

SYNTHESE ET CONCLUSION
CONVENTION HYDROMINE
2009-2012



(170 pages, 93 figures, 36 tableaux, 15 annexes)

Synthèse et conclusion

Conscients de la nécessité de disposer de données quantitatives fiables sur le **fonctionnement hydro-sédimentaire des bassins versants miniers** en Nouvelle-Calédonie, les services techniques du territoire (DAVAR) ont entrepris dès 2007, en collaboration avec l'Université de la Nouvelle Calédonie (UNC), d'équiper des petits bassins versants miniers pour la **mesure des précipitations, des débits et des transports solides en suspension**. Le site retenu est la mine Française de Poro qui est gérée par le CFTMC (Centre de Formation aux métiers de la mine et des carrières).

Deux bassins emboîtés, **Poro amont (0.090 km²)** et **Poro aval (0.304 km²)** ont été instrumentés. Pour chacune des stations, un canal trapézoïdal bétonné offre une section de mesure stable et aisée à jauger. Chaque section est équipée de deux sondes de pression pour la mesure des niveaux d'eau et d'un préleveur d'échantillons. La relation hauteur-débit (courbe de tarage) a été calculée par utilisation d'un modèle hydraulique et confirmée à la fois par des jaugages in-situ et par des mesures de vitesse d'un capteur doppler installé dans la section. Deux pluviographes, l'un situé au sommet de la mine, l'autre situé près de la station de Poro aval complètent le dispositif.



Poro amont



Poro aval

Entre décembre 2008 et juin 2012, 325 épisodes pluvieux supérieurs à 5 mm ont été recensés à Poro. Ils sont répartis en trois groupes dans un catalogue des épisodes pluvieux :

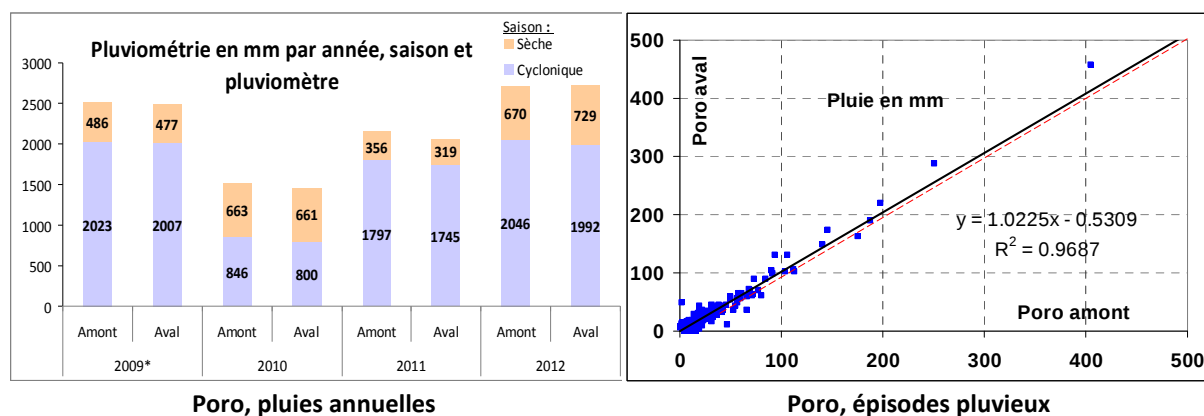
- - Les faibles : pluie entre 5 et 20 mm (232 épisodes)
- - Les moyens : pluie entre 20 et 85 mm (78 épisodes)
- - Les forts : pluie supérieure à 85 mm (15 épisodes)

Les **93 épisodes moyens et forts** ont fait l'objet d'analyses graphiques et statistiques détaillées qui permettent de mieux identifier les **facteurs influençant la réponse hydrologique** des petits bassins versants miniers et de **quantifier les exports de matières en suspension** dans les creeks et le lagon. Un épisode particulièrement fort de **plus de 500 mm en 40 heures** s'est produit le **24 décembre 2011**. Une attention particulière a été apportée à l'analyse de cet épisode exceptionnel. On peut résumer les **principaux résultats** obtenus :

Sur la relation pluie-débit :

De 2009 à 2012, la **pluviométrie annuelle**, en moyenne de **2200 mm** a varié pratiquement du simple au double (1460 mm en 2009 et 2720 mm en 2012). Les valeurs sont calculées de début décembre à fin novembre et l'année 2012 inclut l'épisode de Noël 2011 qui représente à lui seul 23 % de la pluviométrie moyenne annuelle.

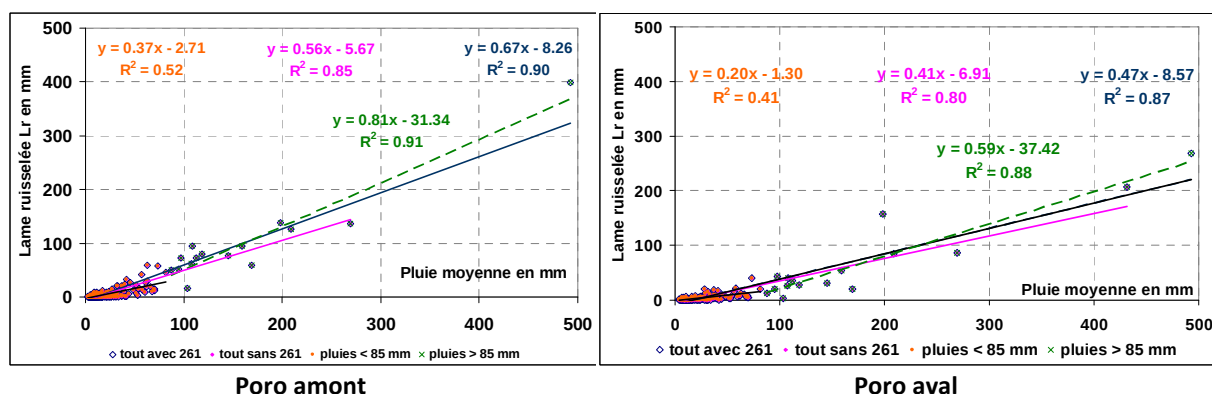
A toutes les échelles de temps, les **différences entre** les deux pluviomètres **de Poro amont et Poro aval** sont **minimes** (inférieures ou égales à 6 %).



A **Poro amont**, toute pluie supérieure à 15 mm provoque une réaction à l'exutoire et toute pluie supérieure à 55 mm provoque une crue notable. A **Poro aval**, toutes les pluies inférieures à 20 mm ne provoquent pas de réaction notable tandis que toutes les pluies supérieures à 35 mm provoquent une crue. La "pluie limite" pour initier les processus de ruissellement sur les deux bassins de Poro pourrait donc s'établir à 15-20 mm.

Les **débits maximums** observés sont de 3.6 m³/s à l'amont et de 9.2 m³/s à l'aval soit respectivement **41 et 30 m³/s/km²**. 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 pour affiner les coefficients régionaux et les facteurs de transposition d'échelle ($S^{0.75}$) proposés actuellement par la DAVAR (Terry & Wotling, 2011, Wotling et al, 2012). La pluie et surtout la fraction intense des précipitations sont les variables qui expliquent le mieux le débit de pointe. Les conditions climatiques antérieures aux épisodes de crues remarquables ne semblent pas influencer significativement les réponses des bassins versants.

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 l'amont comme à l'aval. **Pour les fortes pluies supérieures à 200 mm**, ils sont toujours **supérieurs à 0.5** à Poro amont. Les défaillances du système de drainage et les débordements amont 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 coefficients d'écoulement moyens des épisodes supérieurs à 85 mm s'établissent à 0.52 à Poro amont et 0.55 à Poro aval. **Les pentes de la relation ruissellement/pluie se redressent à 0.81 et 0.59 respectivement si on inclut l'épisode exceptionnel de décembre 2011**. La prise en compte des débordements du 24 décembre 2011, porte la valeur de Poro aval de 0.59 à 0.75.

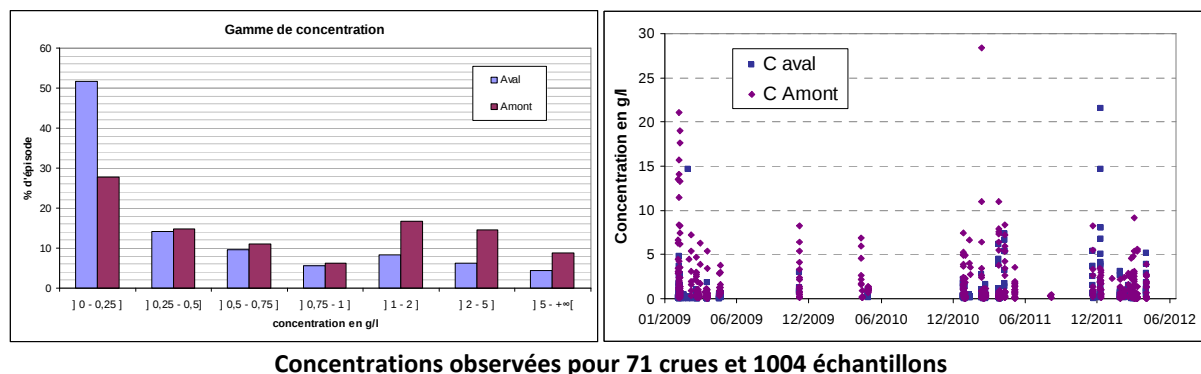
Les **temps de concentration** sont très variables : **9 à 16 mn à Poro amont et 12 à 21 min à Poro aval**. Les formules de la littérature couramment utilisées par les bureaux d'étude s'avèrent fortement

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.

Sur les flux de matières en suspension (MES) :

Au cours des 4 années de mesures 2009-2012, **71 crues ont été échantillonnées** à l'une au moins des deux stations de Poro **dont 41 simultanément aux deux stations** soit un millier d'échantillons prélevés, transportés à Nouméa et analysés au PPME. 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. Les défauts de prélèvements par panne du matériel sont très rares. Ceci confirme la **fiabilité du matériel mis en place** mais aussi la **nécessité d'associer des personnels du CFTMC** sur place à Poro pour améliorer la **gestion des relevés de préleveurs**.

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.



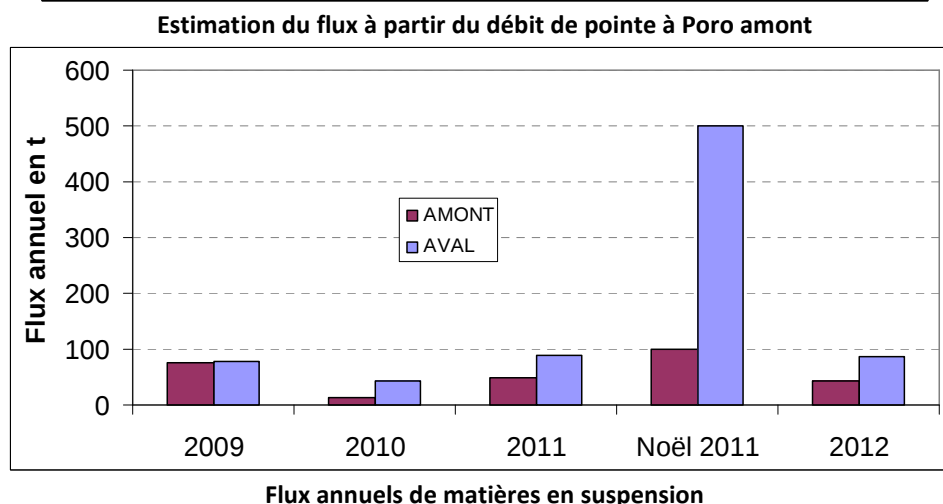
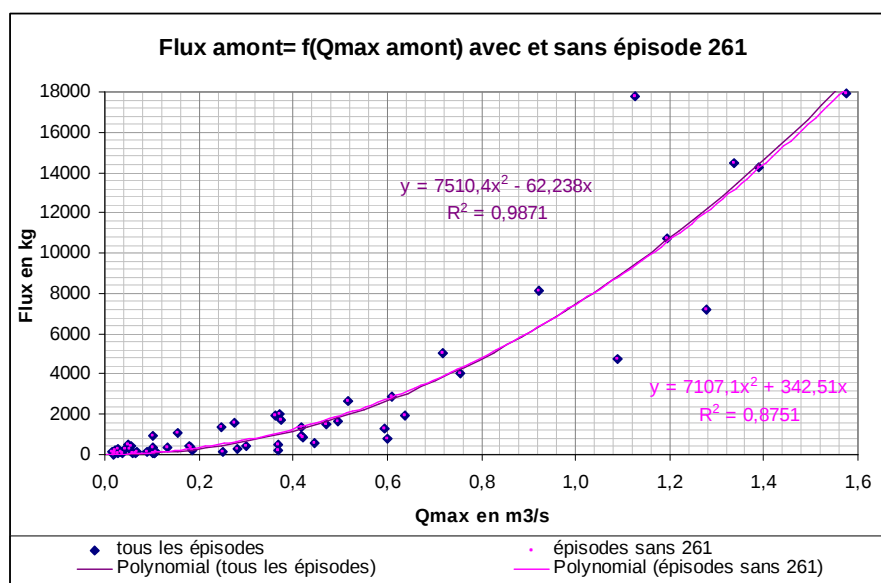
De manière classique, on n'observe pas de relation claire entre concentration et débit sur l'ensemble des échantillons mais des relations avec courbes d'hystérésis à l'échelle de la crue : à Poro amont, les crues sont généralement plus chargées en montée qu'en décrue. La situation inverse s'observe à Poro aval. **A Poro amont, les matériaux proviendraient de l'arrachement des particules sur les versants proches de la station (notamment sur la plateforme de stockage du minerai) ou de la reprise des matériaux déposés sur les pistes ou dans les fossés.** Les phénomènes d'arrachement dominent à Poro amont, ceux de transport dominent à Poro aval.

A l'échelle événementielle, il apparaît que **le débit maximum de la crue est un bon indicateur de la charge solide globale de l'épisode**. L'association avec **la fraction intense des précipitations** améliore encore la prédiction. En l'absence de données de débit, une estimation à partir des intensités maximales en 1 et 24 heures est possible.

Les matériaux en suspension sont extrêmement fins avec des diamètres médians (D50) s'étagant, entre **4 et 13 µ à l'amont, 5 et 30 µ à l'aval**. La finesse des particules explique la difficulté d'obtenir leur sédimentation dans les décanteurs.

Si on exclut l'épisode du 24 décembre 2011 (épisode 261), le flux maximal au cours d'une crue est de 18 t à l'amont et 27 t à l'aval. L'épisode de Noël 2011 a produit environ 100 t à l'amont et 500 t à l'aval. Les exports de sédiments pendant cet épisode exceptionnel sont sans commune mesure avec ceux des épisodes survenant pour des épisodes normaux, même forts.

Le flux de l'épisode de décembre 2011 représente à Poro amont 1/3 du flux global de la période et 7/10 à Poro aval. Ce seul épisode a donc exporté en quelques heures deux fois plus de matières en suspension que toutes les crues des quatre années d'observation.



Flux annuels de matières en suspension

A Poro amont, le flux spécifique moyen annuel s'élève à 140 à 900 t/km² en année normale mais atteint 1100 t/km² en année exceptionnelle. Ce bassin étant situé près des zones sources, on peut considérer qu'il fournit une estimation de la production d'une zone minière en exploitation. A Poro aval, les exportations vers le milieu naturel d'un bassin aménagé s'élèvent à 100 à 300 t/km²/an en année "normale" mais dépassent les 1500 t/km² pour un seul épisode paroxysmique.

Sur le cas particulier de l'épisode du 24 décembre 2011

Cet épisode a vu se déverser sur le site de Poro **511 mm en trente-deux heures**, soit 70 % de la pluie du mois de décembre 2011. La durée de retour du cumul sur 24h de l'épisode serait supérieure à 100 ans, selon les estimations actuelles de la DAVAR. **L'intensité maximale horaire (115 mm/h)** est également exceptionnelle (durée de retour de l'ordre de 125 ans). Les débits spécifiques de pointe sont de **41 m³/s/km²** à Poro amont et 30 m³/s/km² à Poro aval. Les **coefficients de ruissellement** sont évalués à **0.8** à Poro amont et 0.6 à Poro aval. Cependant, les observations de terrain ont montré de nombreux débordements et dérivations sur les pistes et réseaux de drainage superficiels. Des débits importants ont emprunté la piste d'accès et n'ont pas transité par la station aval. Une cartographie de ces débordements et des zones contributives à Poro aval, ont permis d'estimer que le coefficient d'écoulement sur l'ensemble du bassin est du même ordre de grandeur qu'à Poro amont, soit 0.8.

A Poro amont, seule la première pointe a été échantillonnée, tandis qu'à Poro aval la pointe principale a pu être échantillonnée jusqu'au début de la décrue. Les **concentrations à Poro aval** atteignent des **valeurs très fortes (23 g/l) jamais atteintes auparavant**. Selon les hypothèses de

concentration retenues pour les dernières pointes non échantillonnées, **le flux solide ayant transité par la station aval s'élève à 500 ± 100 t**. Si on prend en compte les volumes ayant transité par la piste et rejoint le creek plus en aval, les exports pourraient atteindre **750 t**.

Le **décanteur principal du site pilote, FRN01**, avait été curé juste avant l'épisode. Il était toujours vide après l'épisode. Ceci indique que les vitesses d'écoulement dans l'ouvrage n'ont pas permis d'y déposer les matériaux transportés. Son faible volume au regard des volumes écoulés l'a rendu **"transparent"** pour le flux solide.

Sur le fonctionnement des décanteurs

Deux décanteurs de Poro sont suivis dans le cadre du projet Hydromine, FRN01 et FRN18. Les **dispositifs de perches mis en place s'avèrent peu adaptés au suivi des dépôts** successifs en période pluvieuse.

Les estimations de volume et tonnage déduits des relevés de perche et des données de curage sont nettement supérieures aux estimations de volumes de MES transités dans les stations de mesure. Mais les matériaux extraits des décanteurs ne correspondent pas tous à des suspensions ayant sédimenté : des matériaux transportés par charriage sur le fond s'y arrêtent, les engins creusent souvent au-delà du curage précédent, des matériaux sont apportés pour faciliter l'accès des engins puis sont ensuite extraits. A minima, des analyses granulométriques des matériaux extraits permettraient de mieux cerner la part de MES dans les dépôts. Un levé topographique avant et après le curage apparaît également nécessaire pour fiabiliser les estimations.

Les volumes solides piégés permettent cependant de conclure à une **efficacité certaine de ces décanteurs pour les épisodes "normaux"**. Néanmoins, l'absence de dépôts pour la crue du 24-25 décembre 2011 montre que **ces dispositifs ne peuvent plus jouer leur rôle pour les événements extrêmes**.

Conclusion et perspectives

Le site pilote de Poro a fait la preuve de l'intérêt du suivi en continu des flux d'eau et de sédiments produits par les bassins versants miniers. L'instrumentation mise en place a fait preuve de sa robustesse et permet d'accéder aux données indispensables à la compréhension des phénomènes en jeu et à la quantification des flux. Des améliorations nécessaires ont été identifiées. Certaines, comme la mise en place de turbidimètres ont été entreprises en 2013. L'implication des équipes locales du CFTMC serait indispensable pour améliorer l'efficacité de ce dispositif de mesure d'un intérêt capital pour la connaissance de l'hydrologie en domaine minier.

Afin de faire progresser les connaissances en hydrologie minière, accroître l'efficacité des plans de gestion des eaux sur mines et optimiser la lutte contre les processus d'érosion et de pollutions liées à l'exploitation des massifs de péridotite, il conviendrait de :

- développer un réseau de sites de références suivant les différents contextes spécifiques de l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie (c'est-à-dire développer plus en avant le projet programme CNRT petits bassins versants)
- instrumenter plus précisément différents type de décanteurs pour mieux maîtriser leur performance et pouvoir tester objectivement l'efficacité de différents mode de conception (chicane, filtre,...) ou de gestion (curage, vidange volontaire, ...) peut-être plus adaptés aux caractéristiques des flux solides identifiés.
- poursuivre les séries chronologiques pour fiabiliser les analyses fréquentielles
- améliorer les stations et méthodes de mesures pour les rendre plus performantes (télétransmission, seuils d'étiages, turbidimètre, ...)
- étudier les transferts d'échelle et le devenir des flux sédimentaires de la mine au lagon (tel que prévu dans le nouvel appel à projet CNRT).