruissellement sur site minier et son impact en aval.

## 3. VOLET 2 : LES PRINCIPAUX RESULTATS DU PROGRAMME

Les principaux résultats di programme sont décrits dans quatre rubriques intégratrices : l'hydrologie minière, les modélisations, le programme de formation et de transfert, les autres résultats.

### 3.1. L'HYDROLOGIE MINIERE, CŒUR DU PROGRAMME

#### 3.1.1. ELEMENTS CONTEXTUELS.

Le contexte ayant conduit à faire des bassins versants miniers un sujet d'étude prioritaire du CNRT était ainsi décrit dans l'appel à projet :

*«..... L'essentiel des dégradations liées aux exploitations minières anciennes (anté 1976) observées actuellement, est lié à une mauvaise gestion (i) du ruissellement sur les surfaces dénudées et (ii) du stockage des stériles, avec comme conséquences dramatiques l'érosion irréversible des sols miniers et un transport solide exacerbé qui impacte à long terme tous les milieux en aval (Figure 2). La gestion des eaux sur mines est donc un enjeu majeur des nouveaux projets d'exploitation minière comme des projets de réhabilitation des sites exploités ou abandonnés. En effet, dans un contexte social où la "conscience écologique" est de plus en plus forte et où les conséquences d'un encadrement trop lâche de l'activité minière sont aujourd'hui très clairement perçues, les compagnies minières, les services publics, comme les populations concernées souhaitent voir les techniques de gestion des eaux sur mines améliorées, pour minimiser l'impact sur les milieux spécifiques et fragiles en aval. Ceci implique une meilleure connaissance (i) des processus de transport et des quantités de matière mise en jeu dans un bassin versant minier et (ii) de la variabilité morpho-climatique de ces processus, afin de définir les techniques et les critères de dimensionnement d'ouvrages adaptés à tout contexte minier en Nouvelle-Calédonie..... »*

L'hydrologie minière correspond donc au cœur de la problématique posée par l'appel à projet du CNRT et ce rapport de synthèse est conçu pour présenter les principaux résultats acquis sur le sujet. L'ensemble des contributions des membres du consortium apporte des éléments d'informations au sujet, mais ne seront présentés dans ce rapport que les éléments considérés comme prioritaires. Les autres résultats ne seront que rapidement évoqués et pourront être trouvés dans le rapport détaillé cité au préambule du présent document.

Deux approches scientifiques complémentaires ont été suivies pour essayer de mieux comprendre l'hydrologie minière : l'approche **qualitative** et l'approche **quantitative** du fonctionnement des petits bassins versants miniers, bien qu'il ne soit pas aisé de les distinguer de façon formelle du fait des étroites interactions présentes entre toutes les facettes du programme.

Le schéma synoptique présenté à la figure 3 permet de conceptualiser, sous une forme simplifiée, ces deux approches d'un travail collectif où chacune des contributions alimente la compréhension globale des grandes caractéristiques des flux solides (MES) et liquides issus des petits bassins versants miniers.

Les travaux de l'IRD, de l'UNC et de l'Université de la Réunion ont été préférentiellement axés vers la qualification des flux et les modélisations à l'échelle des massifs.

Les travaux de l'IRSTEA, de BLUECHAM SAS, de Météo-France NC et d'A2EP ont prioritairement été orientés vers la quantification des flux et les modélisations hydro-sédimentaires à l'échelle des petits bassins versants miniers.



Figure 3 : Qualification et quantification des flux liquides et solides

### 3.1.2. LE PILOTAGE SCIENTIFIQUE ET LES TRAVAUX DE L'UNITE ETNA DE L'IRSTEA GRENOBLE EN HYDROLOGIE MINIERE

La compréhension des processus hydro-sédimentaires actifs dans les petits bassins versants miniers et la quantification des débits liquides et solides constituent, comme le titre du volet l'indique, le cœur du programme et ce sont les chercheurs de l'unité ETNA d'IRSTEA Grenoble qui ont piloté le travail en la matière et contribué à de nombreuses tâches prioritaires en partenariat avec les membres du consortium scientifique.

La participation d'IRSTEA a porté sur les actions suivantes :

- Développer et tester les capteurs et les méthodes de mesure adaptés au contexte minier de Nouvelle-Calédonie (avec le PPME de l'UNC) ;
- Préciser les protocoles d'acquisition de données, élaborer un plan qualité de l'obtention et de la gestion des données, puis gérer les données obtenues au cours des quatre années du projet (avec A2EP) ;
- Caractériser les matières en suspension exportées par ces petits bassins naturels ou modifiés par l'exploitation minière (avec le PPME de l'UNC) ;
- Préparer la régionalisation des résultats obtenus sur les bassins versants instrumentés en intégrant des données satellitaires, des données météorologiques, les MNT, les données hydrologiques et les données de milieu dans un système d'information géographique (avec l'US Espace de l'IRD et le PPME de l'UNC) ;
- Recenser et de synthétiser les données disponibles sur les flux d'eau et de sédiments dans les bassins miniers dans les séries temporelles du passé et dans les différentes études et expertises conduites sur les bassins miniers (avec le PPME de l'UNC) ;
- Réaliser des modélisations hydro-sédimentaires des épisodes pluvieux significatifs permettant de schématiser le fonctionnement des bassins étudiés, de généraliser les résultats et de quantifier les effets d'aménagements sur les réponses hydro-sédimentaires (avec le PPME, l'IRD et BLUECHAM).

Ce sont les résultats de ces actions qui vont être présentés dans cette synthèse après avoir précisé l'importance des bassins expérimentaux de Poro dans les études réalisées.

#### 3.1.2.1. Les petits bassins expérimentaux de Poro, site de référence du programme.

L'appel à projets lancé par le CNRT appelait une réponse polyphasée qui était ainsi précisée :

- **« ....Etat des lieux, retour d'expérience et mutualisation des connaissances sur le fonctionnement des petits bassins miniers, évaluation de la variabilité spatiale et caractérisation de contextes types géo-morpho-climatiques ;**
- **Protocole d'acquisition de données géotechniques, hydrologiques, hydro-climatiques, chimiques, de flux de matière et de toute autre information pertinente permettant d'établir des bilans et ceci, dans les différents bassins**

**équipés représentatifs des contextes géo-morpho-climatiques, en commençant par le bassin pilote « Hydromine » à Poro ;**

- **Suivi de l'installation des sites pilotes (instrumentation et monitoring) ou des sites existants (dont celui d' « Hydromine » à Poro), en partenariat avec les entreprises minières intéressées par leur contexte... ».**

Un tel libellé faisait nettement ressortir l'importance de pouvoir disposer d'un jeu de données sur différents bassins versants permettant d'aborder les problèmes de variabilité géomorphologique et climatique inhérents aux questionnements posés.

Conscient qu'il n'avait pas la possibilité de contrôler l'acquisition des jeux de données sur d'autres sites que celui de Poro car ces jeux de données étaient soumis au bon vouloir des sociétés minières de s'associer au programme, le consortium a répondu d'une façon prudente sur le sujet : **« A minima, le travail des différentes équipes sera mené sur le site du bassin expérimental de Poro, déjà instrumenté et suivi par le PPME-EA 3325 et la DAVAR dans le cadre de la convention pluriannuelle Hydromine signée entre le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, le Centre de Formation Technique aux métiers de la Mine et des Carrières de Poro et l'Université de la Nouvelle-Calédonie ».**

Trois autres massifs ont été en définitive intégrés à l'étude mais les deux petits bassins instrumentés par le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie sur le massif de Poro constituent le site de référence du programme. C'est sur ces derniers que l'étude a été menée de la façon la plus complète pour répondre aux objectifs assignés.

### 3.1.3. LES ELEMENTS FORTS DES RESULTATS DE L'IRSTEA

#### 3.1.3.1. Présentation rapide du déroulement des missions d'IRSTEA dans le projet

La participation d'IRSTEA au projet s'est étalée sur la période 2010-2014, principalement au cours de missions réalisées en Nouvelle-Calédonie (15 missions en tout), complétées par des activités scientifiques au centre IRSTEA de Grenoble. Les chercheurs de cet organisme ont encadré les deux stages de niveau Master prévus dans leur proposition et les six stages financés par l'UNC (trois stagiaires du projet Hydromine et trois stagiaires du présent programme).

Ces activités techniques et scientifiques ont été complétées par des actions d'animation et de formation qui seront explicitées au paragraphe 3.1. de cette synthèse.

IRSTEA a présenté l'avancement de ses travaux au moins une fois par an au comité de pilotage, soit à Nouméa, soit en visio-conférence depuis Grenoble.

Les missions sur le territoire ont été majoritairement consacrées au choix des sites d'études, à la définition des équipements à prévoir ou à améliorer, au recueil des données auprès des compagnies minières ou de leurs sous-traitants, aux travaux en commun avec les partenaires du projet, ainsi qu'à l'encadrement des stagiaires pendant leur séjour sur le Territoire.

### 3.1.3.2. Choix et équipements des sites pour le projet

Pour atteindre les objectifs du projet, il était nécessaire de mettre en place des mesures des différentes composantes des crues torrentielles sur un bassin versant minier. Le site de Poro, déjà instrumenté dans le cadre du projet Hydromine constituait le site pilote du projet, mais il devait être complété par plusieurs petits bassins versants équipés par les sociétés minières, sur la base du volontariat de ces compagnies (KNS, SLN, VALE).

Les sites retenus finalement sont situés sur les massifs de Poro (site pilote), Goro (VALE), Koniambo (KNS), Poum (SLN).

Ils sont suffisamment bien répartis sur la Grande Terre pour aborder la diversité des contextes climatiques et géomorphologiques des sites miniers du Territoire. Le tableau 1, présenté ci-dessous résume les caractéristiques des bassins qui ont été intégrés peu ou prou dans la réflexion du programme.

Tableau 1 : Les petits bassins versants miniers intégrés au programme

| Site minier                   | Poro       |           | Poum  |       | Koniambo |       | Goro    |       |       |
|-------------------------------|------------|-----------|-------|-------|----------|-------|---------|-------|-------|
| Gestionnaire minier           | CFTMC      |           | SLN   |       | KNS      |       | Vale    |       |       |
| Nom_BV                        | Poro amont | Poro aval | Pôvio | Titch | SW34     | SW35  | Wadjana | KN15  | KO6   |
| Superficie (km <sup>2</sup> ) | 0.090      | 0.304     | 0.995 | 0.778 | 0.482    | 0.366 | 2.720   | 2.110 | 3.840 |

Les photographies présentées aux Figures 4 à 7 permettent de visualiser quelques-uns des sites cités dans le tableau 1.



Figure 4 : Station KN15 – Goro



Figure 5 : Station Coco amont (SW35) KNS

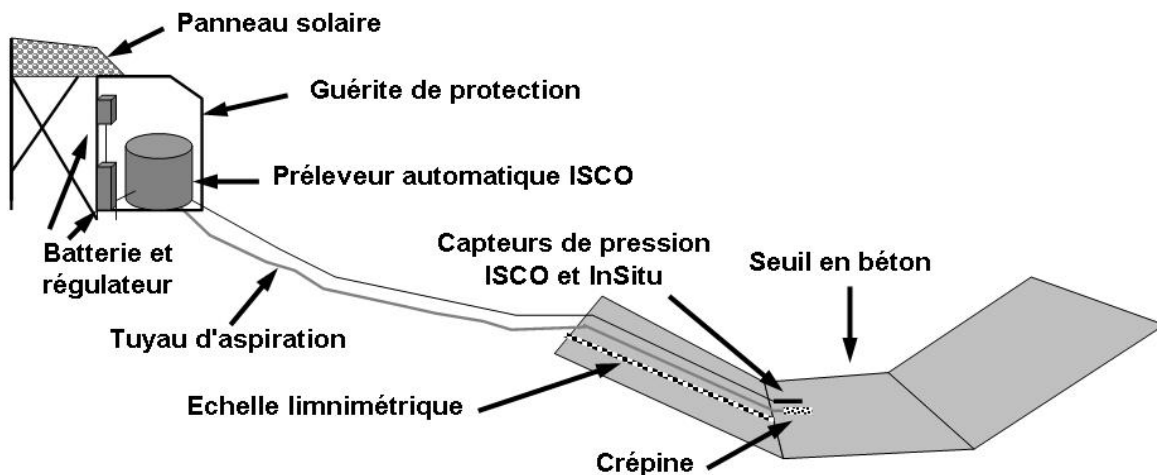


Figure 6 : Povio, seuil aval en V - Poum SLN



Figure 7 : Station Poro amont en cruCFTMC

Les travaux réalisés ont permis de définir **une "station type" pour le suivi des débits et des transports en suspension (MES)**. Cette station type était **l'un des attendus du programme** dans la mesure où les mineurs souhaitent connaître les équipements à mettre en place pour satisfaire aux obligations qui leur sont imposées. La définition a fait l'objet de nombreux échanges avec les services hydrologiques et la proposition du consortium est résumée sur le schéma ci-dessous (Figure 8).



1

Figure 8 : Station type pour le suivi des débits et des transports en suspension (MES)

La station type comprend un seuil de mesures spécifiquement réalisé pour l'hydrologie (cas de Poro) ou naturel si le contexte géomorphologique l'autorise. A minima, la station doit être dotée d'un capteur de pression pour mesurer les niveaux d'eau et d'un préleveur automatique de MES. Une échelle limnimétrique classique vient compléter le dispositif. Un turbidimètre, une mesure en continu des vitesses (doppler) et une transmission GSM (ne figurant pas sur le schéma) sont des compléments qui améliorent la qualité des données produites. Le site doit, de plus, comporter un ou plusieurs pluviographes selon la taille du bassin.

Il est à noter ici qu'un SIG a pu être construit sur les quatre sites miniers du projet grâce aux couches d'information transmises par les compagnies minières et aux données disponibles auprès de la DITTT. Ces données ont été géo référencées dans le système RGNC Lambert 91 et sont consultables en ligne sur le portail de l'UNC (<http://portail-scientifique.univ-nc.nc/>) sous réserve des autorisations d'accès convenues avec les mineurs.

La mise en ligne sécurisée des données du programme sur un site interopérable avec Sidonie, le portail du CNRT, était l'un des objectifs assignés à l'équipe informatique (base de données inter-opérables) du PPME de l'UNC et ce travail a été totalement finalisé. Les couches d'information mises en ligne permettent d'extraire l'essentiel des informations disponibles pour l'analyse hydrologique. **Leur exploitation dans l'avenir pose néanmoins le problème de leur actualisation dans la mesure où la situation évolue très rapidement en domaine minier, et par là-même, la question de la création d'un poste d'hydrologue minier au service de la profession, financé par elle, et travaillant en synergie avec l'UNC pour la mise à jour actualisée des données d'hydrologie minière sur les sites pilotes.**



### 3.1.3.3. Résultats obtenus sur le site pilote de Poro

Entre **décembre 2008 et novembre 2013**, 415 épisodes pluvieux supérieurs à 5 mm ont été recensés à Poro. Les **116 épisodes moyens et forts** (pluie supérieure à 20 mm) ont fait l'objet d'analyses graphiques et statistiques détaillées.

De 2009 à 2013, la **pluviométrie annuelle**, en moyenne de **2200 mm**, a varié pratiquement du simple au double (1460 mm en 2009 et 2720 mm en 2012). L'épisode de **Noël 2011 (FINA)** qui, avec **plus de 500 mm en 40 heures**, représente à lui seul 23 % de la pluviométrie moyenne annuelle. A toutes les échelles de temps, les différences entre les deux pluviomètres de Poro amont et Poro aval sont minimes (inférieures ou égales à 6 %). La "**pluie limite**" pour initier les processus de ruissellement sur les deux bassins de Poro s'établit autour de **15-20 mm**.

Les **débits maximums observés** sont de 3.6 m<sup>3</sup>/s à l'amont et de 9.2 m<sup>3</sup>/s à l'aval, soit respectivement **41 et 30 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>**. Ces valeurs extrêmement élevées comparativement à ce qui s'observe sur les bassins plus grands de la région (DAVAR, 2006) confirment la **nécessité de disposer de mesures pour les tous petits bassins** afin d'obtenir des règles de dimensionnement adaptées. Seule la **poursuite des mesures sur le long terme** permettra de réaliser des analyses fréquentielles. A Poro, les événements les plus importants se sont produits pour les saisons cycloniques 2012 et 2013, soit plus de trois ans après le début des mesures. La pluie, et surtout la fraction intense des précipitations, sont les variables qui expliquent le mieux le débit de pointe. **Le consortium recommande donc qu'à minima soit poursuivies les acquisitions de données sur le bassin expérimental de Poro pour que soit affinée la compréhension des faits hydrosédimentaires sur ce bassin de référence. Toute interruption de la série enregistrée sera préjudiciable à cette compréhension, mais cette pérennité de l'acquisition sous-entend la création du poste d'hydrologue minier évoquée en fin du paragraphe précédent.**

A l'échelle de l'épisode pluvieux, les **coefficients de ruissellement** (ou écoulement rapide de crue) sont **extrêmement variables** et peuvent s'observer dans une **fourchette comprise entre 0.1 et 0.9**, à Poro Amont comme à Poro Aval. Le coefficient d'écoulement moyen, estimé par la pente de la relation pluie incidente/lame ruisselée est de 0.75 à 0.8 pour Poro amont et 0.5 à 0.6 pour Poro aval. Les débordements qui s'observent en cas de fortes crues ne permettent pas de conclure sur les coefficients d'écoulement des épisodes forts à Poro aval.

Les **temps de concentration** sont très variables : **9 à 16 min à Poro amont et 12 à 21 min à Poro aval**. Les **formules de la littérature** couramment utilisées par les bureaux d'étude s'avèrent fortement **inadaptées** et fournissent des valeurs allant de deux à dix fois les valeurs observées. Les méthodes de calcul proposées par IRSTEA pour les bassins de montagne ou par la DAVAR pour les bassins à forte pente fournissent des résultats légèrement inférieurs à ces valeurs, mais dans le même ordre de grandeur.

Pour l'étude des transports en suspension (**MES**), sur la période 2009-2013, 973 échantillons ont été traités à Poro amont et 647 à Poro aval (**1620 analyses**), représentant 95 crues échantillonnées dont 57 échantillonnées aux deux stations. Dans la plupart des cas, l'absence d'échantillons en cours de crue est due au fait que les 24 flacons disponibles étaient déjà pleins et les défauts de prélèvements par panne du matériel sont très rares. Les **concentrations** mesurées varient entre **0.002 g/l et 28 g/l**. Les concentrations sont en

moyenne **plus faibles à l'aval qu'à l'amont, sauf pour la crue du 25 décembre 2011**. Les matériaux en suspension sont **extrêmement fins** avec des diamètres médians (D50) s'étageant, entre **4 et 13 µm à l'amont, 5 et 30 µm à l'aval**.

De manière classique, on n'observe **pas de relation claire entre concentration et débit** sur l'ensemble des échantillons, mais des relations avec courbes **d'hystérésis à l'échelle de la crue** : à Poro amont, les crues sont généralement plus chargées en montée qu'en décrue. La situation inverse s'observe à Poro aval. On peut en déduire que les phénomènes d'arrachement dominant à Poro amont, ceux de transport dominant à Poro aval.

A l'échelle événementielle, il apparaît que le flux total de MES peut être correctement estimé à partir du débit maximum de la crue; L'association avec la fraction intense des précipitations améliore encore la prédiction.

Pour calculer les **flux annuels**, les flux des épisodes non échantillonnés ont été estimés à l'aide du débit de pointe de l'épisode. Sur l'ensemble de la période, les flux des crues non échantillonnées ne représentent que 8 à 13 % du total. **Le flux total sur la période est de 360 t à l'amont et 920 t à l'aval**, soit en moyenne 72 et 185 t par an respectivement. **Les épisodes forts (plus de 85 mm de pluie) représentent 75 % des flux à l'amont et 90 % à l'aval. A lui seul, l'épisode FINA représente 25 % du flux amont et 50 % du flux aval. Ceci confirme la nécessité de réaliser des suivis dans la durée et de se donner les moyens d'obtenir des mesures sur les épisodes extrêmes.**

On trouvera sur la planche photographique (Figure 9) présentée à la page suivante quelques vues prises sur le site de Poro illustrant les conditions de travail lors de ces épisodes forts pour lesquels la mesure est indispensable.

Les **décanteurs** situés entre les deux stations ont des volumes faibles au regard de la règle 2h/2ans. Au cours de la période 2009-2013, les volumes écoulés à Poro amont ont dépassé la capacité de FRN01 au moins 22 fois, soit en moyenne 4 fois par an. Ces **ouvrages sont efficaces sur les petites crues seulement**. Lors de la crue exceptionnelle du **24 décembre 2011**, l'ouvrage n'a assuré **aucune rétention des sédiments**.



Figure 9 : Planche photographique montrant les conditions de mesure lors d'un évènement fort sur le site de Poro.

#### 3.1.3.4. Résultats obtenus sur les autres sites

L'analyse et l'interprétation des résultats sur les autres sites souffrent du **manque de données validées sur des chroniques suffisantes**. En particulier, lorsque les **événements forts** ne sont pas mesurés, il est difficile de conclure car les résultats de Poro ont mis en évidence la **non-linéarité des réponses**, tant en débit liquide qu'en débit solide.

On a globalement obtenu des **coefficients d'écoulement plus faibles sur les sites miniers de Koniambo et de Poum**. Ils s'expliquent à la fois par les différences morphologiques et par des différences météorologiques. Cependant, sur ces sites, on observe également une **forte augmentation des coefficients d'écoulement pour les crues fortes**.

**Les concentrations mesurées sont dans le même ordre de grandeur qu'à Poro**, sauf pour le bassin SW35 de Koniambo, soumis à d'intenses travaux de terrassement à partir de 2012, qui enregistre des concentrations plus fortes.

L'épisode **Freda** permet de procéder à des comparaisons entre sites. L'absence de données disponibles pour cet événement à Goro n'a pas permis la comparaison entre les sites les plus touchés. Les périodes de retour sur les courtes durées de pluie sont comparables pour tous les sites, mais le caractère soutenu des précipitations a rendu l'évènement plus exceptionnel à Poro. Les exportations de matériaux sont nettement plus modérées à Poum et Koniambo, sauf pour SW35 qui était soumis à une intense activité de terrassement pendant cette période.

Les **difficultés d'estimation des débits et des flux solides** confirment la nécessité **d'adapter les dispositifs de mesure et les stratégies de suivi pour pouvoir observer les événements extrêmes**. Enfin, l'ajout de **turbidimètres, en parallèle des préleveurs**, permettrait de limiter les incertitudes sur les calculs de flux.

## 3.2. LES MODELISATIONS

### 3.2.1. PRESENTATION DES APPROCHES DIVERSIFIEES MISES EN ŒUVRE

Il a été procédé dans le cadre du programme à plusieurs tentatives de modélisations à des fins de qualification ou de quantification des phénomènes actifs dans les petits bassins miniers.

Trois de ces tentatives ont été réalisées à l'échelle des massifs. **En effet, la dynamique locale des petits bassins versants miniers ne peut pas être dissociée de celle des systèmes hydrologiques dans lesquels ils s'insèrent**. Certains partenaires se sont donc intéressés à la compréhension de la dynamique globale des massifs tandis que d'autres sont intervenus en descente d'échelle sur les modélisations à l'échelle des petits bassins versants miniers.

Les travaux réalisés essentiellement à l'échelle des massifs visaient à **comprendre les grandes tendances de l'évolution des versants sous l'impact de l'érosion** et à proposer

des axes méthodologiques novateurs pour la qualification des phénomènes en s'appuyant sur des données relativement faciles à acquérir.

Ceux qui ont travaillé sur des objets réduits, à l'échelle des bassins expérimentaux emboîtés de Poro, visaient à la quantification des faits, via la modélisation. Ces modèles de quantification testés dépendent très fortement de l'acquisition des données locales et c'est parce que les données locales d'entrée des modèles ont pu être acquises dans le cadre des programmes « *Hydromine* » et « *Fonctionnement des petits bassins versants miniers* » que ces modélisations ont pu être réalisées. Ailleurs qu'à Poro, ces données d'entrée sont, hélas, absentes, ou parcellaires, ou non validées, ce qui implique que des efforts d'acquisition et de validation des données utiles restent à réaliser chez les partenaires miniers pour pouvoir transposer les modélisations réalisées sur Poro aux autres bassins versants intégrés dans le programme.

### 3.2.2. LES MODELISATIONS A L'ECHELLE DES MASSIFS

Les modélisations à l'échelle des massifs correspondent aux travaux menés par l'IRD et par les équipes informatiques et géosciences du PPME de l'UNC. Ces trois approches vont être successivement présentées dans les paragraphes suivants.

#### 3.2.2.1. Les travaux de l'IRD

Ce partenaire du consortium a contribué au **développement d'approches scientifiques visant à évaluer les potentialités de la télédétection à technologie passive** sur les problématiques de morphologie dynamique fluviale en Nouvelle-Calédonie. Plus précisément, il s'agissait de mettre en place des méthodologies nouvelles, via l'utilisation de la télédétection et de la modélisation, pour l'étude de l'érosion et des changements du milieu contraints par un épisode pluvieux intense.

Une première étape de recherche exhaustive d'images satellitaires a été réalisée sur des données possédant des résolutions spatiale et temporelle adaptées à la problématique de l'érosion d'un petit bassin versant (environ 30 km<sup>2</sup>). Les résultats ont amené à considérer que les données issues du capteur RapidEye étaient suffisantes (5m au niveau 3A et permettant l'obtention d'une image tous les 24 heures sur un même site). Des essais ont été réalisés sur d'autres données mieux résolues spectralement (Hymap) et spatialement (Formosat2)

Les images aéroportées hyperspectrales **ont montré un fort pouvoir de discrimination des objets et les résultats**, malgré la couverture importante de nuages sur le site de Poro, sont **plus que prometteurs**. La possibilité d'associer un type de substrat à une classe de végétation à partir de traitements automatiques est particulièrement novatrice et **l'usage de ce type de capteur apparaît donc intéressant**.

Avec une résolution spatiale de 3,4 m (après géo-corrrection), les images issues du capteur Formosat-2 apportent une information détaillée qui est toutefois **largement compensée par le canal additionnel "RedEdge" de RapidEye**. En effet, ce dernier a permis d'atténuer les confusions entre les classes et apporte ainsi des résultats fiables, notamment pour les images datées de 2011 et 2012.

Comme pour l'image de Formosat-2, l'image RapidEye de 2010, obtenue gratuitement grâce au programme EQUIPEX GEOSUD, **possède un niveau de pré-traitement qui ne permet pas une bonne précision géométrique. L'usage de ce type de données n'est donc pas pertinent pour la problématique posée.** Les quantifications en superficie des objets au sol, dans l'environnement montagneux de Poro qui a été traité, ne sont donc pas possibles ou seulement avec de grandes imprécisions. Cette image a permis cependant de caler le modèle de traitement d'image et de mettre en place une typologie des classes adaptée à la problématique. **Une fois les images RapidEye de 2011 et 2012 obtenues (achat auprès d'un organisme australien) au niveau 3A (orthorectifiées, 5 m de résolution spatiale), l'application des méthodes de traitement a apporté des résultats intéressants sur la migration de classes** (passage d'une classe à l'autre). Un exemple cartographique est présenté à la figure 10. Cependant, les dates d'acquisition étant relativement proches, les variations en superficies enregistrées ont été minimales pour la période prise en compte dans l'analyse diachronique réalisée.

La classification d'occupation des sols obtenue à partir de l'image RapidEye de 2011 a été utilisée pour l'étude d'érosion **par l'application du modèle empirique USLE.** Ce modèle, établi pour un milieu bien particulier (tempéré américain), est cependant **difficilement applicable tel quel dans un milieu tropical insulaire comme la Nouvelle-Calédonie sans précautions.** La conséquence de cette différence environnementale entre le lieu de définition du modèle et celui de son application directe en Nouvelle-Calédonie est que les résultats obtenus ne sont de fait exploitables que pour des comparaisons relatives, entre plusieurs bassins versants. Une solution pour pallier à cette difficulté serait de collecter les données de terrain (granulométrie précise,...) nécessaires à la construction d'un modèle USLE spécifique à l'environnement calédonien, mais un tel travail reste à faire. Les connaissances sont aujourd'hui trop fragmentaires pour bâtir ce modèle spécifique et l'application pure et simple du modèle en l'état n'est pas satisfaisante. Une solution qui a été testée dans ce projet, a consisté à confronter les résultats du modèle USLE à des données de terrain. L'instrumentation des BV de Poro réalisée par l'équipe de l'UNC et la DAVAR a permis d'apporter des valeurs de référence au modèle utilisé, pour passer ainsi de données de perte en sol (t/ha/an) à un indice d'apport sédimentaire, mais ces résultats restent localisés et ne peuvent pas être généralisables au-delà de Poro.

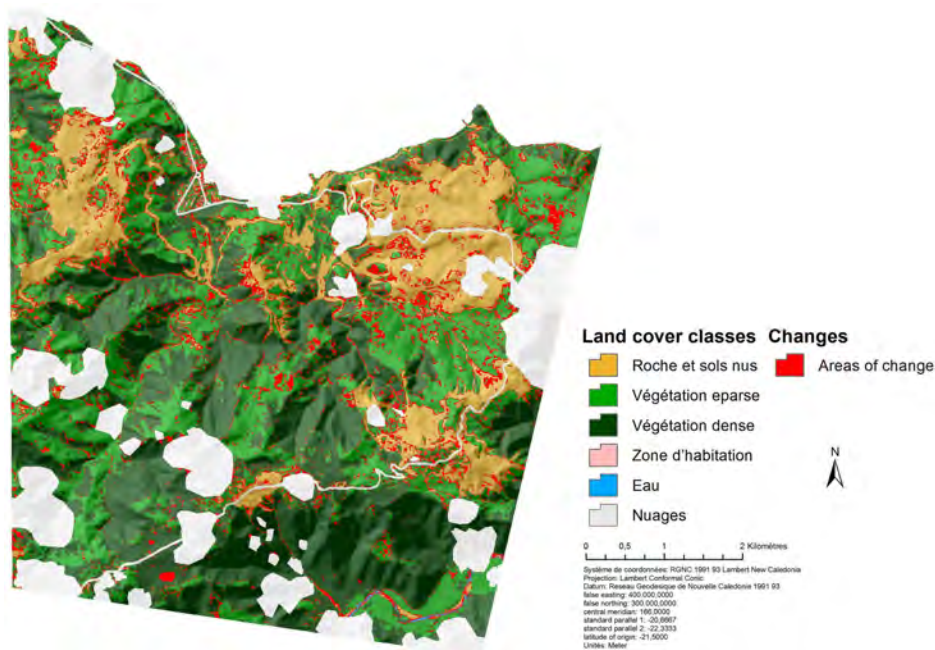


Figure 10 : Carte d'occupation des sols avec les zones de changements (rouge).

Enfin, au-delà des descriptions des limites techniques des données utilisées, cette étude a montré que l'apport de la télédétection et de la modélisation pour la thématique d'érosion sur petits bassins versant en milieu tropical insulaire (île haute) peut être significatif. Il est cependant tributaire de données exogènes (reconnaissance de terrain, cartes, données hydrologiques...) qui permettent de caler les modèles et d'obtenir des résultats fiables.

Ces données sont, pour l'essentiel, absentes hors de la zone de Poro, ce qui est dommageable et alimente la démarche de création d'un support de poste budgétaire d'hydrologue minier en Nouvelle-Calédonie pour valider et traiter les données sur les sites miniers. En effet, les méthodes de traitement développées apparaissent suffisamment génériques pour être applicables à d'autres jeux de données que ceux compilés sur Poro. Elles permettraient d'analyser les changements sur d'autres bassins versants et ainsi de contribuer à la connaissance de l'impact de la variabilité géomorphologique et climatique des faits.

### 3.2.2.2. Les travaux du PPME (Volet informatique)

Ainsi que l'indiquait le projet des informaticiens du PPME, la cible du travail était la **"Modélisation de l'érosion des bassins versants à grande échelle"** par le biais du développement des **méthodes de fouille de données automatiques ou semi-automatiques** permettant d'étudier et de suivre l'évolution de l'érosion à grande échelle.

L'instrumentation des petits bassins versants est une étape nécessaire pour une meilleure compréhension de l'érosion. Toutefois, l'équipement de plusieurs bassins est coûteux et difficile à mettre en place à grande échelle.

**L'objectif était, dans ce travail, d'automatiser l'analyse des données (et leur croisement) et de l'étendre à grande échelle**, en se servant d'autres données plus facilement accessibles, en évitant une instrumentation difficile, voire impossible de grands bassins versants.

Dans ce cadre, le PPME a développé des outils permettant **d'analyser des séries d'images satellites et de les croiser avec toutes autres données disponibles** sur la zone d'étude (p.ex. lithologie, végétation, occupation du sol). Les méthodes développées se veulent génériques et permettent de croiser toutes couches de données pour trouver des corrélations, identifier les effets de certains facteurs sur l'érosion du sol (ou d'autres phénomènes), et de décrire des tendances.

Le processus mis en place est un processus complet qui va de la préparation des données jusqu'à la restitution des résultats pour les experts. Un premier prototype (voir figure 11), prenant en compte toutes les étapes du processus, a été développé pour permettre de suivre les évolutions de différents objets d'intérêt (p.ex. l'érosion ou la végétation) sur de grandes zones.

Cette méthode a été appliquée sur deux zones d'études (Poro et une partie du Grand Sud), ayant des données et des superficies différentes, afin démontrer la généricité de l'approche. Les résultats obtenus démontrent l'intérêt de la méthode développée. Ils permettent notamment de mettre en avant des zones où l'érosion semble avoir augmenté ou au contraire des zones où l'érosion semble avoir diminué. Grâce à cette méthode, il est possible de conforter ces tendances en les croisant avec d'autres indicateurs.



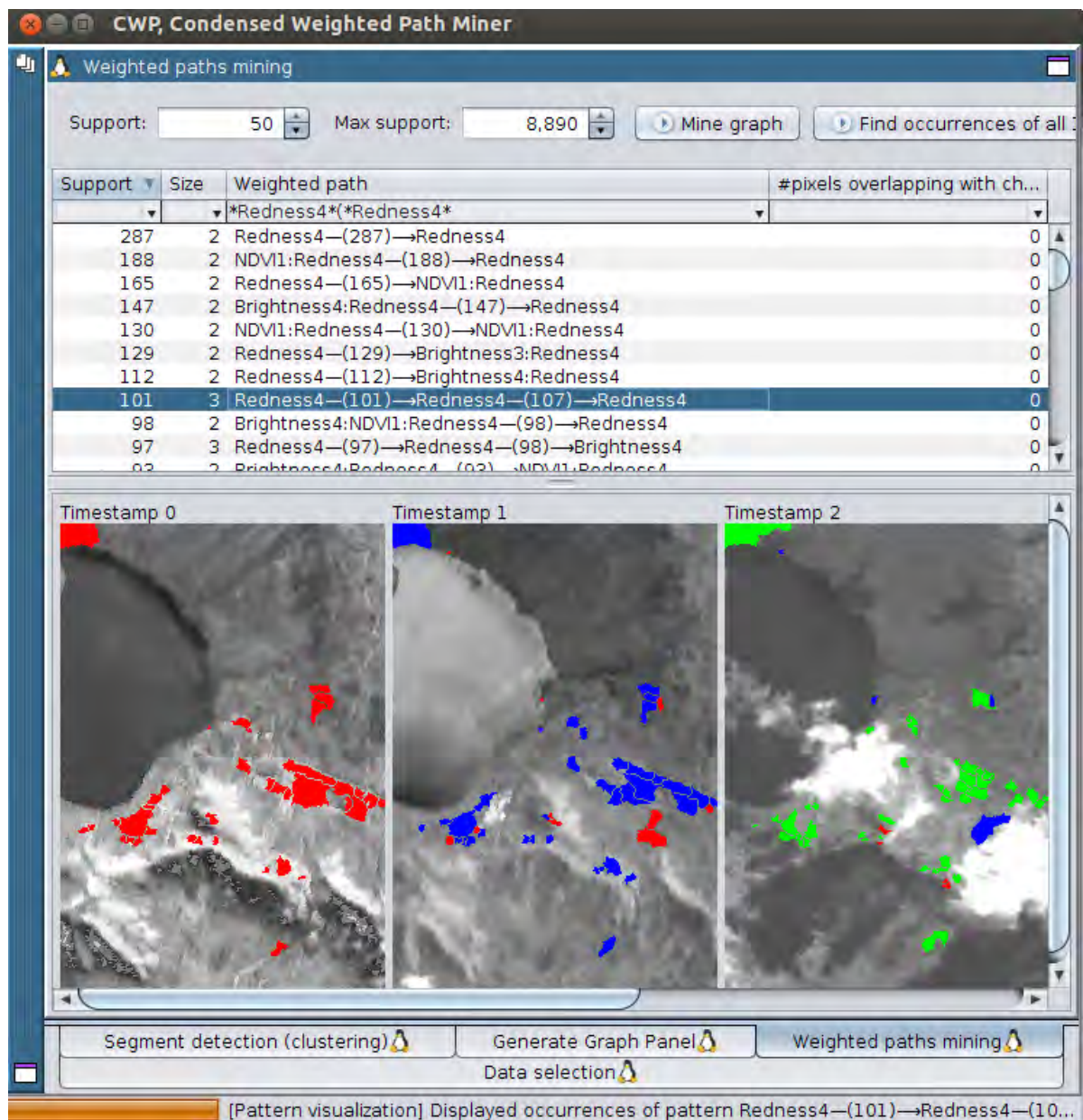


Figure 11 : Prototype permettant de suivre l'évolution d'objets d'intérêt à grande échelle.

Par exemple, la figure 12 montre une potentielle diminution de l'érosion des sols de certaines zones de Poro entre 1999 et 2002. La méthode permet de voir que cette diminution est corrélée à un fort indice de végétation, ce qui vient appuyer la tendance précédente. Au-delà de l'érosion, l'approche développée a permis de mettre en avant d'autres phénomènes tels que la modification du type de végétation sur certaines zones.

Bien entendu, toutes ces tendances doivent être confortées par une « validation terrain ». L'intérêt de l'approche est de mieux cibler cette intervention sur le terrain car les zones d'études peuvent être étendues et difficiles d'accès.

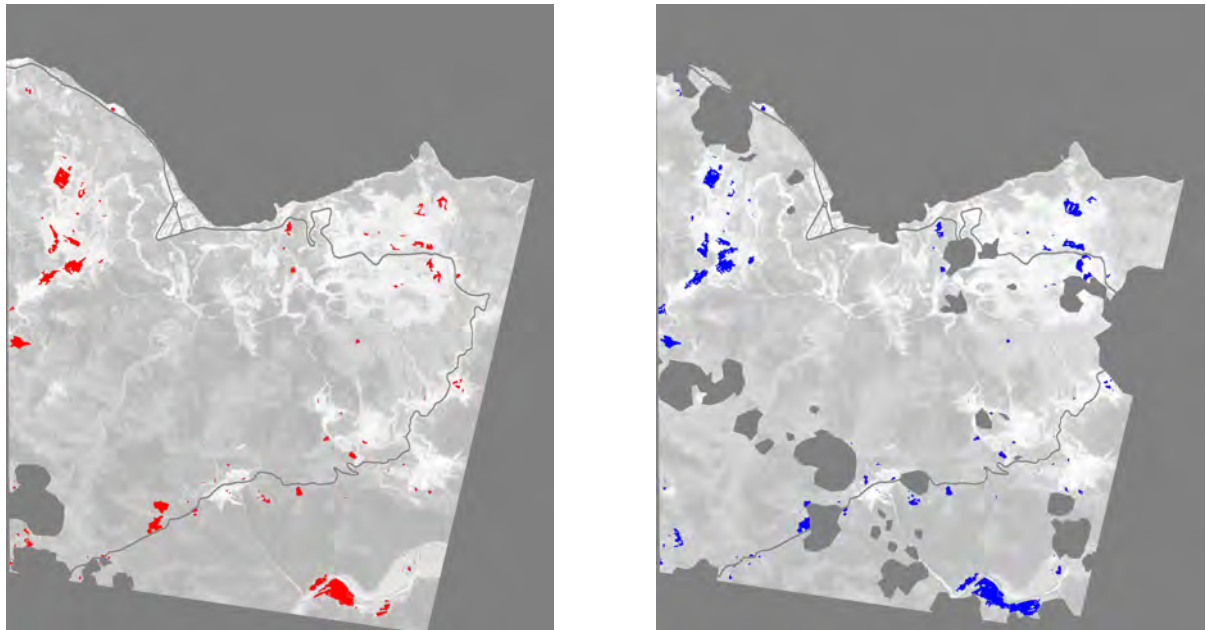


Figure 12 : Exemple de zones ayant connu entre 1999 et 2002 une très forte diminution de leur indice de rougeur (un Indicateur d'érosion) et qui ont, en 2002, un fort indice de végétation (bleu).

### 3.2.2.3. Les travaux du PPME (Volet Géosciences)

Ce travail mené à l'échelle du massif s'est attaché à valoriser une image hyperspectrale prise lors de la campagne « *CARTHA* » du CNRT, sur le site de Poro, sur financement du programme « *Fonctionnement des petits bassins versants miniers* ». Le but de *CARTHA* était de tester le potentiel analytique des levés hyperspectraux pour des applications à la mine. Une image a été acquise sur Poro pour tester la méthodologie sur des applications à la gestion des eaux sur mines.

Les résultats sont, au premier degré, décevants dans la mesure où la zone strictement suivie dans le cadre des projets « *Hydromine* » et « *Fonctionnement des petits bassins versants miniers* » est inexploitable du fait d'une forte couverture nuageuse présente sur le site le jour du levé, rendant impossible l'évaluation du potentiel des images hyperspectrales dans cette région pour la problématique de la morphologie dynamique fluviale et de la gestion des eaux sur mines à l'échelle des bassins emboîtés de Poro. Cependant, immédiatement à proximité de la zone des bassins emboîtés étudiés, les données sont exploitables et peuvent permettre d'opérer des traitements et c'est ce qui a été fait.

Faute de données hydrologiques sur les zones « lisibles » de l'image de Poro, l'objectif du travail a consisté à utiliser les images hyperspectrales métriques (HyMap) en les croisant avec les données disponibles pour compléter le travail des géologues du PPME en fournissant des informations pédologiques traduites sous forme de cartes, input potentiel des modélisations hydrosédimentaires. Les cartes produites sont de deux types. Il s'agit, d'une part, d'une cartographie renseignant sur la minéralogie des sols (serpentinisation et teneur

en oxyde de fer), dans une zone proche du bassin de référence « *Hydromine* » et d'autre part, d'une cartographie du régo-lite par classification fine des sols nus de Poro. La figure 13 illustre le type de cartographie produit sous la forme d'une carte de la serpentinisation des massifs.

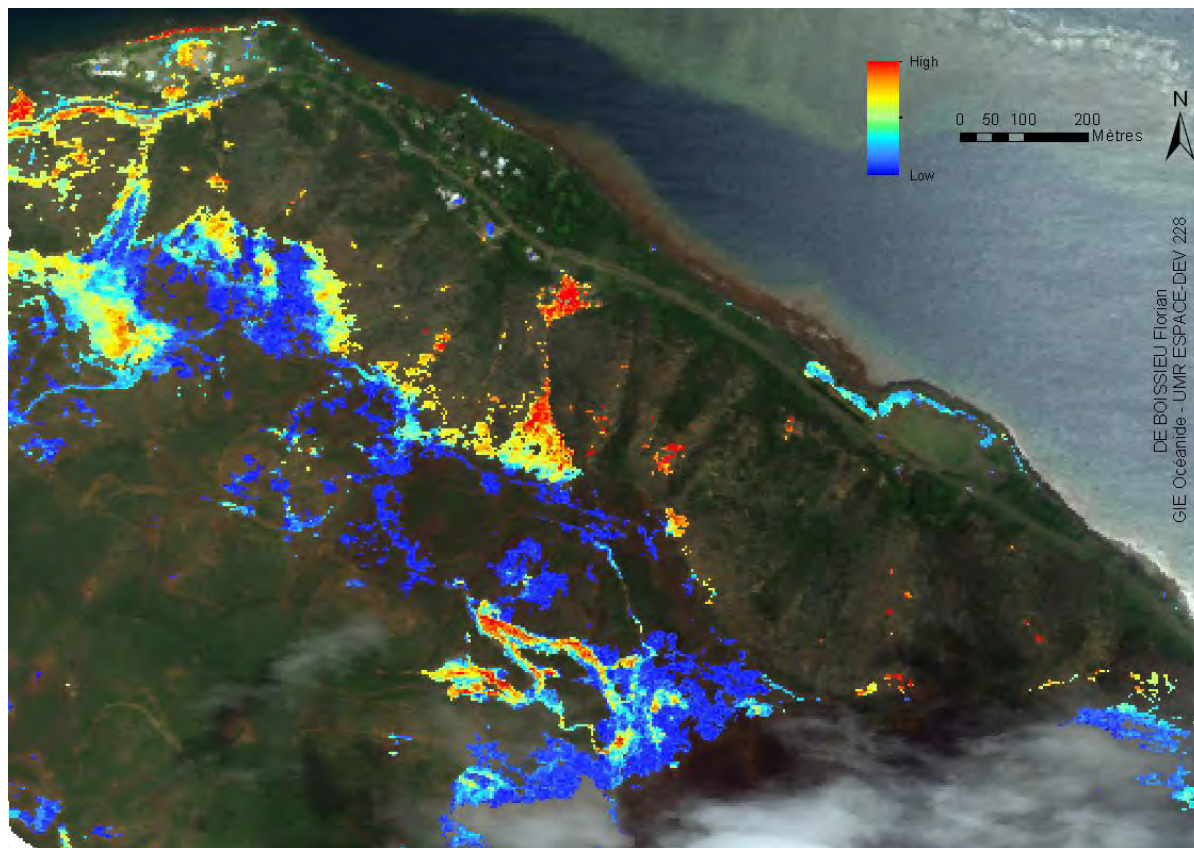


Figure 13 : Carte de serpentinisation. On remarquera le changement de serpentinisation avec la rupture de pente entre le plateau latéritique (au Sud) et la semelle serpentinisée (versant Nord plongeant dans la mer).

Les résultats obtenus sont intéressants, notamment pour ce qui est de la classification fine des sols nus dont les données pourraient être utilement introduites dans les modélisations à petite échelle. Cette démarche n'a pas pu être suivie sur les modélisations réalisées sur l'emprise surfacique des bassins expérimentaux emboîtés de Poro car la qualité de l'image hyperspectrale métrique ne l'a pas permis. Le potentiel existe si des images sont disponibles sur des sites ou les autres données/entrées du modèle sont acquises.

### 3.2.3. LES MODELISATIONS A L'ECHELLE DES PETITS BASSINS VERSANTS MINIERS

Dans le planning du travail à réaliser dans le cadre du programme, les tentatives de modélisation à cette échelle étaient naturellement prévues en fin d'exercice et devaient être menées sur les zones où le jeu de données d'entrée disponibles le permettrait. Seule la zone des bassins emboîtés de Poro a répondu à cette exigence et c'est sur donc sur elle qu'ont été réalisés les tests. Deux partenaires ont travaillé sur ce sujet. Il s'agit d'IRSTEA et de BLUECHAM SAS. Les résultats obtenus vont être rapidement décrits dans les paragraphes suivants.

#### 3.2.3.1. Les travaux de l'IRSTEA

A **Poro**, les **modélisations pluie-débit** réalisées avec le modèle HEC-HMS ont donné de **bons résultats**. Les paramètres PI et CN peuvent être déterminés en fonction de la durée de temps sec (Ts) et de l'intensité maximale  $I_{max15}$ . Les résultats sur les **modélisations sédimentaires** sont **plus mitigés**. Le paramètre K (Figure 14) de l'équation MUSLE a été utilisé comme paramètre de calage et on obtient de bons résultats en validation sur 4 épisodes seulement.

Les premiers tests sur **Koniambo** ont donné de **bons résultats**, qui sont même meilleurs qu'à Poro pour la **modélisation du transport solide**, mais ces tests ne portent que sur les quelques épisodes disponibles, ce qui vient tempérer ces résultats, certes encourageants. Il serait également souhaitable de tester ce modèle sur les données de Poum, mais là encore, le jeu de données disponibles validées au terme du programme était insuffisant pour effectuer la démarche.

**Il convient donc de poursuivre le travail à ce niveau, d'autant que d'autres types de modèles pourraient être testés pour la modélisation de l'érosion. C'est une piste de poursuite d'action que le programme propose au CNRT.** Petit à petit, l'acquisition des données hydrologiques s'affine sur les bassins suivis et les jeux de données validées disponibles augmentent. Cette tendance sera amplifiée si la seconde piste d'action proposée au paragraphe 2.2.1. est suivie d'effet : la création d'un poste d'hydrologue minier travaillant en interface entre la profession minière et les organismes de recherche. **Une démarche conjointe avec l'autre partenaire (BLUECHAM SAS) ayant testé la modélisation à petite échelle est envisagée à court terme pour essayer de produire un modèle intégrateur des deux approches** qui ont été mises en œuvre dans le programme. **L'objectif d'une telle action serait de produire un modèle pouvant être mis en œuvre par les sociétés minières.**

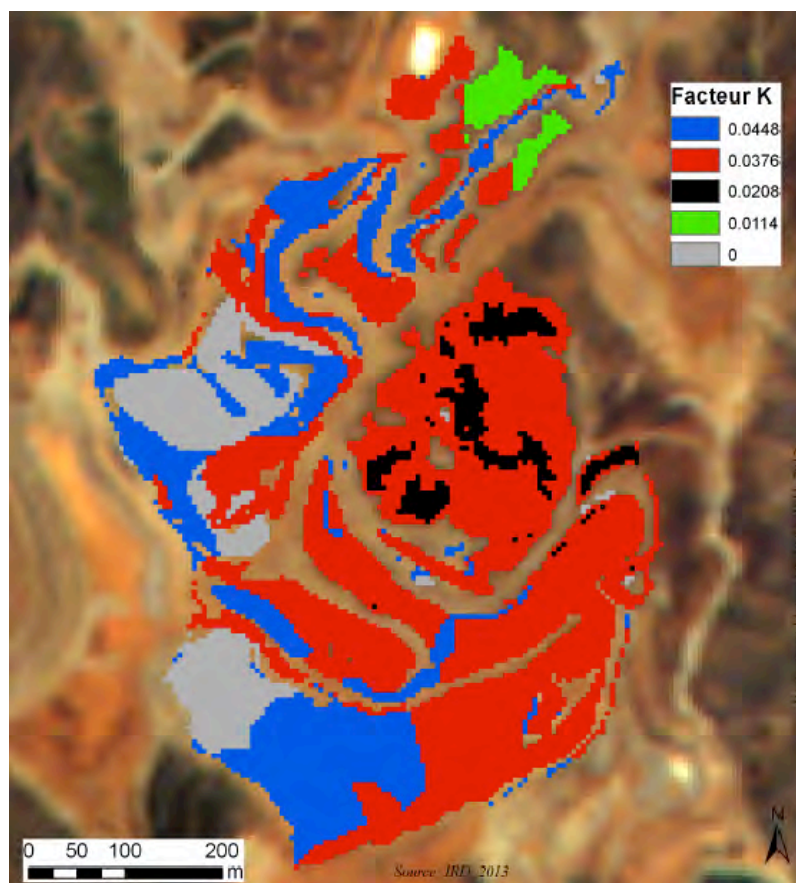


Figure 14 : Carte de la répartition du facteur K à Poro

### 3.2.3.2. Les travaux de BLUECHAM SAS

L'intervention de la société BLUECHAM SAS dans le programme a été réalisée dans le cadre d'actions de recherche développement menées en partenariat par l'UNC (équipe Géosciences) et la société depuis sa création. Elle a pris la forme d'une modélisation hydro-sédimentaire fine, à l'échelle de l'évènement, sur les petits bassins versants emboîtés de Poro. C'est l'évènement pluvieux du 25 décembre 2011 (passage de la dépression Ex-Fina) qui a été étudié à partir du modèle hybride développé par BLUECHAM SAS en partenariat avec l'Université de la Nouvelle-Calédonie (volet Géosciences) sur la base du modèle RUSLE.

**Le modèle dont quelques résultats sont illustrés à la figure 15 permet d'estimer la production sédimentaire au pas horaire.** La confrontation des données de terrain et des estimations issues de la modélisation montrent que cette dernière sous-estime les quantités de sédiments mesurés à l'exutoire lors du maximum d'intensité de l'évènement. Cependant, les flux de sédiments estimés par la modélisation (transportés et déposés à l'exutoire) apparaissent fortement corrélés ( $r = 0.87$ ) avec les mesures réalisées sur le terrain. Il a été trouvé sur les estimations issues de la modélisation un phénomène de boucle similaire à

ceux observés sur le terrain entre les débits et la concentration en sédiment : après un pic d'intensité de précipitation, le flux de sédiment estimé reste plus élevé lors de la diminution de l'intensité des précipitations que lors de l'augmentation de l'intensité des précipitations. Il a été également observé des zones de pertes de flux vers l'extérieur de la zone ainsi que des zones de pollution des flux provenant de zones en amont, hors secteur d'étude très concordants avec les observations de terrain. La prise en compte des pertes et des apports de ces secteurs permettrait d'améliorer les estimations réalisées dans le cadre de cette modélisation dont les résultats sont d'ores et déjà très prometteurs. **La modélisation est transposable à d'autres évènements et d'autres sites pour autant que l'on dispose des jeux de données d'entrée du modèle, ce qui était le cas pour Poro.**

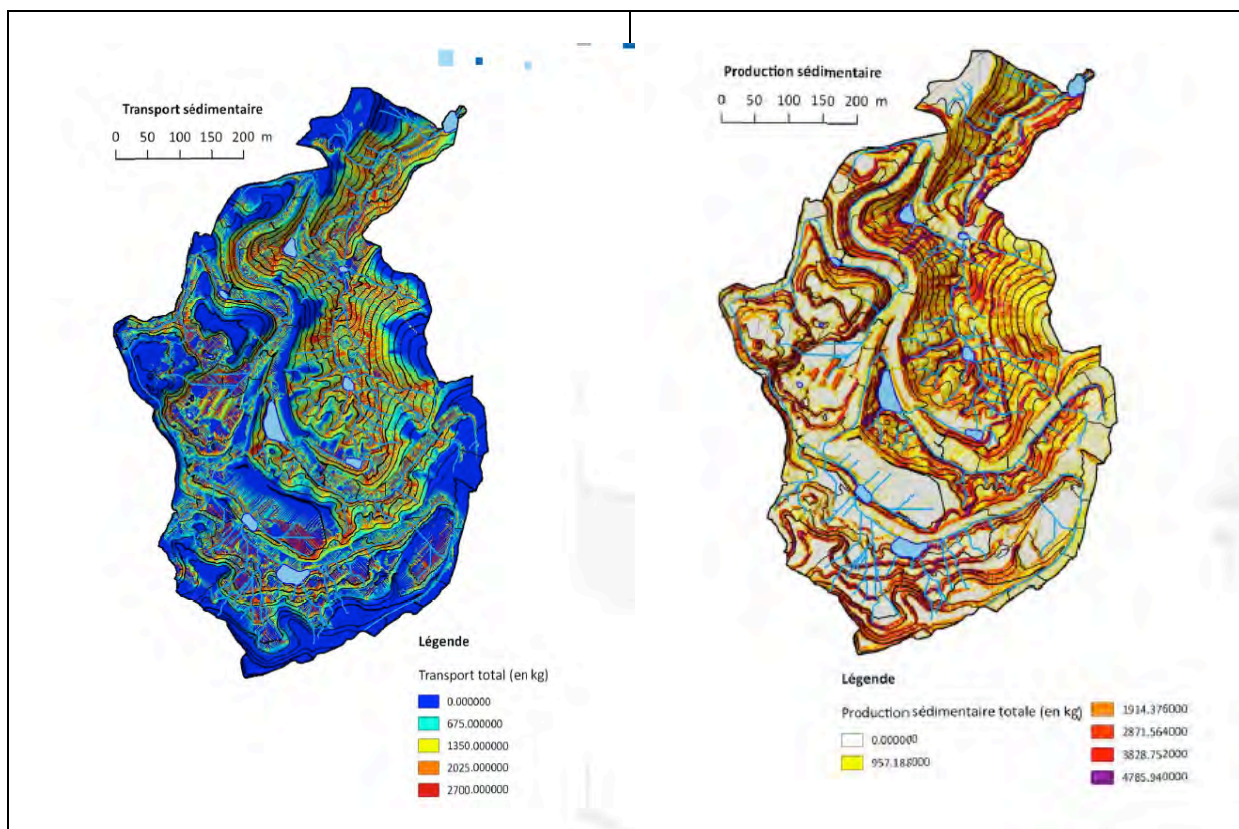


Figure 15 : Quelques cartes produites par le modèle BLUECHAM SAS

### 3.3. LE PROGRAMME DE TRANSFERT ET DE FORMATION

#### 3.3.1. LE GROUPE « INSTRUMENTATION » ET LES SEMINAIRES DE FORMATION

La création d'un **groupe "instrumentation"** à partir de janvier 2012 a permis de mettre en commun les expériences ou les difficultés rencontrées par les différents acteurs des suivis en milieu minier. Ce groupe a permis des échanges entre praticiens sur les sites, des visites réciproques d'installation et même des prêts de matériel. Il s'est réuni cinq fois entre 2012 et 2014.

Les **séminaires de formation en hydrologie appliquée aux petits bassins versants miniers** ont été réalisés en mars 2013 et novembre 2014 et ont concerné une cinquantaine de participants pour chaque session. Les documents pédagogiques du séminaire sont disponibles en ligne sur le portail de l'UNC, de même que l'enregistrement vidéo des présentations de mars 2013. La figure 16 montre les participants en séance ;



Figure 16 : Séminaire de formation en hydrologie minière (2014)

Un **séminaire de formation sur le transport solide** a été réalisé à la fin novembre 2014. Il a rassemblé une cinquantaine de participants.

### 3.3.2. LE GUIDE METHODOLOGIQUE DES BONNES PRATIQUES DE L'HYDROLOGIE MINIERE

La mission confiée à A2EP, réalisée en partenariat avec IRSTEA et l'UNC consistait à produire un document récapitulatif sur l'acquisition et la bancarisation des mesures de terrain (hydrologie, qualité des eaux, transport solide). Plus précisément, il s'agissait de rassembler les informations utiles et nécessaires à l'organisation des données pour un réseau de mesure décrivant des méthodes et procédures de suivi adaptées au contexte de la Nouvelle-Calédonie.

Pour cet objectif important du programme, un document a été produit qui doit maintenant être validé par les services techniques du territoire avant d'être diffusé officiellement. La version à valider expose les éléments de base à prendre en compte pour concevoir, puis organiser efficacement les informations obtenues dans le cadre d'un réseau de suivi hydrosédimentaire.

Dans le document restitué, après un chapitre introductif, le chapitre 2 présente les objectifs des réseaux de suivi hydrosédimentaire, les méthodes pour l'acquisition des paramètres indispensables et le traitement des données. Le chapitre 3 propose une définition d'objets de référence (réseau, stations, capteurs, événements) qui permettent de structurer une base de données hydrométriques et d'organiser les données issues des mesures réalisées. Sachant qu'il existe sur le marché des systèmes de gestion de base de données hydrométriques adaptés aux spécificités des données hydrologiques (par exemple, Hydras 3 par OTT ou Aquarius par Aquatic informatics<sup>TM</sup>), la présentation se veut générique et indépendante du logiciel qui pourra être utilisé. Le chapitre 4 propose une référence indicative pour les données descriptives de chacun de ces objets. L'idée de ce chapitre est de rappeler les informations constituant le socle minimal requis pour garantir la traçabilité et la vérification des données acquises. Chaque gestionnaire pourra ensuite ajouter d'autres informations propres à son organisation.

Des fiches de terrain type sont présentées pour les événements les plus courants.

Enfin, des dictionnaires de données pour les informations les plus significatives sont présentés. La finalité de ce travail est de fournir un socle commun, visant à rendre le plus homogène possible les informations renseignées par différents gestionnaires.

En l'état d'avancement qui est le sien au terme du programme, le document constitue indiscutablement une base de référence pour les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour les suivis hydro-sédimentaires, mais il reste encore à le valider par les services territoriaux compétents : la DAVAR et la DIMENC, avant d'être diffusé officiellement par le CNRT en tant que guide de référence. Pour l'instant, et jusqu'à sa validation évoquée plus avant, le document produit demeure un document préparatoire.



### **3.4. LES AUTRES RESULTATS DU PROGRAMME**

Plusieurs autres facettes de la qualification et de la quantification des flux liquide et solide issus des petits bassins versants miniers ont été étudiées par les partenaires du consortium. Elles sont présentées ci-après.

#### *3.4.1. ETUDE DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES MES*

Les propriétés physico-chimiques des MES ont été étudiées de deux façons complémentaires. L'une est plutôt à finalité théorique, mais elle débouche sur des propositions concrètes faites à la profession pour optimiser l'efficacité des ouvrages. Cette approche a été menée par le PPME. Elle visait à caractériser la nature des matières en suspension et à étudier les facteurs physico-chimiques qui sont susceptibles d'induire leur agrégation.

La seconde est plus directement appliquée. Elle a été pilotée par IRSTEA et elle s'est intéressée à préciser les mécanismes de rétention et de la décantation des MES dans les décanteurs du bassin versant de Poro. Au terme de la pré-étude du sujet dans le cadre du programme (stage de master), une proposition concrète a été faite à la profession.

##### **3.4.1.1. La caractérisation des MES et des facteurs contrôlant leur agrégation**

Dans ce volet du travail complémentaire de l'étude menée sur les décanteurs, l'étude du PPME a porté sur la caractérisation de la nature des MES et des facteurs qui influencent leurs agrégations telles que les conditions hydrodynamiques d'écoulement qui jouent sur la statistique des chocs entre particules, la présence de matière organique dans le milieu, l'agglomération de nature bactérienne ou encore les charges électrostatiques à la surface des particules.

La nature des phases minérales constitutives a été déterminée par diffraction de DRX et la taille de particules, par granulométrie LASER, pour des échantillons prélevés au fil de l'eau le long du bassin versant de Poro. La figure 17 montre un diffractogramme classique des échantillons prélevés. Les échantillons sont constitués de Goethite en majorité (70 à 85 %), et dans des proportions plus faibles de Willemseite, d'Antigorite et de Quartz. La proportion de Goethite diminue à l'approche de l'embouchure du bassin versant. Les distributions en taille des agrégats se décalent vers les plus grandes tailles, de l'amont vers l'aval.

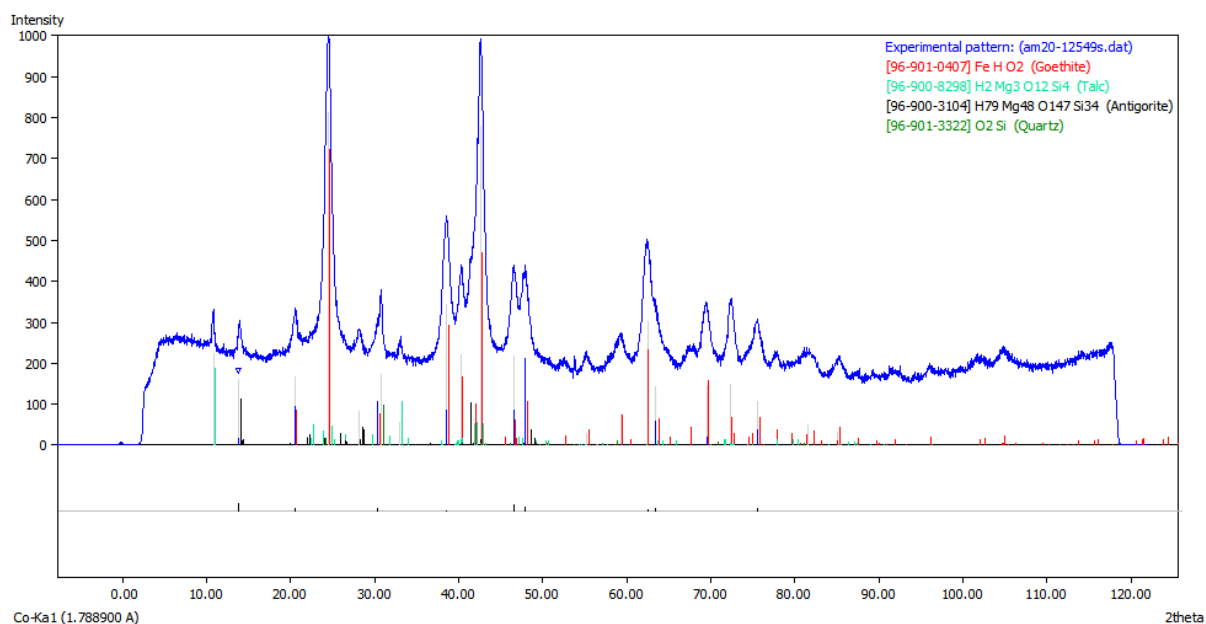


Figure 17 : Diffractogramme classique des échantillons prélevés. En rouge, vert clair, noir et vert foncé les données de la banque JCPDS concernant respectivement la Goethite, le Talc, l'Antigorite et le Quartz.

Une étude concernant la sédimentation des particules et l'évolution de la taille des particules au cours du temps, effectuée par granulométrie LASER a permis de comprendre la dynamique de dépôts des petits agrégats de l'ordre d'un à trois micromètres qui disparaissent précocement pour former des objets de diamètre sensiblement supérieur. Des acquisitions vidéo des échantillons au cours de la sédimentation ont révélé que les vitesses de chute du front des particules sont proches d'un échantillon à l'autre, mais qu'en revanche, c'est le temps nécessaire pour que le phénomène se déclenche qui diffère et il a été montré que les forces électrostatiques jouent un rôle important lors de la formation des agrégats micrométriques à partir des particules minérales dont la taille initiale mesurée par microscopie électronique, est égale à quelques centaines de nanomètres.

A l'issue de ce travail, il apparaît que la formation d'agrégats de taille micrométrique, dans les décanteurs par exemple, peut être optimisée par le contrôle des interactions électrostatiques entre particules. Pour cela, il est possible d'ajouter des sels qui auront pour effet d'écranter ces répulsions ou encore d'ajouter des flocculants organiques qui rendent les surfaces des particules hydrophobes. La première solution est de loin la plus respectueuse de l'environnement. Quelle que soit la solution choisie, il sera nécessaire d'étudier, dans chaque, cas, la nature des particules en suspension et des agrégats formés pour trouver le sel (ou le flocculant organique) le plus efficace compte tenu de la variabilité de composition des échantillons et des mécanismes de formations des agrégats le long du bassin versant.

### 3.4.1.2. Le fonctionnement des décanteurs sur les sites miniers

La problématique environnementale des "eaux rouges" est particulièrement aigüe en Nouvelle-Calédonie à l'aval des sites miniers. Depuis longtemps, les sites miniers sont équipés de bassins de décantation afin de limiter les phénomènes d'érosion et de transfert en aval de sédiments. L'effet de ces bassins apparaît toutefois limité en cas de forte crue, traduisant la nécessité d'élargir les connaissances autour de la problématique des décanteurs pour améliorer la situation.

Au vu des problèmes environnementaux générés par l'exploitation minière et de l'absence d'étude de référence sur cette question du fonctionnement des décanteurs, le gouvernement calédonien et les structures rattachées dont la DAVAR et la DIMENC, ont mis en place des critères généraux communs de conception d'ouvrages, regroupés dans la Charte des Bonnes Pratiques Minières. Ces critères ne prennent cependant pas en compte les spécificités de chaque site et correspondent toujours à des situations extrêmes, pour des raisons de sécurité.

L'ensemble de la profession, comme les autorités de tutelle, sont en demande de méthodes de conception et de dimensionnement qui s'appuient sur des données et des observations locales. C'est dans ce contexte que l'équipe ETNA d'IRSTEA a réalisé dans le cadre du programme une étude exploratoire sur le fonctionnement des décanteurs (stage de fin d'études d'ingénieur ENGEES).

Il ressort de l'étude préliminaire réalisée que les entreprises minières des quatre sites étudiés adoptent différentes stratégies pour leurs décanteurs selon les conditions d'écoulement sur site. La pluviométrie, la topographie, la taille des bassins versants ou encore l'espace disponible sur mine sont autant de paramètres variables selon les sites qui conditionnent la mise en place d'ouvrages de gestion des eaux.

Le suivi hydrologique réalisé sur Poum et Poro ainsi que des données obtenues pour Goro et Koniambo démontrent la réalité de fortes disparités de précipitations sur mine et la nécessité de mesures hydro-sédimentaires de qualité au plus près des implantations des décanteurs si on veut étudier leur efficacité. Sur la plupart des bassins analysés, ces données sont fragmentaires et/ou non validées. Seuls les résultats du suivi hydrologique de Poro ont permis de disposer d'éléments suffisants sur les débits de pointe, les volumes ruisselés et la forme des hydrogrammes indispensables aux études de modélisation sur les décanteurs. Sur les petits bassins versants emboîtés de Poro, l'abattement des MES observé entre l'amont et l'aval est principalement lié à l'occupation du sol et aux caractéristiques des bassins versants. Le rôle des décanteurs dans cet abattement est indéniable, mais seulement sur les crues faibles et moyennes. Les photographies présentées ci-dessous à la figure 18 illustrent ces propos.

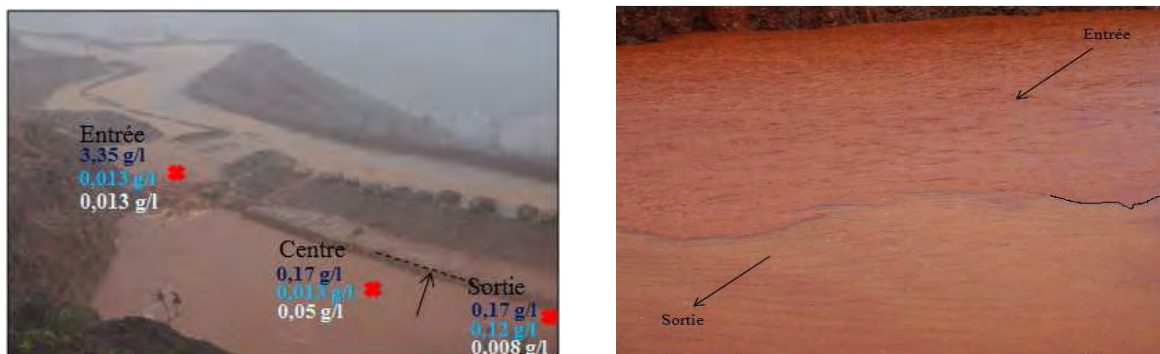


Figure 18 : Abattement des MES dans un des décanteurs proches des bassins emboîtés de Poro

Les études granulométriques menées dans différents décanteurs montrent que les **matériaux piégés sont, pour la majeure partie (50 à 80%), constitués de « fines » latéritiques**. Ces « fines » sont d'un diamètre de 5 à 20  $\mu\text{m}$ , selon les situations et l'activité minière en amont des bassins où les prélèvements ont été réalisés. C'est pourquoi les systèmes de filtration ou de décantation lamellaire sont difficilement envisageables du fait du risque de colmatage.

Bien que les diamètres considérés soient très fins, il semble que la **décantation soit efficace en condition non déversante**. L'abattement maximum recensé en 2011 à Poro était, en effet, une chute de concentration de 21 g/l à l'amont à 5 g/l au seuil aval. L'observation par la mesure directe des concentrations en MES dans les bassins justifie cette bonne décantation (clarification des eaux en moins de 24 h). La charge en MES a tendance à diminuer moins rapidement au-delà de ce délai et elle est, d'autre part, potentiellement perturbée par les arrivées d'eau de ruissellement de nouvelles pluies.

Les coefficients d'écoulement et les gammes de débits à prendre en compte comme paramètres de calage dans les modèles pouvant être testés n'étant disponibles que sur les bassins emboîtés de Poro (séries incomplètes ou non validées sur les autres bassins intégrés au programme), seul ce site a fait l'objet de tests de modélisation. Ces derniers fournissent des résultats concordants par rapport à l'efficacité de rétention et de décantation des bassins qui n'est pas optimale. Il a été mis en évidence, en outre, par l'exemple d'utilisation de la méthode du Mélange Intégral, que tous les écoulements ne passent pas par les décanteurs et que certains de ces écoulements dérivés contribuent fortement à la charge en MES encore élevée à l'aval. **La reprise des sédiments en cas de forte crue est un phénomène encore peu étudié** et l'absence d'abattement des concentrations en MES, et même d'augmentation des concentrations maximales d'amont en aval, pour la crue exceptionnelle de décembre 2011 à Poro, dénotent la réalité de cet aléa sur les bassins étudiés.

Le problème actuel principal des bassins réside dans les volumes réellement mis en place, très inférieurs aux volumes estimés par les calculs. Quelle que soit la méthode de dimensionnement, l'espace disponible sur mine est le facteur limitant. L'occurrence des

pluies accentue le problème car les bassins ne semblent pas avoir le temps de se vider entre deux crues malgré l'efficacité de décantation relatée ci-avant.

La recommandation la plus pertinente à ce stade des observations des sites miniers semble être **l'équipement systématique des bassins avec des systèmes de vidange et la réactivité après une crue pour vider le bassin** une fois que les solides sont suffisamment décantés pour que la concentration des eaux de rejet soit acceptable.

Les résultats de l'étude exploratoire réalisée en 2012 et les échanges avec les partenaires miniers au cours du projet, ont conduit à concevoir un **projet d'action de recherche appliquée sur le fonctionnement des bassins de décantations** sur sites miniers en Nouvelle-Calédonie (Recking, 2013) et cette proposition est renouvelée ici. Cette action s'articulerait autour de la caractérisation du fonctionnement hydrologique des bassins miniers qui devra être poursuivie et le développement de modélisations hydrologique et sédimentologique, qui ont été initiées dans le programme objet de cette synthèse. **Son objectif serait de proposer des outils simples pour estimer l'efficacité des bassins de décantation (définis par leur géométrie), pour un évènement hydrologique donné et pour les matériaux caractéristiques présents sur sites.** L'expérimentation et l'outil numérique peuvent être utilisés pour cela. Une première étape consisterait à valider l'outil sur la base de mesures de sédimentation et de champs de vitesses, réalisés in situ et/ou au laboratoire. Dans une seconde étape, le modèle pourrait être utilisé pour tester l'influence des différents paramètres, et pour proposer, sur la base d'un panel de tests, des formulations simples d'abattement en MES. La troisième étape consisterait à produire une fonction de décantation. L'objectif ne serait pas de proposer un modèle numérique qui serait adapté à chaque nouveau cas d'études, mais plutôt de fournir une (ou des) fonction simple, utilisant un nombre réduit de paramètres, pour estimer l'efficacité de décantation d'une géométrie de bassin soumise à un évènement donné. Etant donnée la forte composante en modélisation et mécanique des fluides du sujet, il est souhaitable que le travail soit effectué en métropole, à IRSTEA Grenoble, avec des missions de terrain à prévoir en Nouvelle-Calédonie. Une estimation du coût de ce projet a été faite, incluant les salaires du jeune chercheur (doctorant ou post-doc), les missions, les coûts de logiciel et d'expérimentations : 150 k€ soit environ 18 000 000 CFP sur 3 ans donc 6 M CFP par an en cas de thèse et 9 M CFP par an en cas de post-doc sur 2 ans.

### 3.4.2. EVOLUTION DE LA CHIMIE DES EAUX

Ce travail mené au sein du PPME de l'UNC avait pour but, d'une part, de déterminer si la composition chimique des eaux de ruissellement des bassins versants miniers évolue sur le parcours de la mine au lagon et, d'autre part, de déterminer comment elle évolue avec la pluviométrie. Des calculs de spéciation ont également été réalisés à partir des paramètres physico-chimiques mesurés. Il était attendu que la concentration en éléments traces métalliques dissous diminue par dilution, sauf si les MES libèrent des éléments traces métalliques, ce qui compense alors la dilution. Ce travail avait donc également pour objet de cerner les réactions potentiellement impliquées dans les réactions de solubilisation des éléments traces métalliques le long du parcours.

Cette étude a permis de montrer que dans les eaux de ruissellement du bassin versant minier de Poro, les concentrations en éléments traces métalliques évoluent finalement assez peu le long du parcours de la mine au lagon, sauf pour le chrome hexavalent, dont la

concentration sur site minier est très supérieure à la concentration dans le village. Par contre, la concentration en éléments traces métalliques évolue avec la pluviométrie. Malgré la dilution des eaux de surface par la pluie, confirmée grâce à la diminution de concentration du chlore, les concentrations peuvent augmenter avec la pluviométrie. C'est le cas du nickel dans la rivière et à l'embouchure, du fer et du manganèse à l'embouchure uniquement. Ces éléments pourtant peu solubles sont alors très probablement libérés à partir des matières en suspension. La concentration en aluminium est plutôt constante, donc l'aluminium est également mobilisé, mais juste suffisamment pour compenser la dilution.

Dans ce contexte minier, les concentrations en carbone organique dissous sont le plus souvent très faibles et insuffisantes pour complexer le fer, l'aluminium et le manganèse. D'après les calculs, seuls le nickel et le chrome (III) sont significativement liés à la matière organique dissoute. Cela implique que la matière organique peut favoriser des réactions de solubilisation du nickel à partir des MES. L'ion cyanure peut également contribuer à des réactions de transfert du nickel de la fraction particulaire vers la fraction dissoute, car il lie fortement le nickel. L'aluminium et le fer sont liés uniquement à l'ion hydroxyde, ce qui peut expliquer que l'aluminium soit peu mobilisé. Le fer l'est plus que l'aluminium car présent en plus grande quantité dans les MES. A l'embouchure, la solubilisation par compétition pour les sites d'adsorption est fortement probable.

L'étude des concentrations en chrome dans les eaux superficielles et de la réactivité des sédiments miniers a permis de montrer que **les sédiments sont des vecteurs de chrome hexavalent facilement mobilisable dans les eaux superficielles**. La figure 19 illustre le schéma de circulation du chrome dans les eaux superficielles en contexte minier.

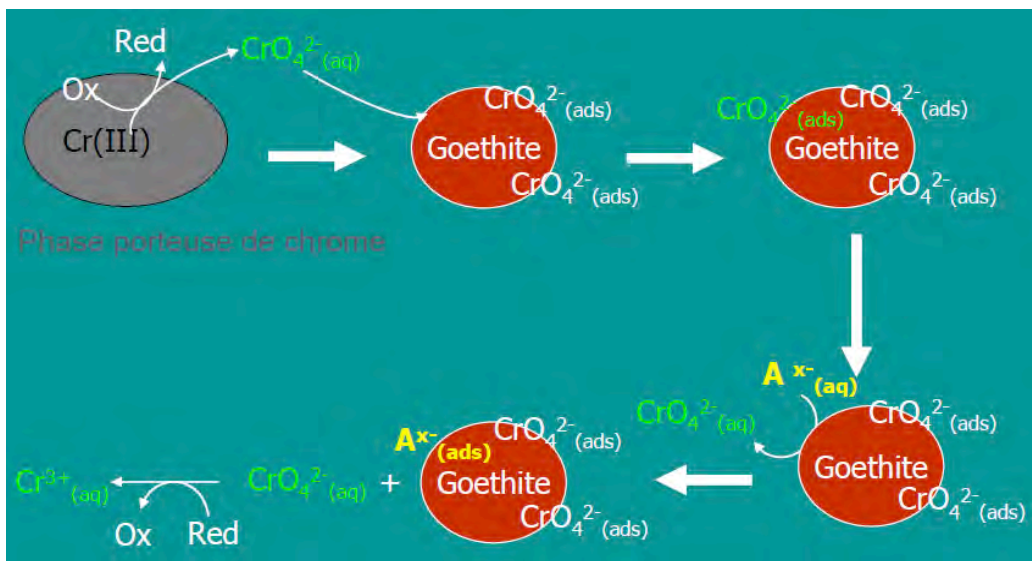


Figure 19 : Schéma de circulation du chrome dans les eaux superficielles en contexte minier

Le chrome est adsorbé à la surface des particules et il est libéré sous sa forme hexavalente exclusivement. Donc, la matière organique dissoute ne participe pas à la solubilisation du chrome puisque le Cr(VI) ne se lie pas à la matière organique. Par contre, la matière organique peut réduire le chrome (VI) en chrome (III) qui est alors maintenu en solution par formation de complexe avec la matière organique. Les MES étant des réservoirs de chrome hexavalent, il est recommandé pour une exploitation minière durable compatible avec la

préservation des écosystèmes en aval, de prévenir le transport de matière en suspension, y compris les plus petites particules dont la concentration massique en chrome (VI) peut atteindre jusqu'à 900mg/kg. Pour limiter la dispersion de chrome sous cette forme toxique, il est également possible d'étudier des solutions pour réduire le chrome à l'exutoire et faciliter la transition Cr(VI)-Cr(III). Des articles sont disponibles dans la littérature sur le traitement des effluents de tanneries riches en chrome hexavalent avec des débris de végétaux. Après étude de faisabilité et d'efficacité, il pourrait, par exemple, être envisagé de placer à l'exutoire des débris de végétaux traversés par les flux d'eau pour réduire le chrome et limiter la circulation du chrome sous sa forme la plus toxique.

### 3.4.3. *HYDROGEOLOGIE. LES RELATIONS EAUX SUPERFICIELLES/EAUX SOUTERRAINES.*

Un volet spécifique relatif au contexte hydrogéologique et aux relations eaux superficielles - eaux souterraines a été mené par l'Université de La Réunion sur le site pilote de Poro **afin de préciser quel pouvait être l'apport des eaux souterraines à l'écoulement superficiel.** Le secteur des petits bassins versants emboîtés de Poro a fait l'objet d'une instrumentation spécifique au programme et il est représentatif d'un bassin versant sur massif dénaturé en eau, largement anthropisé avec un profil d'altération tronqué. L'équipement piézométrique mis en place a permis de montrer que les eaux souterraines ne contribuent pas significativement à l'écoulement de surface lors des événements pluvieux.

Ceci est confirmé par :

- Le décalage important entre la crue superficielle et la crue souterraine ;
- Le maintien d'une zone dénaturée pendant l'épisode de crue qui confirme la déconnexion des deux systèmes.

L'infiltration potentielle (Figure 20) a pu être déterminée, avec l'appui du modèle Paprika, en se basant sur deux critères majeurs, à savoir la pente du terrain et la géologie de surface cartographiée par les géologues du PPME. Sur cette zone, les surfaces favorisant l'infiltration représentent seulement 5% de la surface totale du bassin versant, ce qui explique les coefficients d'écoulement importants, supérieurs à 55%, pour des averses de plus de 85mm (Navarro 2012).

**Ce résultat est à mettre en relation avec le dénudement de la surface par l'exploitation, le fort dénivelé de ce massif et la faible perméabilité du substratum subaffleurant telle que mis en évidence par des essais de slug Test.**

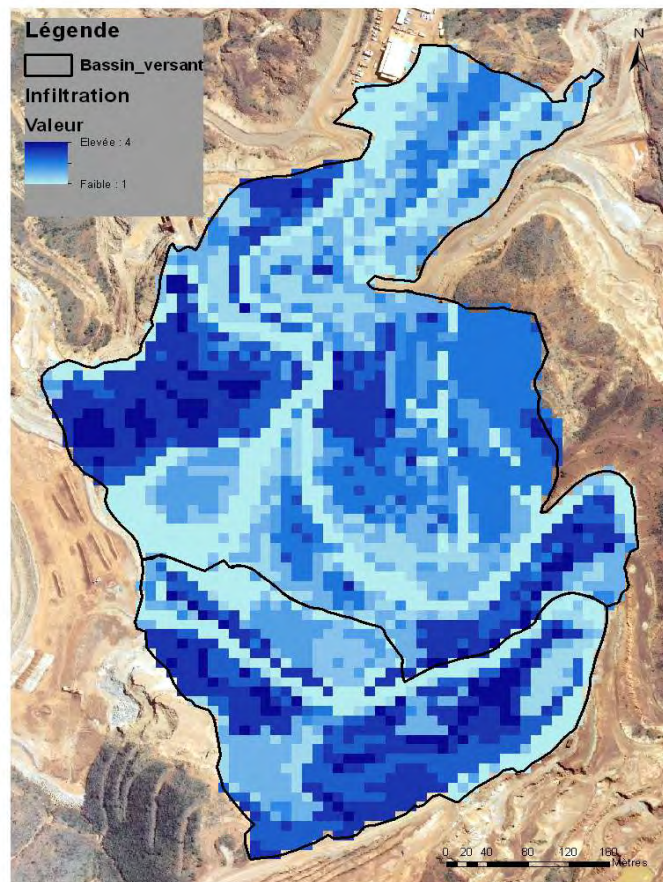


Figure 20 : Cartographie de l'infiltration potentielle

A titre de comparaison dans le cadre de l'étude de la variabilité géomorphologique et climatique recherchée par le programme, un second site aux caractéristiques sensiblement différentes de celui de Poro et suivi dans d'autres programmes du CNRT a été analysé. Il s'agit du site de Tiébaghi nord qui représente un bassin versant naturel dans un massif saturé en eau avec un profil d'altération complet sous cuirasse.

Sur cette zone, le niveau à grenailles, très perméable, situé immédiatement sous la cuirasse joue un rôle prépondérant dans l'évolution du régime piézométrique et hydrologique. Ainsi, la situation relative du toit de la nappe vis-à-vis de ce niveau nodulaire est à l'origine de la variation observée du coefficient de ruissellement pour plusieurs crues d'averse. Deux types de fonctionnement ont été définis : en étiage et en hautes eaux (caractérisé par le niveau moyen des piézographes).

Au cours d'un événement pluvieux isolé de 87 mm, le ruissellement et l'évaporation ont pu être estimés à 22 mm soit 25 % de la lame d'eau précipitée. Ces valeurs dépendent de la situation de la nappe avant l'évènement et de l'intensité de l'épisode pluvieux. La variabilité temporelle du coefficient de ruissellement traduit bien le rôle prépondérant de la cuirasse et de l'horizon nodulaire sous-jacent pour expliquer la variabilité du fonctionnement hydrologique d'un petit bassin versant et la saturation des latérites dans le contexte géomorphologique et pédologique du type de celui analysé dans le massif de Tiebaghi.



Il ressort de cette comparaison sur deux sites aux caractéristiques contrastées que les relations entre écoulements superficiels et écoulements souterrains sont sensiblement différentes selon les contextes locaux. La possibilité de disposer de relevés piézométriques à proximité des sites instrumentés en mesures hydrologiques de surface représente une option intéressante dans l'équipement de base de suivis des écoulements sur sites miniers.

#### 3.4.4. L'APPORT DES LAMES D'EAU RADAR

En Nouvelle-Calédonie, il existe trois RADAR hydrométéorologiques (bande C) qui complètent un réseau institutionnel de plus de 100 pluviomètres (Météo-France et DAVAR).

Pour être comparées à des mesures pluviométriques, les réflectivités RADAR sont transformées selon des lois mathématiques en lames d'eau (en millimètres par m<sup>2</sup>). En revanche, la résolution horizontale des cartes de lame d'eau RADAR est de 1'ordre du km<sup>2</sup>. Entre 2011 et 2013, Météo-France a amélioré la qualité des mesures RADAR en développant une méthode de calibration dite « carte des facteurs correctifs mensuels ».

Dans le cadre du programme « *Fonctionnement des petits bassins versants miniers* », l'étude réalisée par Météo-France a porté sur la qualité de la détection des quantités de pluies liées à des épisodes extrêmes mesurés sur les petits bassins versants miniers. L'étude a consisté en l'analyse statistique des biais entre les valeurs observées aux pluviomètres et les valeurs de lames d'eau correspondantes.

Un second facteur correctif a été développé pour ce programme afin de rendre plus réaliste la spatialisation des quantités mesurées (FC-EPISODE). Il est réalisé, *a posteriori*, avec les données mesurées lors de l'épisode pluvieux et permet de reconstituer les séries de données sur les sites d'étude dépourvus de pluviomètre ou victimes d'un matériel défaillant. Le principal biais en situation de pluie intense s'explique par une atténuation du signal RADAR. Ce phénomène survient lorsque le signal traverse plusieurs zones de fortes précipitations situées entre le RADAR et la zone d'étude. Il faut en tenir compte dans l'interprétation des résultats. Un exemple de résultat est donné à la Figure 21.

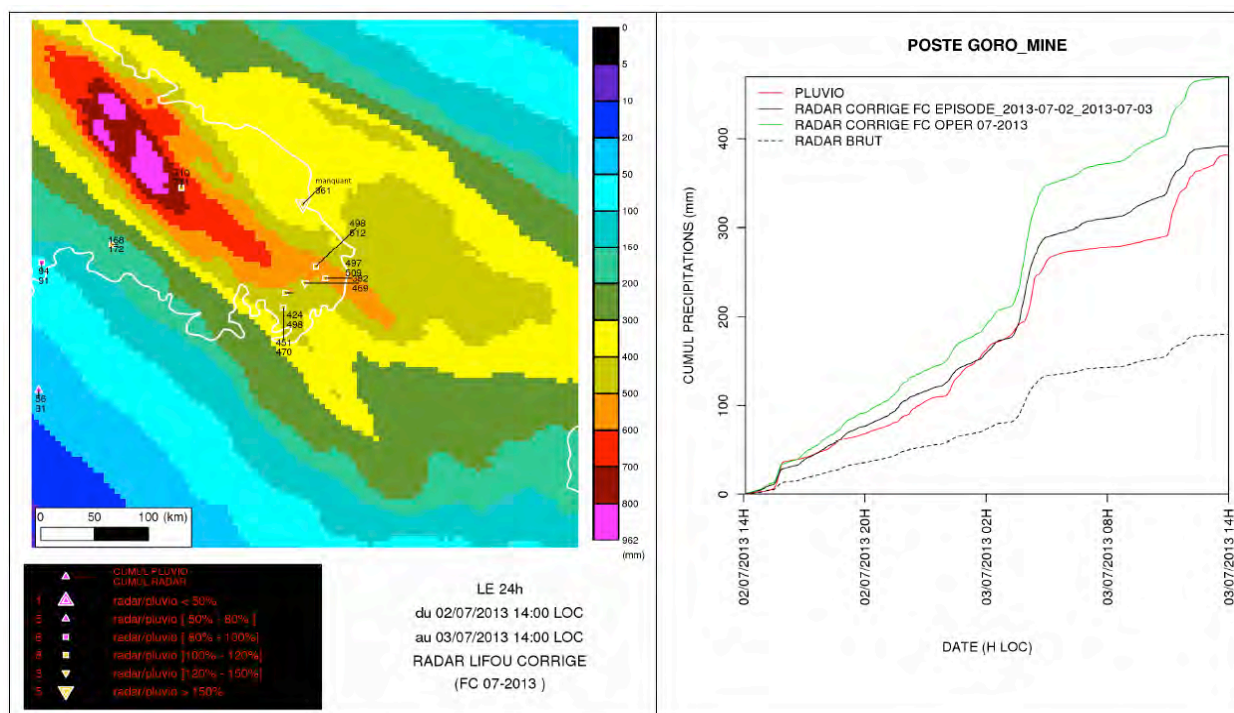


Figure 21 : Un exemple de résultat des lames d'eau radar.

*Lame d'eau corrigée (facteur correctif mensuel) du RADAR de Lifou centrée sur le site de Goro entre le 02/07/2013 14h locales et le 03/07/2013 14h locale et les séries temporelles associées.*

En juillet 2014, les résultats de l'étude ont conduit à revoir la paramétrisation des RADAR et de la chaîne de post-traitement. Aujourd'hui, la Nouvelle-Calédonie dispose d'une base de données sur les pluies extrêmes importante et fiable. Les outils et méthodes développés permettent une supervision accrue des données hydrométéorologiques, notamment la détection de données douteuses. L'outil développé pour réaliser les FC-EPISODE permet des estimations plus fiables lors de la reconstitution de séries de données, notamment celles des sites miniers parfois difficiles d'accès. Il améliore la détection des zones impactées et facilite la rédaction des rapports d'intempéries.

L'obstacle principal réside dans la difficulté à établir une relation pluies-débits simple sur l'ensemble des petits bassins versants étudiés. Il s'agit là, d'un point à traiter dans une étude complémentaire en partenariat avec la DAVAR.

En conclusion, les performances des lames d'eau RADAR sont désormais mieux connues, à des échelles plus fines que celles habituellement supervisées en météorologie. En effet, certains bassins versants étudiés étaient inférieurs au km<sup>2</sup>. En tenant compte de toutes les précautions d'usage et bien que le système soit encore perfectible, cette étude peut être un tremplin vers un système d'alerte et de suivi du risque hydrométéorologique. Il convient désormais d'étudier avec chaque acteur la faisabilité d'un tel système adapté à ses besoins.

### 3.4.5. MISE A DISPOSITION DES DONNEES ET PRODUITS DU PROGRAMME

L'objectif de ce volet a été de mettre en œuvre un système interopérable d'informations et d'observations de manière à promouvoir et pérenniser la production scientifique et technique résultant des travaux de l'ensemble de l'équipe projet.

Ce système a été conçu comme une plate-forme d'échange pour promouvoir les partenariats, initiatives et projets communs de développement dans le domaine du suivi des petits bassins miniers. La volonté était durant la phase opérationnelle du programme de permettre aux partenaires du consortium que les résultats produits par le groupe projet soient intégrés et rendus accessibles, via le centre de ressources numérique inter opérable de l'UNC, associant quatre grandes familles d'outils :

- Un outil de communication et d'information (portail) donnant accès à un moteur de recherche ;
- Un moteur d'indexation et de recherche sur les données scientifiques et techniques capable de rassembler par moissonnage les métadonnées disponibles au niveau local, national et régional ;
- Une base de métadonnées sur les données produites par les partenaires du groupe projet ;
- Un entrepôt de données (bases de données, bases de données géographiques, bases de données documentaires).

Dans une seconde phase, après la restitution du programme, l'objectif était que le système mis en place soit interopérable avec le portail du CNRT et rendu accessibles via ce dernier. Les outils mis en place pour ce programme sont :

- Un espace de travail collaboratif (<https://confluence.univ-nc.nc>);
- Deux plateformes techniques pour la capitalisation et la visualisation des données et métadonnées issues scientifiques et techniques. La plateforme de visualisation et de téléchargement des données et métadonnées géographiques est accessible à l'adresse : <http://grimm.univ-nc.nc/geoportail>. La plateforme de visualisation et de téléchargement des séries de mesures et d'observations est accessible à l'adresse : <http://servlet.univ-nc.nc/series/cnrt/index>.

Pour les bassins versants équipés intégrés dans le programme, les données recueillies et intégrées dans le système développé sont les suivantes :

- Précipitations (Basculement d'auget)
- Concentration de matières en suspension dans l'eau de ruissellement (g/l)
- Turbidité de l'eau de ruissellement (NTU)
- Débits d'eau (m<sup>3</sup>/s)

Sur chacune des stations de mesure, les données et métadonnées sont disponibles. Par exemple, sur la station dite « seuil aval » de Poro, on trouve une photo du site, la description des outils de mesure utilisés, la géolocalisation et ce qui est mesuré. Les données issues de

ces outils de mesure sont représentés sous forme de graphique et sont téléchargeables sous forme de fichier. Un exemple est donné à la figure 22.

- Une plateforme de diffusion de données documentaires. Le serveur de données documentaires est hébergé et maintenu par l'UNC (<http://orioai.univnc.nc/search-cnrt/>). Grâce à un moteur de recherche, il est possible d'interroger la base de métadonnées du moissonneur pour accéder aux descriptions des ressources et, ainsi, aux ressources elles-mêmes, où qu'elles soient.

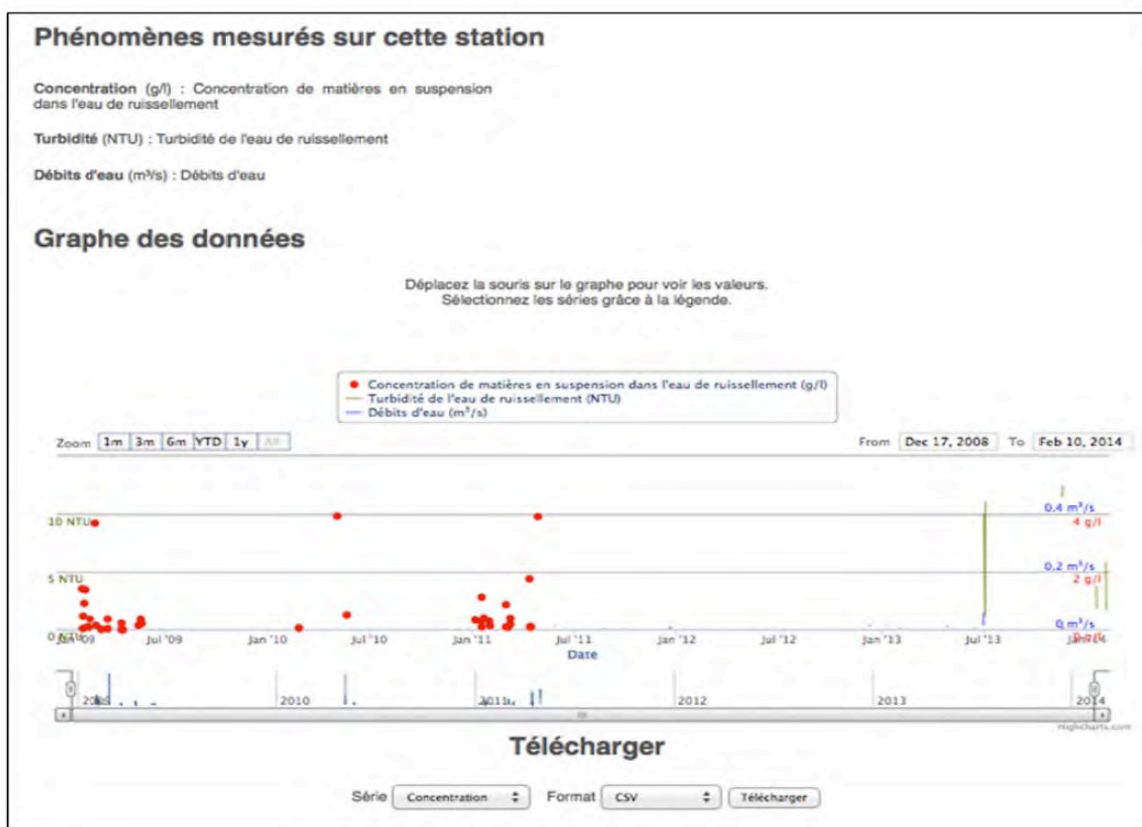


Figure 22 : Exemple de graphe des données et d'accès au téléchargement

## 4. CONCLUSIONS - ANALYSE SYNTHETIQUE ET CRITIQUE DES RESULTATS PRODUITS

### 4.1. LE CONSTAT AU TERME DU PROGRAMME

En regard des objectifs majeurs que s'était donné le programme en termes de connaissance et de comparaisons géographiques, géomorphologiques et climatiques des petits bassins versants miniers néo-calédoniens, **le consortium a produit de nombreux résultats en termes de qualification et de quantification des flux liquides et solides issus des petits bassins versants miniers.**

Toutes les contributions sont **étroitement complémentaires** et permettent de mieux comprendre au plan fondamental le fonctionnement de ces bassins, et en aval de ces résultats fondamentaux, elles débouchent sur des **propositions à finalité appliquée** directe pour la profession minière et les services techniques du territoire en charge des problématiques associées à l'hydrologie minière.

Avant la réalisation de ce programme, la connaissance sur le sujet était des plus fragmentaires, ainsi que le soulignait l'appel à projet lancé en 2009 : « En l'absence de données in situ sur les phénomènes de ruissellement et d'érosion, le CNRT « Nickel et son environnement » appelle à soumettre des projets pour une méthodologie, une mise en œuvre et une mutualisation d'acquisition de données et de suivi des principaux paramètres hydrologiques (pluie - débit - transport en solution et solide) sur des sites pilotes représentatifs de la variabilité de fonctionnement des bassins versants miniers. ».

L'absence de données in situ sur les bassins versants d'un territoire majeur de l'activité minière mondiale peut paraître paradoxale à celui qui ne connaît pas la Nouvelle-Calédonie.

Elle s'explique pourtant facilement du fait du relief fortement pentu de nombre de sites, mais aussi par les conditions climatiques exceptionnelles (dépressions tropicales et cyclones) qui peuvent survenir et qui sont susceptibles de générer de très fortes précipitations. Les deux paramètres conjugués entraînent des ruissellements superficiels rapides et très importants au plan volumétrique.

C'est lors de ces épisodes intenses qu'il faut être en mesure de réaliser des mesures qui soient significatives du fonctionnement hydrologique (quantification et qualifications de flux liquides et solides) des petits bassins versants miniers, pour estimer leur impact environnemental et trouver les solutions les plus efficaces pour le minimiser.

Ces mesures sont des plus malaisées qui soient à réaliser, sur des sites industriels sur lesquels l'accès est très contraint dans les situations climatiques qui sont pourtant les plus intéressantes à étudier. La sécurité des personnels est engagée et les installations automatisées qui peuvent être implantées pour pallier la présence physique de l'homme sont très souvent mises à mal par la violence des événements et ce, quelles que soient les précautions constructives prises. Ce sont ces difficultés qui expliquent les manques signalés par l'appel à projet.

Lorsque cet appel à projet du CNRT a été lancé, une initiative avait été mise en place par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, associant la DAVAR, l'UNC et le CFTMC, pour mettre en œuvre un bassin expérimental (en fait, deux petits bassins versants emboîtés) sur le site de la mine-école de Poro dans le cadre du programme « *Hydromine* » restitué en 2013. L'appel à projet lancé par le CNRT en 2009 faisait référence à ce programme, en appelant une réponse intégrant le « **suivi de l'installation des sites pilotes (instrumentation et monitoring) ou des sites existants (dont celui d' Hydromine à Poro), en partenariat avec les entreprises minières intéressées par leur contexte** ».

Contraint par les moyens financiers disponibles alloués par le CNRT qui ne permettaient d'installer des équipements sur d'autres sites, le consortium a conçu sa réponse à l'appel à projet en faisant **des bassins emboîtés de Poro le noyau dur géographique et le site pilote de référence de son programme**. Et il a indiqué dans celui-ci qu'il avait vocation à intégrer les sites pilotes industriels que mettraient à la disposition du programme les industriels miniers.

Les quatre années de fonctionnement ont montré une **excellente dynamique d'ensemble autour du site de Poro**, dont les résultats sont à la hauteur de ce que l'on pouvait espérer grâce à la collaboration des scientifiques du consortium et des techniciens et ingénieurs de la DAVAR qui ont étroitement travaillé, tout d'abord dans le cadre du programme « *Hydromine* », puis, dans sa prolongation financée par le CNRT pour élargir la base de données événementielles de ce site de référence. Le CFTMC a régulièrement accueilli les intervenants des deux programmes précités, contribué à la logistique (hébergement et véhicule) via les financements dédiés alloués par les programmes et accompagné, autant que ses contraintes propres (restructuration du centre) le permettaient, les actions des scientifiques et des stagiaires.

Le succès de Poro est dû à la **synergie de travail positive entre tous les partenaires autour d'une volonté commune de réussir la collecte des données sur ce site et leur validation avec des moyens matériels dédiés à la hauteur des enjeux**. Il faut également y voir le fort investissement personnel des hommes et des femmes (les stagiaires et leurs encadrants) qui ont été physiquement présents sur le site de Poro, lors des périodes clés courant de janvier à mai et qui ont pu, de ce fait, procéder aux difficiles mesures in situ que l'on recherchait.

Au-delà des séries de **données validées compilées sur Poro qui sont les premières à être fournies sur le sujet** et qui constituent une base de données unique en son genre et dont il convient de pérenniser l'acquisition, **les modélisations esquissées constituent une avancée significative de la problématique de l'hydrologie minière**. Elles ont été réalisées à différentes échelles allant de celle du massif qui permet d'appréhender les mécanismes généraux actifs dans les versants à celle des petits bassins versants miniers, au plus près de la réalité de l'exploitation. En l'état des résultats restitués, une avancée positive à court terme que l'on peut espérer passe par un travail en commun des modélisations réalisées à l'échelle des bassins emboîtés de Poro.

L'élargissement du programme à d'autres sites pilotes industriels instrumentés par les grandes sociétés minières de la **place n'a pas connu la même dynamique**. Le choix des bassins et l'accès aux résultats hydro-sédimentaires produits par les services hydrologiques internes ou les bureaux d'études intervenant en sous-traitance des sociétés minières **ont démarré lentement** et ce n'est que petit à petit, grâce aux échanges positifs lors des

séances du comité de pilotage ou au sein des réunions du groupe instrumentation, que les données espérées ont été fournies au groupe projet.

Incontestablement, la compilation de cette fourniture révèle **un déficit d'informations par rapport au site pilote de Poro**. Elle s'est faite avec un caractère oscillatoire, avec des périodes d'avancée et des périodes de calme. Cette alternance est indiscutablement liée au rythme des missions en Nouvelle-Calédonie de l'hydrologue du projet, Nicolle Mathys d'IRSTEA Grenoble. Interlocutrice spécialiste du sujet, chacune de ses interventions a été l'occasion d'une redynamisation de la démarche en termes d'hydrologie minière pure.

Fort de ce constat très vite réalisé, le groupe projet a fait évoluer le planning des missions d'IRSTEA. Initialement prévues pour être réalisées à deux, voire à trois intervenants présents de façon synchrone en Nouvelle-Calédonie une fois par an, les 15 missions prévues ont été réalisées pour l'essentiel par la même intervenante et **programmées de façon plus rapprochées dans le temps, avec des temps de séjour plus longs**, répondant ainsi à la demande exprimée par la profession.

Il faut voir dans cette **demande d'une présence d'un hydrologue spécialisé**, l'une des raisons de la contractualisation d'un ingénieur, ancien stagiaire du programme (Antoine Guyonneau), pendant cinq mois, sur financement complémentaire du CNRT, la dernière année du programme. C'est à l'initiative du comité de pilotage que s'est fait ce recrutement. A la fin 2013, les commentaires exprimés dans ce paragraphe ont, en effet, fait l'objet d'un constat partagé par l'ensemble des parties prenantes ayant suivi la progression du programme.

Ce constat portait, d'une part, **sur la reconnaissance de la qualité des informations rassemblées sur Poro, mais d'autre part aussi, sur le déficit de données et de validation de ces données, lorsqu'elles existent, sur les autres sites instrumentés**. Le même comité de pilotage a également acté le souhait affirmé de **la nécessité de donner un prolongement au programme du CNRT « Fonctionnement des petits bassins versants miniers » sur sa composante majeure : l'hydrologie minière**. Le but à court terme assigné à cette suite était de compléter et de qualifier les bases de données insuffisantes sur les sites pilotes industriels et de poursuivre l'acquisition de la série en cours sur Poro.

La démarche validée a été de recruter, dans un premier temps et pour quelque mois, un **ingénieur qualifié pouvant servir d'interface avec les chercheurs et les prestataires de service ou les services techniques des sociétés minières** en charge des mesures hydro-sédimentaires.

Ce recrutement temporaire permettait d'espérer que soit trouvée, durant la durée du contrat, une solution plus durable. **La finalité à terme de l'action était clairement de pouvoir recruter**, sur un poste dont l'implantation reste à définir et sur un financement à rechercher auprès du SIM et/ou du CNRT, **un ingénieur dédié à ces tâches, avec un engagement contractué des sociétés minières pour dégager les moyens souhaitables, matériels et humains, nécessaires à la mise en œuvre opérationnelle des bonnes pratiques à respecter** sur leurs domaines miniers. Des démarches ont été entreprises dans ce sens au cours de l'année 2014. Elles se sont révélées infructueuses pour l'instant, au jour de la restitution de ce programme, faute de prise de décision sur le financement du poste, mais la recommandation reste pleinement d'actualité au même titre que la pérennisation des mesures sur le site de référence de Poro. La responsabilité de ces mesures pourrait être confiée à l'ingénieur hydrologue à recruter, travaillant en étroite collaboration avec la DAVAR

et le CFTMC si des solutions en interne au CFTMC et à la SLN ne sont pas trouvées pour poursuivre l'acquisition des données de cette série de référence.

## 4.2. LES PERSPECTIVES

Au-delà des pistes d'amélioration suggérées dans les diverses contributions produites par les partenaires du programme, quelques perspectives d'ordre plus général peuvent être dégagées.

Une première perspective à court terme concerne **la publication d'un guide de l'instrumentation de l'hydrologie minière en Nouvelle-Calédonie**. La contribution présentée dans le rapport restitué en décembre 2014 constitue un document de base déjà bien élaboré, mais ce dernier **gagnera à être enrichi et complété par l'expérience des services territoriaux compétents en la matière, à savoir la DAVAR et la DIMENC, et c'est après une nécessaire phase d'échanges avec ces services qu'un guide sera validé et publié dans les semaines à venir.**

La seconde perspective concerne la **question du dimensionnement, de la conception et de la gestion des décanteurs**, qui est apparue comme une question cruciale pour la gestion des eaux et des sédiments sur mine. L'étude exploratoire qui a été menée en ce domaine a conclu à la nécessité de suivis et de mesures en entrée et sortie des décanteurs pour permettre de modéliser leur fonctionnement. **Un programme de recherche appliquée, réalisable dans le cadre d'une thèse dédiée à cette question a été élaboré et il est proposé à la profession et/ou au CNRT.**

La troisième perspective concerne le **recrutement souhaité d'un ingénieur d'hydrologie minière agissant en interface avec les sociétés minières** qui vont devoir élever leur niveau de compétence dans le cadre de l'évolution de la réglementation minière. Seule la création de ce poste et la volonté des sociétés minières d'affecter en interne du personnel au suivi des sites instrumentés permettront de capitaliser l'expérience du programme et de poursuivre l'action. La structure d'accueil où pourrait être affecté cet ingénieur reste à définir avec les parties prenantes. Il s'agit là, de **la recommandation prioritaire émise par le consortium scientifique à la profession**, si l'on veut capitaliser et amplifier les résultats obtenus par le programme.

Une quatrième perspective concerne les modélisations hydro-sédimentaires à l'échelle des petits bassins versants miniers. Les tentatives réalisées dans le cadre du programme ont permis de tester différentes approches. Il apparaît aujourd'hui souhaitable d'essayer de faire converger ces approches pour développer le modèle qui pourrait être mis à disposition des opérateurs miniers. Ce développement nécessite la mise en place d'un financement fléché sur l'action proposée et le rapprochement scientifique des partenaires IRSTEA et BLUECHAM SAS ayant produit les modèles présentés par le programme.

Une dernière perspective est **l'élargissement à venir de la connaissance des flux solides que vont générer les nouveaux programmes du CNRT « De la mine au lagon »**. Les deux programmes sélectionnés qui vont travailler au cours des trois prochaines années vont s'intéresser aux problématiques des flux particuliers grossiers et des MES depuis les bassins versants miniers jusqu'au lagon, sous les angles « gestion du passif » et « impacts, qualification et quantification des flux ». Une partie des partenaires du programme « Fonctionnement des petits bassins versants miniers » est impliquée dans ces programmes



à venir. Elle sera amenée à poursuivre, sous des angles d'attaque proches, les études d'hydrologie minière du présent programme dont les acquis se trouveront confortés et enrichis.

### 4.3. CONCLUSION GENERALE

**Au terme des quatre années du projet, les avancées sont notables.** Les résultats obtenus sur Poro ont montré l'intérêt et la nécessité de mesures en continu et de suivis hydro-sédimentaires sur les sites miniers. **Ce n'est qu'au prix d'un suivi sérieux pendant la saison cyclonique et d'une analyse fine des données que des résultats exploitables peuvent être obtenus.** Il sera alors possible d'accéder à la connaissance de la variabilité géomorphologique et climatique des spécificités détaillées de l'hydrologie sur sites miniers. Ceci implique une critique et une validation dans des délais courts après le recueil des données, et par la même, **la création d'un poste d'hydrologue minier** travaillant au service de l'ensemble de la profession. Il apparaît souhaitable aux membres du consortium de **poursuivre l'acquisition des séries du bassin expérimental de Poro.**

**Le projet a souffert de certains retards** dans la mise en place et la gestion des stations, ainsi que dans la production de chroniques exploitables, **hors site de Poro.** Néanmoins, **la situation s'est fortement améliorée en fin de programme** et les données qui sont maintenant produites vont fournir des chroniques exploitables pour l'analyse hydro-sédimentaire des bassins versants miniers. Toutefois, comme indiqué plus avant, **une coordination est nécessaire pour harmoniser les pratiques entre les différents sites et produire des données qui permettront des analyses comparables entre elles.** C'est à ce prix que les modélisations hydro-sédimentaires esquissées dans le cadre du programme pourront être améliorées. **Les résultats restitués laissent, en effet, espérer une avancée positive à court terme sur ce domaine des modélisations hydro-sédimentaires** à l'échelle des petits bassins versants miniers. Cela passera par la mise en commun et le développement des pistes élaborées par les partenaires scientifiques du consortium, **ce qui sous-entend que des moyens dédiés soient fléchés sur cette problématique.**

**La question du dimensionnement, de la conception et de la gestion des décanteurs est apparue comme une question cruciale pour la gestion des eaux et des sédiments sur mine.** L'étude exploratoire qui a été menée a conclu à la nécessité de suivis et de mesures en entrée et sortie des décanteurs pour permettre la modélisation leur fonctionnement. Un programme de recherche appliquée, **réalisable dans le cadre d'une thèse dédiée à cette question** a été élaboré. Là encore, pour cette question spécifique, la mise en œuvre nécessite de trouver les moyens du fonctionnement de l'action.

Enfin, **le guide méthodologique des bonnes pratiques de l'hydrologie minière devrait être rapidement diffusé.** Les délais de publication dépendent encore des nécessaires échanges à faciliter entre les rédacteurs de la version préparatoire, partenaires du consortium, et les services techniques du territoire habilités à valider un tel document, mais une version provisoire sera rapidement produite et diffusée par le CNRT .

## 5. DOCUMENTS THEMATIQUES

Les documents thématiques de ce programme sont compilés dans le Volume II du rapport scientifique final du programme « Fonctionnement des petits bassins versants miniers ». Il s'agit des contributions suivantes :

### ● **Chapitre 1 : Contribution du PPME-EA 3325 de l'Université de Nouvelle-Calédonie et associés**

- 1.1 Géosciences – Cartographie des sensibilités à l'érosion - *Michel Allenbach (UNC)*
- 1.2 Cartographie du régolithe par télédétection hyperspectrale – *Florian de Boissieu (GIE Océanide)*
- 1.3 Modélisation de l'érosion – *Rémi Andréoli (Bluecham SAS)*
- 1.4 Caractérisation physico-chimique des matières en suspension – *Cyrille Metayer & Michaël Meyer (UNC)*
- 1.5 Evolution de la chimie des eaux - *Peggy Gunkel-Grillon et coll. (UNC)*
- 1.6 Modélisation de l'érosion des bassins versants à grande échelle – *Nazha Selmaoui-Folcher (UNC)*
- 1.7 Système d'information inter-opérable – *Touraivane et coll. (UNC)*

### ● **Chapitre 2 : Contribution de l'IRSTEA, Unité ETNA, Grenoble**

- Fonctionnement hydro-sédimentaire des petits bassins versants miniers - *Nicolle Matthys (IRSTEA)*

### ● **Chapitre 3 : Contribution de l'IRD, UMR 228 Espace-Dev**

- Potentialités de la télédétection à technologie passive sur les problématiques de morphologie dynamique fluviale en Nouvelle-Calédonie – *Marc Despinoy (IRD)*

### ● **Chapitre 4 : Contribution de l'Université de la Réunion**

- Influence du cadre hydrogéologique sur l'hydraulicité des petits bassins versants minier – *Jean-Lambert Join et coll. (Univ. Réunion)*

### ● **Chapitre 5 : Contribution de Météo France**

- Apport des lames d'eau radar calibrées dans la prévision des précipitations dans les petits bassins versants en Nouvelle-Calédonie – *Temaui Tehei (Météo France, direction interrégionale Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna)*

Note : La contribution de A2EP-Roche est intégrée au Guide méthodologique des bonnes

pratiques de l'hydrologie minière, qui accompagne le présent rapport scientifique final du projet.

- Acquisition et la bancarisation des mesures de terrain (hydrologie, qualité des eaux, transport solide) – Organisation des données pour un réseau de mesures ; Méthodes et procédures de suivi adaptées au contexte de la Nouvelle-Calédonie – *Nicolas Caze (A2EP-Roche)*





CNRT "Nickel et son environnement"

---

Edition 2016

Tome Nickel et Environnement

