



Pacific
Community
Communauté
du Pacifique

RESCCUE

**MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF DE SUIVI HYDROLOGIQUE,
METEOROLOGIQUE ET DE L'EROSION SUR LE BASSIN VERSANT
DE LA THIEM (COMMUNE DE TOUHO)**



©E. Ehrard

L'Opérateur RESCCUE en Province Nord de Nouvelle-Calédonie consiste en un groupement de 4 entreprises partenaires :

Asconit Consultants

Eglantine Gavoty, Directeur de Projet

eglantine.gavoty@asconit.com

Bioeko

Yannick Dominique, Coordinateur technique

ydominique@bioeko.nc

Vertigo Lab

Thomas Binet

Thomas.binet@vertigolab.eu

ONFI

Quentin Delvienne

quentin.delvienne@onfinternational.org



Rédacteur Principal/Contributeur (s)
Etienne Ebrard/ Yann Queffelec, Quentin Delvienne, Freddy Rey et Eglantine Gavoty/Nicolas Bargier
Date de publication
Décembre 2015

Rappel des objectifs et composantes du projet

Le projet RESCCUE vise à contribuer à accroître la résilience des pays et territoires insulaires du Pacifique face aux changements globaux par la mise en œuvre de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Il prévoit notamment de développer des mécanismes de financement innovants pour assurer la pérennité économique et financière des activités entreprises. Ce projet régional opère sur un à deux sites pilotes dans chacun des pays et territoires suivants : Fidji, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française et Vanuatu.

RESCCUE est financé principalement par l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM), pour une durée de cinq ans (01/01/2014 - 31/12/2018). Le montant global du projet est estimé à 13 millions d'Euros. La Communauté du Pacifique (CPS) bénéficie d'un financement total de 6,5 millions d'euros : une subvention de l'AFD octroyée en deux tranches (2013 et 2016 à hauteur de 2 et 2,5 millions d'Euros respectivement), et une subvention du FFEM de 2 millions d'Euros. Le projet RESCCUE fait en complément l'objet de cofinancements. Sa maîtrise d'ouvrage est assurée par la CPS, assistée par les gouvernements et administrations des pays et territoires concernés.

Le site pilote de la « Zone Côtière Nord Est » est un des deux sites retenus pour ce projet en Nouvelle-Calédonie (NC). Le montant global du budget qui sera dédié à la déclinaison locale du projet sur ce site est de 443 k€ soit 52,8639 millions de F CFP.

La maîtrise d'ouvrage est assurée par la CPS, assistée de la Province Nord (PN). La maîtrise d'œuvre est quant à elle assurée par le consortium Asconit Consultants, Bio eKo Consultants, Vertigo lab et ONF international.

RESCCUE est structuré en cinq composantes :

Composante 1 - Gestion intégrée des zones côtières : Il s'agit de soutenir la mise en œuvre de la GIZC « de la crête au tombant » à travers l'élaboration de plans de GIZC, la mise en place de comités ad hoc, le déploiement d'activités concrètes de terrain tant dans les domaines terrestres que marins, le renforcement des capacités et le développement d'activités alternatives génératrices de revenus.

En PN de NC, cette composante se décline en deux parties principales : C1.1 le design et la mise en place d'un dispositif de suivi hydrologique, météorologique et de l'érosion et C1.2 le design et la mise en œuvre d'actions de restauration et de régulation des espèces envahissantes. La présente production s'insère dans la composante C1.1 et est le résultat de la réflexion menée sur le design du dispositif à mettre en place.

Composante 2 - Analyses économiques : Cette composante soutient l'utilisation d'une large variété d'analyses économiques visant d'une part à quantifier les coûts et bénéfices économiques liés aux activités de GIZC, d'autre part à appuyer diverses mesures de gestion, politiques publiques et mises en place de mécanismes économiques et financiers.

Composante 3 - Mécanismes économiques et financiers : Il s'agit de soutenir la mise en place de mécanismes économiques et financiers pérennes et additionnels pour la mise en œuvre de la GIZC : identification des options possibles (paiements pour services écosystémiques, redevances, taxes, fonds fiduciaires, marchés de quotas, compensation, certification...); études de faisabilité ; mise en place ; suivi.

Composante 4 - Communication, capitalisation et dissémination des résultats du projet dans le Pacifique : Cette composante permet de dépasser le cadre des sites pilotes pour avoir des impacts aux niveaux national et régional, en favorisant les échanges d'expérience entre sites du projet, les expertises transversales, la dissémination des résultats en particulier au cours d'événements à destination des décideurs régionaux, etc.

Composante 5 - Gestion du projet : Cette composante fournit les moyens d'assurer la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre du projet, l'organisation des réunions des comités de pilotage, des évaluations et audits, etc.

Table des matières

1	LES OBJECTIFS DU DISPOSITIF DE SUIVI	2
2	CONTEXTE HYDROLOGIQUE, METEOROLOGIQUE ET DE L'ÉROSION DU BASSIN VERSANT DE LA THIEM ET DE SES SOUS BASSINS	3
2.1	GENERALITES	3
2.2	HYDROGRAPHIE ET CAPTAGES AEP	3
2.3	APERÇU GEOLOGIQUE	5
2.4	COUVERTURE VEGETALE ET OCCUPATION DES SOLS	7
2.5	HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ÉTUDE	9
2.6	ACCESSIBILITE GENERALE	11
3	LES DISPOSITIFS DE SUIVI HYDROLOGIQUE, METEOROLOGIQUE ET DE L'ÉROSION – ETAT DE L'ART SUCCINCT	13
3.1	LES DISPOSITIFS EXISTANTS ET OPTIONS TECHNIQUES	13
3.2	VARIABLES A MESURER – ORIENTATIONS GENERALES	20
4	METHODOLOGIE POUR LE CHOIX DES SITES A INSTRUMENTER	23
5	ANALYSE ET DESCRIPTION SUCCINCTE DES OPTIONS	28
6	DEVELOPPEMENT DE L'OPTION RETENUE	31
6.1	SCHEMA GLOBAL D'INSTRUMENTATION	31
6.2	IMPLANTATION DES STATIONS DE MESURE	32
6.3	DISPOSITIF PROPOSE POUR LA MESURE DES DEBITS	33
6.4	MESURE DE HAUTEUR D'EAU – POSITION ET TYPE DES CAPTEURS	37
6.5	MESURE DE CONCENTRATION EN MES ET TURBIDITE	39
6.6	MESURE DE LA PLUIE	39
6.7	MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU	39
6.8	MESURE DE L'ÉROSION DES SOLS – PLACETTE D'EXPERIMENTATION	39
6.9	COUTS DU DISPOSITIF	40
6.10	MISE EN PLACE DU DISPOSITIF ET FONCTIONNEMENT	44
7	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS POUR LES ETAPES SUIVANTES	45
8	BIBLIOGRAPHIE	46
9	ANNEXES	49
	ANNEXE 1 : COMPTE RENDU DE MISSION	49
	ANNEXE 2 : DEROULE DE LA MISSION	49
	ANNEXE 3 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DE LA MISSION	49
	ANNEXE 4 : DETERMINATION DES COEFFICIENTS DE MONTANA DE LA ZONE DES BV	49
	ANNEXE 5 : DETERMINATION DE L'HYDROLOGIE DE REFERENCE POUR LES BASSINS VERSANTS PRESELECTIONNES	49
	ANNEXE 6 : GRANULOMETRIE EFFECTUEE SUR UN AFFLUANT DE LA THIEM	49
	ANNEXE 7: ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU CAPTAGE HACCINEM	49
	ANNEXE 8 : ELEMENTS SUR LES SOLUTIONS TECHNIQUES – DEVERSOIRS	49
	ANNEXE 9 : LISTE DES CAPTEURS, DE L'ENSEMBLE DU MATERIEL NECESSAIRE ET DU MAGASIN	49
	ANNEXE 10: CAHIER DES CHARGES TECHNIQUES LOT 1 = GENIE CIVIL DES OUVRAGES	49
	ANNEXE 11 : ADDENDUM AU LOT 1 = GENIE CIVIL DES OUVRAGES	49
	ANNEXE 12 : CAHIER DES CHARGES TECHNIQUES LOT 2 = INSTRUMENTS DE MESURE	49
	ANNEXE 13 : CAHIER DES CHARGES TECHNIQUES LOT 3 = PASSERELLE	49
	ANNEXE 14 : ELEMENTS CARTOGRAPHIQUES RELATIFS A L'OUVERTURE DES SENTIERS POUR LE SUIVI DU DISPOSITIF	49

Sommaire des figures

Figure 6. Coloration type des eaux sur des sols (silty-)gréseux pour des très fortes concentrations	5
Figure 7. Détermination « de manière approximative » des proportions d'argiles / à gauche prélèvements issus des sols (silty-)gréseux et à droite issus des filons de serpentinites – la flèche rouge donne la hauteur de la couche d'argile.	6
Figure 8. Extrait de la carte géologique BRGM sur le bassin de la Thiem	6
Figure 9. Répartition et type de végétation sur le bassin versant de la Thiem (source : DITTT).....	8
Figure 10. Localisation des terres coutumières (source : cadastre DITTT)	9
Figure 11. Régionalisation pour la détermination du débit instantané de période de retour 100 ans	9
Figure 12. Accessibilité : routes, pistes et sentiers	12
Figure 13. Pluviomètre à augets basculeurs et total.....	13
Figure 14. Exemple de station hydrométrique – Poro seuil amont (projet Hydromine – source UNC).....	13
Figure 15. Mesure de l'érosion par des clous (source : REY, 2002)	18
Figure 16. Topomètre laser (source : MATHYS, 2006)	18
Figure 17. Echantillonnage sur le seul amont de la mine de Poro (source UNC).....	19
Figure 18. Exemple de mesure de l'érosion sur des placettes expérimentales de 20 m ² chacune (projet CRISP, VANUATU).....	19
Figure 19. Dispositif de simulation de pluie (source : MATHYS, 2006)	20
Figure 20. Photo extraite du matériel utilisé sur le site de Poro (publi DAVAR DIMENC, Convention hydromine, Base de données sédimentologique – site pilote de poro _ rédigée par UNC)	21
Figure 21. Exemple de capteur de turbidité (capteur Poncel ; source site internet d'Aqualabo,)	22
Figure 22. Emprise des enveloppes de facilité d'accès aux sites potentiels à instrumenter (emprise de 500 m / emprise de 1 km)	24
Figure 23. Allure d'un lit de creek d'un bassin de forêt dense humide	25
Figure 24. Configuration d'un bassin de type savane avec cordon de forêt dense humide dans le fond de vallons (exemple sur le bassin voisin de Tiponite)	25
Figure 25. Distinction à mi-hauteur du versant entre une savane dense (supérieure) et une savane clairsemée.	25
Figure 26. Versant fortement dégradé à forte pente le long de la route qui mène au captage de Tipwöi. Le passage régulier des feux de brousse augmente considérablement le potentiel érosif des sols	25
Figure 27. Localisation et emprises des bassins présélectionnés. Leur superficie est comprise entre 1 ha et plus de 100 ha.....	26
Figure 28. Carte des pentes sur le bassin de la Thiem. Les polygones blancs préfigurent les zones d'intérêt des bassins versants à instrumenter.	27
Figure 29. Sélection des bassins versants potentiellement intéressants pour la mise en place d'une instrumentation	29
Figure 30. Schéma général du dispositif de suivi hydrologique, pluviométrique et de l'érosion des sols.....	31
Figure 31. Schémas des profils en long des sections de creeks à instrumenter (P37, P38, P48, T03 (en option))	32
Figure 32. Schéma des seuils de transport solide par charriage (Q _{charriage}) et en suspension (Q _{suspension}) en relation avec la qualité de la mesure et la résistance de la station	34
Figure 33. Schéma de coupe transversale : forme générale donnée aux sections de mesure	34
Figure 34. Schéma de détermination des débits et zones d'incertitude	35
Figure 35. Courbe de débit en fonction de la hauteur d'eau pour un seuil rectangulaire de 4,5 m de largeur, muni d'une échancrure centrale en V (à 90 ° de 0,5 m de hauteur et 1 m de large).....	36
Figure 36. Courbe de débit en fonction de la hauteur d'eau pour le seuil rectangulaire de la figure 35 en fort débit (augmentation de l'échelle de rendu)	37
Figure 37. Type de station hydrométrique à mettre en place (la passerelle sera disposée uniquement sur le bassin « expérimental » ; sur les autres une potence remplacera la passerelle)	38
Figure 38. Schéma des ouvrages pour l'estimation des volumes de béton nécessaire	40

Sommaire des tableaux

Tableau 1. caractéristiques géométriques et hydrauliques des bassins versants candidats	30
Tableau 2. Masses d'investissement nécessaire à la mise en place du dispositif de suivi hydrologique, météorologique et de l'érosion.	43
Tableau 3. Estimation des coûts de fonctionnement annuel du dispositif	44
Tableau 4. probabilité qu'un épisode de pluie ou débit de période de retour T se produise pendant une durée d'observation D	45

Liste des abréviations et acronymes

AEP	Alimentation en Eau Potable
AFD	Agence Française de Développement
BE	Bureau d'Etudes
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BV	Bassin Versant
CEN	Conservatoire des Espaces Naturels
CEREMA	Centre d'études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CFTMC	Centre de Formation aux techniques de la Mine et des Carrières
CI	Conservation International
CNRT	Centre National de Recherche Technologique sur le nickel et son environnement
COPIL	Comité de Pilotage
CPS	Communauté du Pacifique
CRISP	Coral Reef Initiative for the South Pacific
DAVAR	Direction des Affaires Vétérinaires et Alimentaires
DDEE	Direction du Développement Economique et de l'Environnement de la PN
DIMENC	Direction de l'Industrie, des Mines et de l'énergie de la NC
DITTT	Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres
EE	Espèces envahissantes
FCFP	Franc des Collectivités Françaises du Pacifique
FFEM	Fonds Français pour l'Environnement Mondial
GIZC	Gestion Intégrée des Zones Côtières
GSM	Global System for Mobile Communications
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
ISO	Organisation internationale de normalisation
MES	Matière En Suspension
MF	Million de Francs
NA	Non Applicable
NC	Nouvelle Calédonie
NF	Norme Française
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
ONF	Office National des Forêts
ONFI	Office National des Forêts Internationale
PM	Patrimoine Mondial
PN	Province Nord
PPME	Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement
RTM	Restauration des Terrains en Montagne
SIG	Système d'Information Géographique
SMRA	Services des Milieux et Ressources Aquatiques de la DDEE-PN
SMRT	Services des Milieux et Ressources Terrestres
TN	Terrain Naturel
UMR - ETNA	Érosion torrentielle, neige et avalanches (IRSTEA)
UNC	Université de Nouvelle Calédonie
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
UTC	Temps universel coordonné
ZCNE	Zone Côtière Nord Est

1 LES OBJECTIFS DU DISPOSITIF DE SUIVI

Les termes de références du projet RESCCUE PN ont défini l'objectif premier du dispositif de suivi hydrologique, météorologique et de l'érosion qui est d'aller vers une quantification des phénomènes et de comparer les effets de différents états et usages des sols.

Suite à l'état des lieux et la formulation de termes de référence spécifiques au présent livrable, l'instrumentation dans le bassin versant de *la Thiem* (Figure 1) a été précisée et doit permettre de répondre aux points suivants :

- proposer une instrumentation pour quantifier les flux solides et liquides produits par une sélection de sous-bassins versants de *la Thiem* (en lien avec la problématique de la qualité d'eau potable et des eaux troubles dans le lagon) présentant des occupations du sol différentes ;
- prendre en compte les contraintes de site (accessibilité, récurrence des feux et vandalisme) ;
- mettre l'accent sur la mise en place de mesures démonstratives pour les populations locales.

Au cours de l'étude de faisabilité, à travers les discussions et réunions avec la DDEE, les objectifs initiaux ont été affirmés ainsi que les modalités de mise en œuvre :

- adapter l'instrumentation pour qu'elle permette de générer des données en lien avec les pressions majeures sur les milieux (espèces envahissantes -cerfs et cochons- et feux) avec comme vision l'amélioration continue des mesures de gestion ;
- la mise en œuvre du dispositif, ainsi que son entretien et sa surveillance, doivent faire participer les habitants des tribus de Poyes et Tiwaé (dont l'identification et la formation d'un technicien pour le suivi du dispositif). Le dispositif doit pouvoir intégrer des ateliers démonstratifs ;
- le dispositif doit être autant que possible automatisé (pour réduire les coûts d'entretien) et modulable (pour intégrer d'autres capteurs par la suite).

La réunion de restitution de la mission de terrain d'Etienne Ebrard (ONFI/ONF RTM – Annexe 1) du 7 octobre 2015 a permis de préciser les montants maximum mobilisables par la Province Nord pour couvrir les coûts d'investissement du dispositif et son fonctionnement annuel. Le programme de la mission est présenté en Annexe 2 et un reportage photographique en Annexe 3.

La Province Nord souhaite que les montants associés à l'investissement du dispositif soient inscrits sur le budget de l'exercice 2016 dont la clôture de programmation a lieu début décembre 2015. Ainsi, il a été convenu qu'après la transmission du livrable L1.5 au 8 novembre 2015, l'ONFI appuie la DDEE pendant le mois de novembre pour l'obtention de devis.

2 CONTEXTE HYDROLOGIQUE, METEOROLOGIQUE ET DE L'EROSION DU BASSIN VERSANT DE LA THIEM ET DE SES SOUS BASSINS

2.1 Généralités

Le bassin de *la Thiem*, de forme assez ramassée¹, possède une superficie de 64 km² et culmine à plus de 1 000 mètres d'altitude.

Son orientation générale Nord-Nord-Est ouverte sur les alizés, associée à présence de la crête des lèvres formant une barrière orographique, lui confère une prédisposition aux forts épisodes de crue (Figure 1).

Après un parcours de plus de 14 km avec une déclivité moyenne de 7%, *la Thiem*² se jette directement dans le lagon. Curieusement, contrairement à la plupart des fleuves voisins, il n'y a pas de mangrove à l'interface avec le lagon, mais une zone analogue à une lagune (Figure 2).

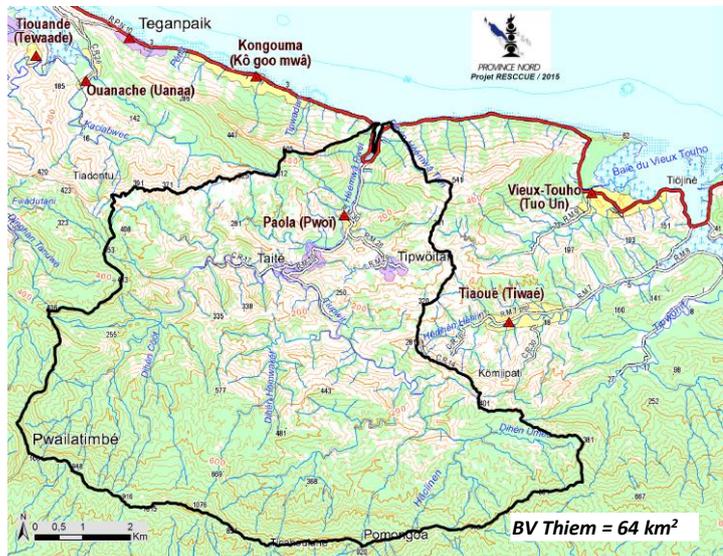


Figure 1. Situation géographique générale du bassin de la Thiem

L'absence de mangrove à l'embouchure indique que les sédiments les plus fins arrachés au bassin versant (argiles et silts) n'arrivent pas à se déposer sur cet interfluve. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette spécificité, notamment la présence d'un lit rocheux qui descend assez bas vers le lagon et favorise l'effet de « chasse » assez loin dans le lagon, la présence des deux épaulements rocheux qui donnent la forme d'entonnoir au bassin, ainsi que la torrencialité marquée des écoulements de crues.

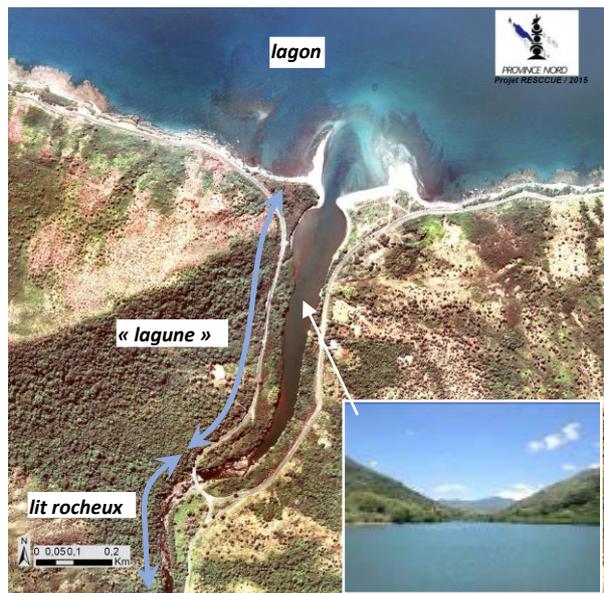


Figure 2. Particularité de l'interface Thiem – lagon

2.2 Hydrographie et captages AEP³

Le bassin versant de *la Thiem* se décompose en deux sous-bassins versants principaux (Figure 3Error! Reference source not found.) :

- celui de la *Dihèn Timwâpaé*, à l'est, avec une superficie de 21,1 km² et une pente moyenne du lit de 7%,
- celui de la *Dihèn Tipwöi*, à l'ouest, avec une superficie de 30,8 km² et une pente moyenne du lit de 9%.

¹ Contrairement à un bassin versant de forme allongée dont la réponse hydrologique est plus lente.

² Pour simplifier la désignation de ce cours d'eau nous retenons le nom de la Thiem mais le véritable nom du fleuve est la Héémwâ Pwéi (d'après SIG DITTT).

³ Abréviation d'Adduction en Eau Potable

Le bassin versant entre la confluence des deux précédents et le lagon possède quant à lui une superficie de 11,9 km² et une pente moyenne du lit de 0,5%.

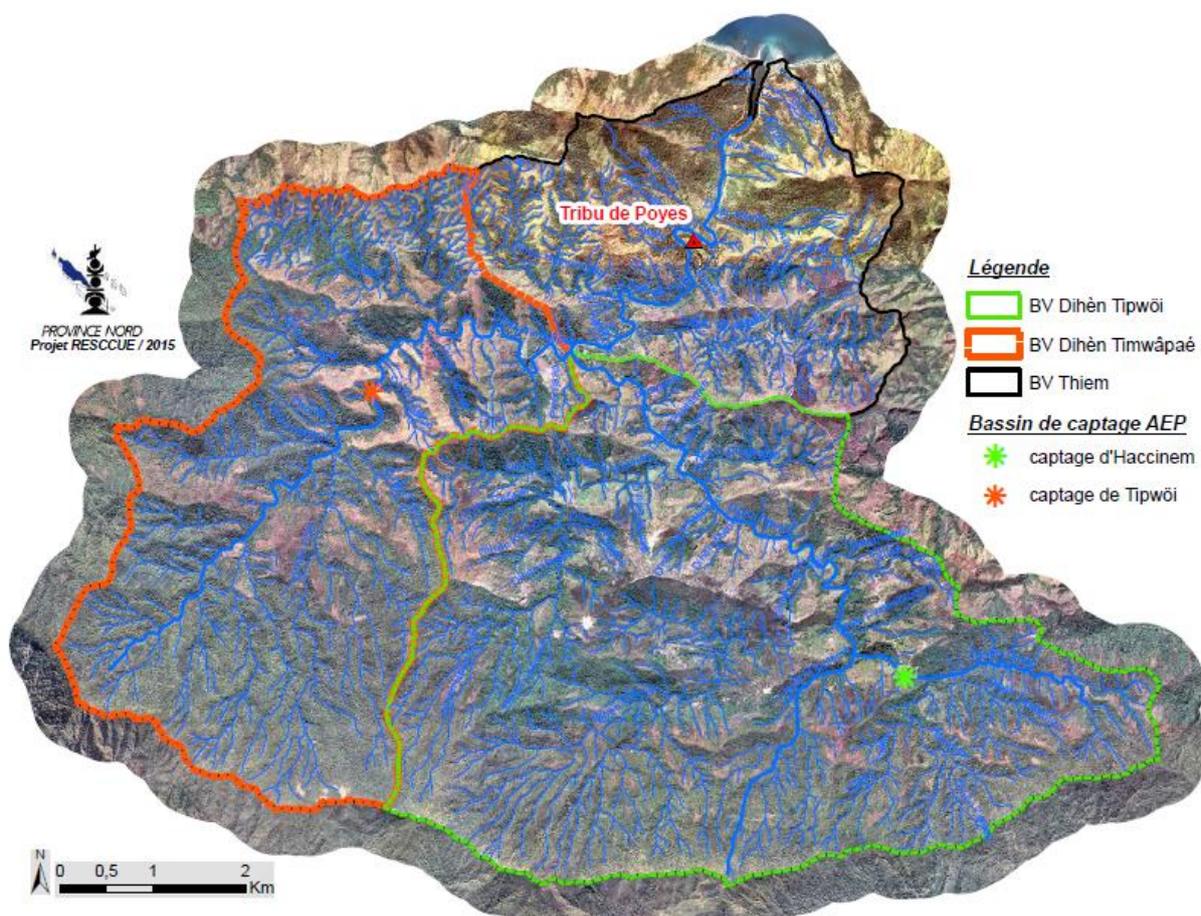


Figure 3. Réseau hydrographique et décomposition en sous-bassins

La **Error! Reference source not found.** Figure 3 permet de localiser les bassins versants des deux captages AEP de la commune que sont HACCINEM (dans le bassin de la *Dihèn Tipwöi*) et TIPWÖI (dans le bassin de la *Dihèn Timwâpaé*)¹.

Captage d'HACCINEM (Figure 4)

Le captage d'Haccinem draine un bassin versant de 6 km². Il est assuré par deux barrages de prise d'eau distants de 200 mètres. Le captage amont aurait été réalisé plus tard pour pallier les problèmes de turbidité et de qualité médiocre du captage aval.

Néanmoins, à l'amont immédiat des deux points de prélèvement, on observe des secteurs fortement piétinés par le gibier (cerfs et cochons sauvage) avec présence de déjections nombreuses. Ce souillage des eaux est confirmé par le taux important des coliformes totaux présents dans l'eau (sans pour autant provoquer d'intoxication car le taux d'*Escherichia coli* reste en dessous de la norme de tolérance après traitement).

La mauvaise qualité de l'eau sur ce captage (analyses données en annexe 7) provient en grande partie du non-respect de la réglementation en vigueur et notamment de l'absence de périmètre de protection immédiat².

¹ On prendra garde à bien remarquer que d'après la toponymie DITTT, le captage AEP de Tipwöi ne se trouve pas dans le bassin de la *Dihèn Tipwöi*.

² Le projet de délimitation des périmètres immédiats des captages est en cours de développement au sein des services techniques de commune de Τουνο.



Figure 4. Vue générales du captage d'Haccinem aval (à gauche) et captage amont (à droite)

Captage de Tipwöi (Figure 5)

Le captage de Tipwöi, avec une prise d'eau unique, présente des usures du temps assez marquées (conduites fortement corrodées et percées par endroit). Le bassin versant drainé est de 12 km². La qualité de l'eau avant traitement est assez médiocre (forte teneur en *Escherichia coli* et Entérocoques). Ces taux anormalement élevés de matières fécales sont dus à la forte concentration d'espèces animales invasives.



Figure 5. Vue générale de l'ouvrage de captage de Tipwöi (à gauche) et détails sur le dégrilleur (en haut à droite) et sur les bassins supérieurs de décantation (en bas à droite)

2.3 Aperçu géologique

La majeure partie du bassin versant de la Thiem occupe des formations de schistes silto-gréseux (près de 75 %) et schistes gréseux (15%) comme le présente la Figure 6.

L'altération de ces roches (pluies, vent, feux, passage d'animaux) produit une proportion importante d'argiles et de silts qui sont ensuite lessivés par les forts épisodes pluvieux, puis transportés par les crues et rejetés in fine dans le lagon¹.



Figure 6. Coloration type des eaux sur des sols (silty-)gréseux pour des très fortes concentrations

¹ Lors des investigations de terrain il a été très difficile d'identifier des zones de dépôts des matériaux fins en aval du bassin. Dans le cadre d'une plongée à l'embouchure de la Thiem faite par le club de plongée de Точно, ces dépôts d'argiles auraient été identifiés, confirmant le lien (qui reste à évaluer) entre l'érosion des bassins et l'impact sur les fonds marins (il n'est pas possible de dire si cet impact est négatif pour le lagon dans l'état des connaissances actuelles).

L'analyse des sols en place montre que la proportion en éléments fins peut être importante. Des constatations très sommaires réalisées pendant la mission d'expertise ont permis de quantifier « de manière approximative » cette proportion¹. Elles ont consisté à diluer des prélèvements de sols dans de l'eau pour donner une idée de la teinte des écoulements chargés en matériaux fins (couleur crème de café pour les sols gréseux et ocre pour les formations de serpentinites).



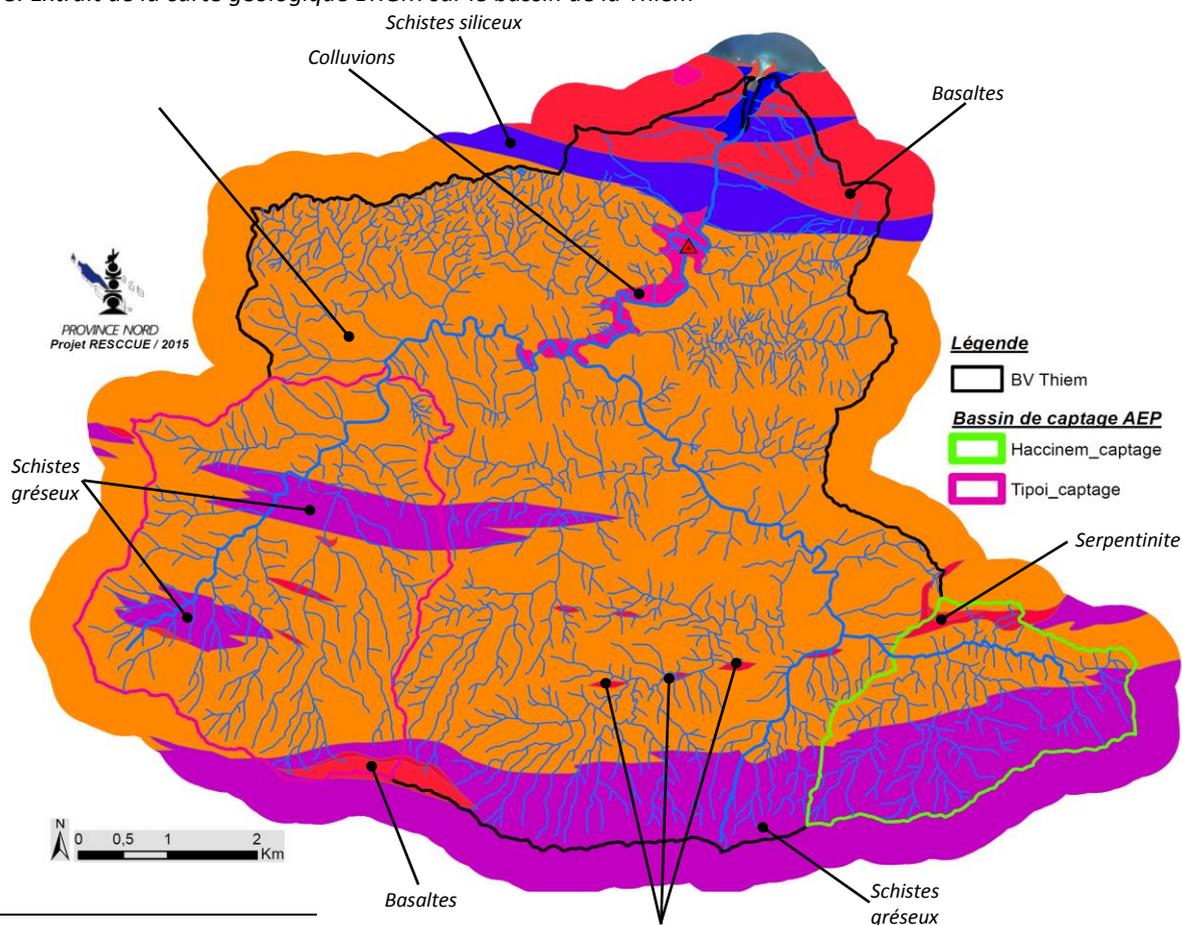
Figure 7. Détermination « de manière approximative » des proportions d'argiles / à gauche prélèvements issus des sols (silt-)gréseux et à droite issus des filons de serpentinites – la flèche rouge donne la hauteur de la couche d'argile.

Le prélèvement issu des sols gréseux (à gauche) présente une quantité de matériaux fins de l'ordre de 75 %.

Le prélèvement issu des filons de serpentinites (au-dessus d'Haccinem) présente une quantité de matériaux fins de l'ordre de 60 %. Les éléments fins transportés par les précédentes crues n'ont pas été retrouvés, ni dans les creeks, ni dans la partie aval

du bassin. Les volumes de matériaux fins arrachés aux versants seraient alors rejetés en quasi-intégralité au lagon. A contrario, les éléments plus grossiers (sables, graviers et blocs) se retrouvent généralement dans les lits des rivières principales à faible pente sous la forme d'atterrissement aux endroits classiques (méandres, derrière les obstacles, etc.).

Figure 8. Extrait de la carte géologique BRGM sur le bassin de la Thiem



¹ Il s'agit de caractériser la composition des sols en place. Une détermination précise des proportions d'argile nécessiterait des analyses géotechniques en laboratoire bien spécifiques.

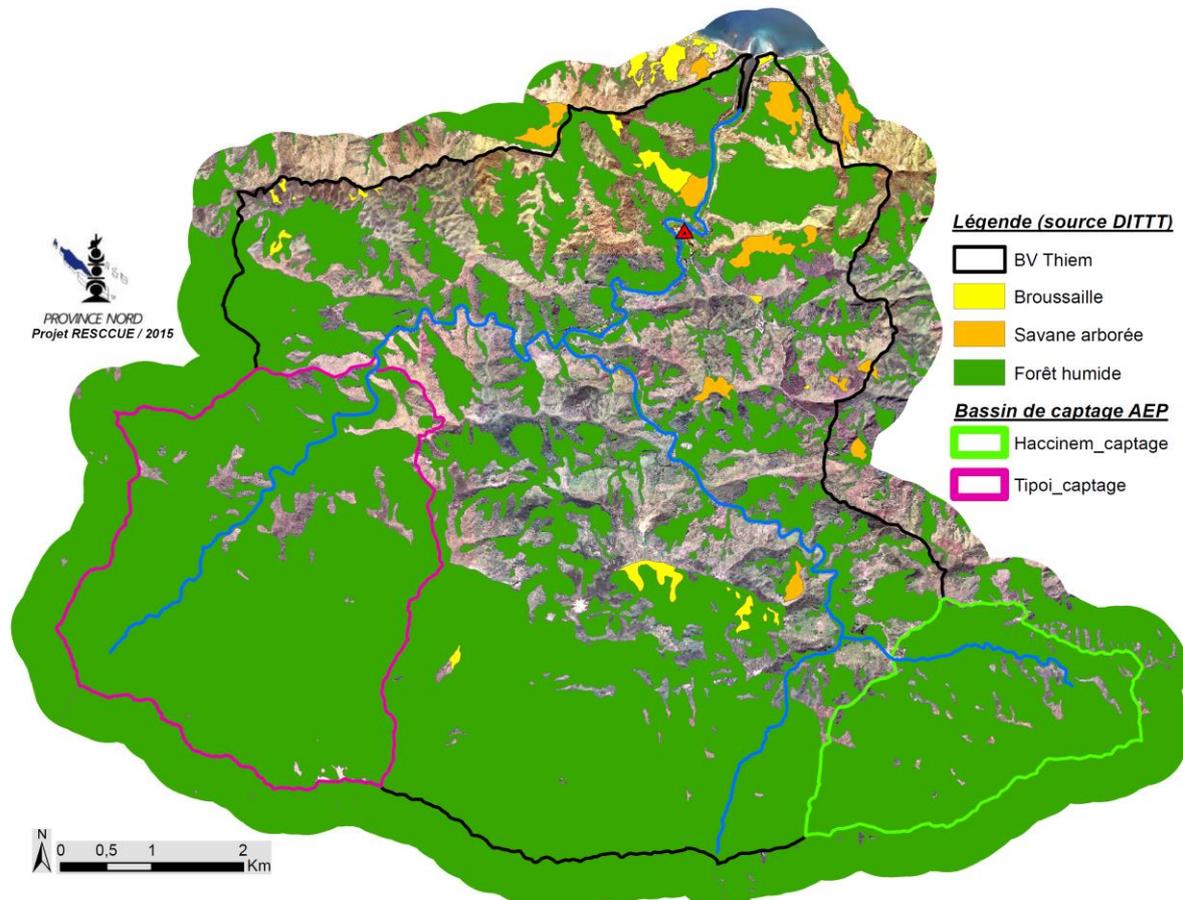
2.4 *Schistes Silto-gréseux*

Couverture végétale et occupation des sols

2.4.1 VEGETATION

L'occupation des sols issue de la carte DITT indique une proportion importante de couverture de forêt dense humide, essentiellement sur la partie haute du bassin versant de *la Thiem*. Les investigations de terrain ont montré que la réalité est assez différente car ce qui est représenté sur la Figure 9 comme étant de la forêt dense humide est dans de grandes proportions souvent de la savane dense, voire clairsemée. Cette différenciation sera essentielle dans la caractérisation des bassins candidats pour l'instrumentation. A cette fin, une digitalisation plus précise a été réalisée sur les bassins potentiels afin d'en faire ressortir les véritables couvertures de sols.

Figure 9. Répartition et type de végétation sur le bassin versant de la Thiem (source : DITTT)

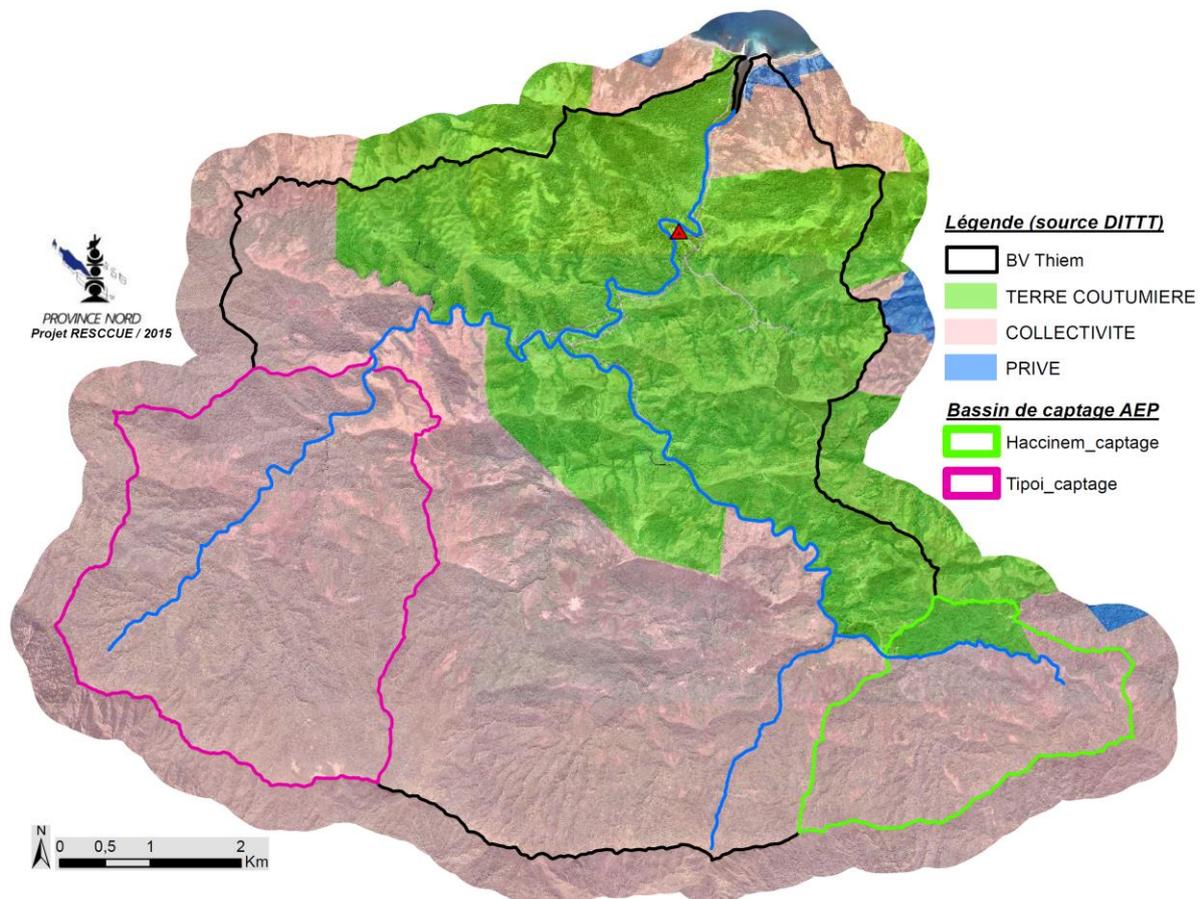


2.4.2 TERRES COUTUMIERES

Le dispositif, aussi bien dans sa définition que dans sa réalisation et son suivi, doit être réfléchi en prenant bien en compte les spécificités d'usage liées à la présence de terres coutumières des tribus de Poyes et de Tiwaé.

La Figure 10 donne la répartition des terres coutumières sur le bassin de la Thiem. Les secteurs qui paraissent intéressants à instrumenter se situent essentiellement en terres coutumières. Même si lors des échanges préalables le projet a reçu un avis favorable de la part des tribus de Poyes et Tiwaé, il devra être précisé et validé par les conseils coutumiers avant toute construction des sections de contrôle, des accès et de l'installation des instruments et placettes de mesures.

Figure 10. Localisation des terres coutumières (source : cadastre DITTT)



2.5 Hydrologie de la zone d'étude

La DAVAR a établi en 2009 un recueil des débits caractéristiques de la NOUVELLE-CALÉDONIE (ALRIC R., 2009) afin de proposer des formules sommaires pour la détermination des quantiles de référence, notamment pour les épisodes de crues.

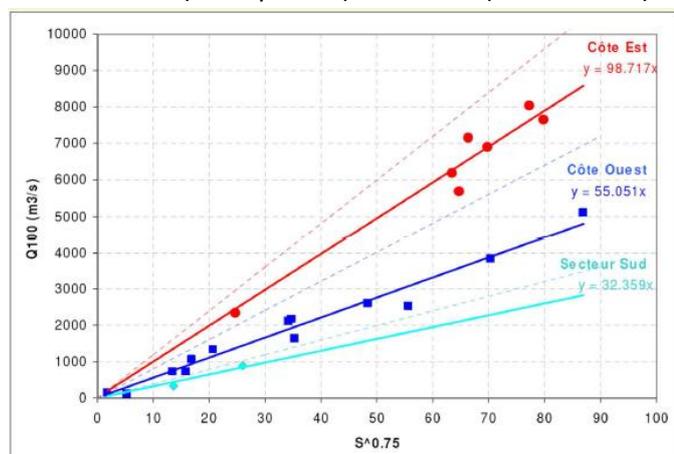
Ces formules ont été déterminées sur la base d'un échantillon de 22 stations hydrométriques drainant des superficies de bassins versants allant de 9 km² (BV Papainda) à 385 km² (BV Tontouta).

La régionalisation de ces formules a permis d'établir une équation simple entre la surface des bassins versants et le débit de pointe centennal sur la région d'étude (côte Est) :

$$Q_{100} = 100 \cdot S^{0,75}$$

avec Q_{100} en m³/s et la surface S en km².

Figure 11. Régionalisation pour la détermination du débit instantané de période de retour 100 ans



Par ailleurs, cette méthodologie a permis de déterminer les quantiles de débit pour les plus faibles périodes de retour. On a ainsi les relations suivantes :

$$Q_2 = \frac{1}{4,98} \cdot Q_{100} \quad ; \quad Q_{10} = \frac{1}{1,81} \cdot Q_{100} \quad ; \quad Q_{50} = \frac{1}{1,15} \cdot Q_{100}$$

Pour fixer les idées, en appliquant cette méthode au bassin versant total de *la Thiem* (64 km²), on obtient les débits caractéristiques suivants :

$$Q_{100} \approx 2\,200 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (soit } 35 \text{ m}^3/\text{s par km}^2\text{)}$$

$$Q_{50} \approx 1\,900 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (soit } 30 \text{ m}^3/\text{s par km}^2\text{)}$$

$$Q_{10} \approx 1\,200 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (soit } 19 \text{ m}^3/\text{s par km}^2\text{)}$$

$$Q_2 \approx 450 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (soit } 7 \text{ m}^3/\text{s par km}^2\text{)}$$

Le projet d'instrumentation est destiné à caractériser de très petits bassins versants (quelques dizaines d'hectares). En première approche, il pourrait être tentant d'appliquer les formulations sommaires précédentes¹. Par exemple, on considère un petit bassin versant de 10 ha (0,1 km²). On obtient $Q_{100} \approx 18 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un débit spécifique de l'ordre de 180 m³/s par km² (valeur anormalement élevée !)².

La détermination des débits caractéristiques des petits bassins de l'étude se fera donc avec la méthode rationnelle :

$$Q_T = \frac{C_R \cdot i(t_c, T) \cdot S}{3,6}$$

avec : Q_T : débit de pointe de la période de retour T (m³/s)

C_R : coefficient de ruissellement du bassin, fonction de T

$i_{mm/h}(t_c, T)$: intensité de la pluie de durée t_c et de période de retour T (mm/h)

S : superficie du bassin versant (km²)

t_c : temps de concentration³ du bassin (h)

Pour réaliser le calcul il est impératif de déterminer préalablement les coefficients de Montana liés au contexte pluviométrique de la zone d'étude⁴ :

$$P_{mm}(t_c, T) = a_T \cdot t_c^{1-b} \quad \text{et} \quad i_{mm/h}(t_c, T) = a_T \cdot t_c^{-b}$$

avec : $P_{mm}(t_c, T)$: hauteur de pluie de durée t_c et de période de retour T (mm)

a_T et b : coefficients de Montana de la période de retour T pour la zone géographique étudiée

La synthèse et la régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie (Davar, Nicolas ROMIEUX, 2011) permettent de retenir les coefficients de Montana suivants (voir annexe 4):

$$a_{T=100} = 120 \text{ mm}$$

$$a_{T=10} = 86 \text{ mm}$$

$$b = 0,32 \text{ (cette très faible valeur de } b \text{ caractérise l'influence du relief et la survenue de nombreuses pluies brèves et intenses)}$$

Les bassins étudiés dans la suite (partie des scénarios envisageable) comportent des temps de concentration⁵ compris dans la gamme [5 min ; 10 min].

¹ Tentative de calcul même si la méthode indique ne pas s'appliquer en dehors de l'échantillon de calage.

² Cette valeur se situe bien au-delà des records mondiaux connus ce qui confirme son invraisemblance.

³ Temps que met la goutte d'eau tombée à l'extrémité du bassin pour atteindre l'exutoire en suivant le plus long chemin hydraulique.

⁴ La pluie de projet retenue est fonction du temps de concentration t_c du bassin.

⁵ Le calcul des temps de concentration a été réalisé soit en considérant un transfert à la vitesse moyenne de 2 m/s, soit avec la formule de Kirpich adaptée pour les très petits BV. Ces deux méthodes donnent des résultats similaires.

Les intensités pluvieuses correspondantes sont alors :
 pour l'occurrence centennale → [212 mm/h ; 265 mm/h]
 pour l'occurrence décennale → [150 mm/h ; 190 mm/h]

Par ailleurs, le choix du coefficient de ruissellement C_R influence fortement le résultat du calcul de débit. Une multitude d'abaques et de retours d'expérience¹ existent pour le choix de ce coefficient. Ce coefficient dépend essentiellement de l'intensité de l'épisode de pluie (et donc de sa période de retour) ainsi que de l'occupation des sols (végétation, usage) et de la morphologie des terrains (pente, géologie).

Les coefficients de ruissellement retenus dans cette étude sont les suivants :

Coefficients de ruissellement			
valeur médiane			
[gamme]			
Type de BV	C_R (100 ans)	C_R (50 ans)	C_R (10 ans)
forestier	0,6 [0,5 ; 0,7]	0,4 [0,35 ; 0,5]	0,3 [0,25 ; 0,35]
savane avec cordon foret	0,7 [0,6 ; 0,8]	0,5 [0,45 ; 0,6]	0,4 [0,35 ; 0,45]
très dégradé	0,9 [0,8 ; 1]	0,7 [0,6 ; 0,8]	0,5 [0,4 ; 0,6]

La détermination des débits caractéristiques sur les bassins intéressants à instrumenter (station de jaugeage) est un préalable indispensable, afin de rendre autant que faire se peut la pérennité des installations (résistance du génie civil, éviter le contournement des écoulements, localisation des instruments).

Les valeurs de débits sont données pour chaque BV retenu dans le paragraphe §6 (dispositif retenu).

Enfin, on notera que sur le bassin versant de *la Thiem*, de nombreux jaugeages hydrométriques auraient été réalisés² sur des petits bassins dont certains ont une surface d'à peine 76 ha (Tiwaé_aval_barrage), avec une dizaine de jaugeages réalisés entre 1981 et 1983. Les autres sections mesures correspondent à des bassins allant de 8 km² à 14 km². Pour chacun d'eux il aurait été réalisé 60 et 90 jaugeages dans les années 1980. Nous ne disposons pas des résultats des jaugeages et nous ne savons pas s'ils ont été réalisés en période de forts ou faibles débits.

2.6 Accessibilité générale

L'accès aux tribus de Poyes et de Tiwaé se fait par des routes goudronnées de qualité convenable. En période de crue, les accès peuvent être problématiques, surtout pour accéder à la tribu de Poyes (problème de passages à gué à proximité de la tribu) et par conséquent l'accès aux bassins supérieurs (*dihèn Timwâpaé* et *dihèn Tipwöi*) est rendu impossible.

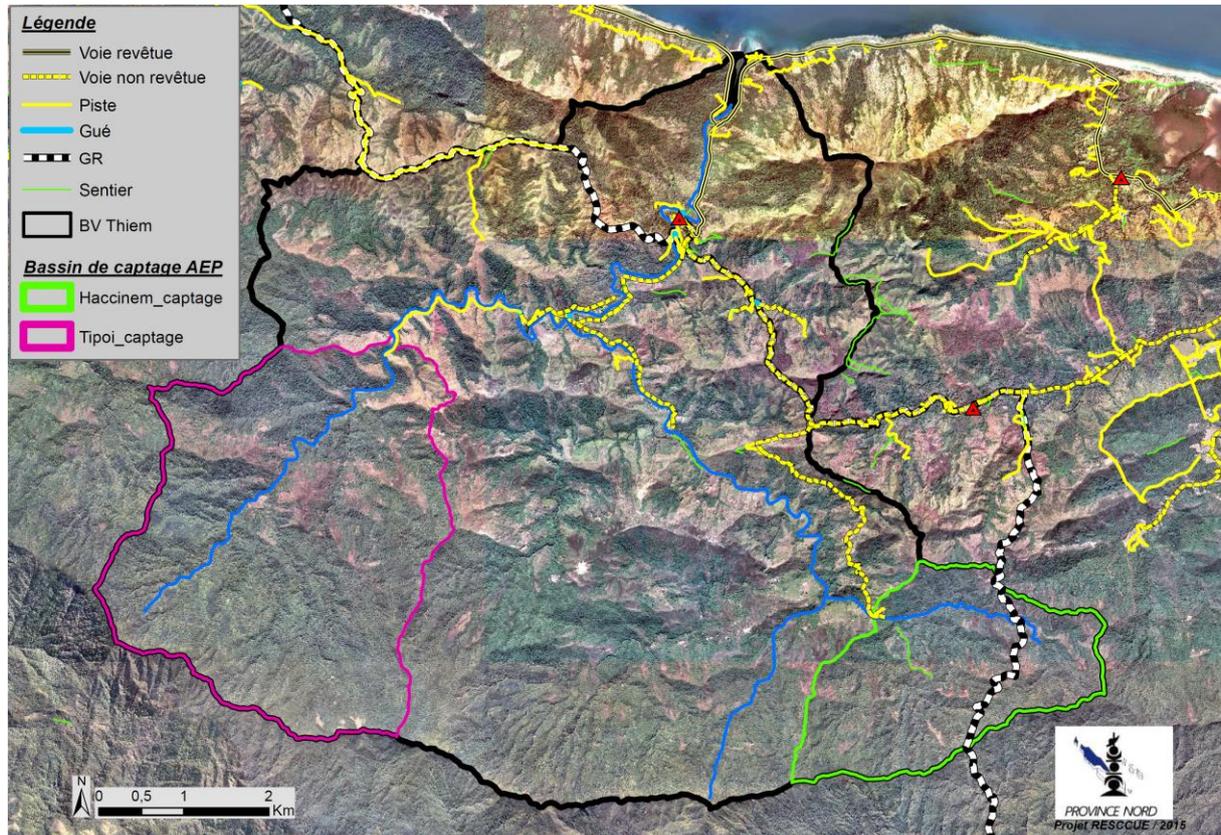
En période de crue, il est préférable de passer par la tribu de Tiwaé pour accéder au bassin supérieur de la *dihèn Tipwöi* (vers le captage AEP d'Haccinem) même si un passage à gué peut poser problème en période de fortes pluies.

¹ Les analyses comparatives pluie/débit réalisées sur le site de Poro (projet Hydromine) ont montré que le coefficient de ruissellement est relativement fluctuant selon les épisodes. Compte tenu qu'il s'agit d'une configuration très différente, nous faisons le choix de ne pas reprendre ces coefficients.

² Information donnée par les couches SIG de la DAVAR (shape Stations de jaugeages)

Hormis le sentier de Grande Randonnée très bien entretenu, les autres sentiers sont assez sommaires et étroits. De manière générale, l'accessibilité au bassin supérieur de *la Thiem* est plutôt mauvaise dans l'état actuel. Dans le cadre de la mise en place du dispositif, il est nécessaire d'améliorer et de sécuriser les accès, aussi bien dans une perspective de construction des ouvrages de mesure que pour en assurer le suivi.

Figure 12. Accessibilité : routes, pistes et sentiers



3 LES DISPOSITIFS DE SUIVI HYDROLOGIQUE, METEOROLOGIQUE ET DE L'EROSION – ETAT DE L'ART SUCCINCT

3.1 Les dispositifs existants et options techniques

3.1.1 SUIVI METEOROLOGIQUE

Le suivi météorologique est entendu dans notre cas d'étude comme étant la mesure de la pluie au sol¹, du vent et de la température.

La pluie peut être quantifiée selon différentes périodes d'observations. La mesure la plus ancienne et la plus courante est la mesure de la pluie journalière. Dans ce cas, on relève à un horaire déterminé (généralement à 6H00 UTC) la hauteur d'eau collectée dans un récipient calibré. L'appareil de mesure est alors très simple puisqu'il s'agit d'un entonnoir gradué à lecture directe.



Figure 13. Pluviomètre à augets basculeurs et total

Dans de nombreux cas, il est important de connaître la quantité d'eau météorologique précipitée pendant une période infra-journalière. Dans ce cas, cette mesure à pas de temps variable nécessite l'emploi d'instruments plus élaborés tel que des pluviographes. De nos jours, on utilise couramment des pluviomètres à augets basculeurs qui sont réputés robustes et fiables pour la mesure de pluie dans des conditions hors gel (type d'appareil couramment utilisé sur le territoire par la DAVAR et MétéoFrance).

Ces derniers temps, de plus en plus de services météorologiques utilisent des pluviomètres à pesée pour s'affranchir des incertitudes de mesures et des conditions de précipitations solides (grêle, neige). Il s'agit d'un pluviomètre totaliseur qui mesure la masse d'eau (indifféremment liquide ou solide).

Ces instruments sont très simples d'installation et d'entretien. La difficulté réside dans le choix du site représentatif et dans la fourniture en énergie si les données sont télétransmises (fortement recommandé lorsque cela est possible).

3.1.2 SUIVI HYDROLOGIQUE

Le suivi hydrologique est entendu dans notre cas d'étude comme un suivi hydrométrique, c'est-à-dire à la quantification partielle des flux liquides (hauteur) ou complète (débit) au niveau d'une section de contrôle. Ce type de suivi peut répondre à plusieurs finalités, entres autres :

- la surveillance des crues pour la protection des personnes et des infrastructures. Dans ce cas, sur la base des crues précédentes, la seule connaissance de la hauteur d'eau peut être suffisante. Les sections de contrôle possèdent alors essentiellement des instruments destinés à la mesure de hauteur d'eau.



Figure 14. Exemple de station hydrométrique – Poro seuil amont (projet Hydromine – source UNC)

¹ La mesure de la pluie est réalisée soit par un réseau d'instruments au sol, soit par les observations radar. Le dispositif fera uniquement de la mesure de la pluie grâce à des instruments au sol.

- la détermination de l'hydrologie en basses eaux pour, par exemple, assurer l'alimentation de captage AEP ou dans une perspective de protection du milieu naturel (notion de débits minimums biologiques). Dans ce cas les sections de contrôle permettent de mesurer les débits dans une gamme relativement basse de manière à quantifier précisément le régime des étiages.
- la détermination de l'hydrologie en moyennes et hautes eaux pour la production d'énergie. Les sections de contrôle doivent alors être dimensionnées pour fournir des mesures relativement fiables dans des conditions difficiles de forts débits.

Dans notre cas d'étude, les sections de contrôle ont une vocation de connaissances hydrologiques pour mieux caractériser les réponses hydrologiques de très petits bassins versant (entre 10 ha et 30 ha). Cette connaissance doit porter à la fois sur les bas débits (pour la mesure de MES) et des forts débits (pour la détermination des quantiles de crues). Les sections de contrôles devront assurer la mesure d'une large gamme de débit (de l'étiage sévère à la Q_{100})¹. La définition des sections de contrôle peut être assez complexe dans les creek naturels à fortes pentes, dans lesquels un charriage important peut survenir et fortement perturber les écoulements.

Il existe plusieurs méthodes et types de dispositifs envisageables pour estimer les débits. Nous n'abordons ici que ceux qui nous paraissent les plus « rustiques » et « adaptés » à notre contexte et qui permettent une mesure en continu avec un appareillage relativement simple. Les mesures ponctuelles de jaugeage qui sont nécessaires en complément pour valider la pertinence des courbes de tarage ne sont pas évoquées, même si elles restent très fortement recommandées, voire même indispensables pour valider certaines méthodes (notamment celles hydrauliques). Le principe général est d'implanter dans l'écoulement une section de contrôle artificielle, permettant d'obtenir un régime critique, c'est à dire une relation univoque entre le débit Q et la charge h (hauteur d'eau au-dessus du seuil) de la forme :

$$Q = K \cdot C \cdot h^n$$

avec K - coefficient de débit lié à h ;
 C et n - paramètres dépendant des caractéristiques du seuil.

Les principaux seuils utilisés sont :

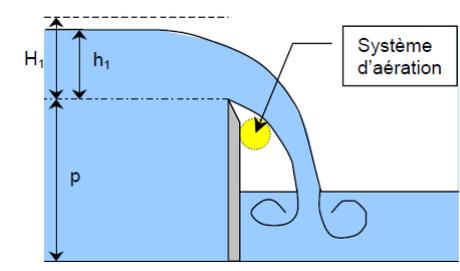
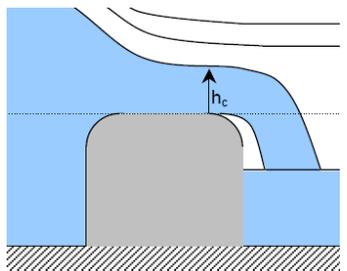
- soit des déversoirs à paroi mince ou de type épais
- soit des canaux-jaugeurs

Il est également possible de confectionner un chenal artificiel de section régulière (rectangulaire ou trapézoïdale) et de pente nulle pour forcer le passage en régime critique. C'est notamment ce type de dispositif qui a été mis en œuvre sur les sites miniers dans le cadre du projet Hydromine.

Il faut alors s'assurer que le régime critique s'établisse effectivement à l'extrémité du canal, c'est pourquoi il faut aménager un chenal artificiel suffisamment long. Dans tous les cas, il faut aménager une chute ou une rampe à forte pente à l'aval du dispositif (passage critique-torrentiel, maintien des seuils en dénoyé).

¹ Comme tout appareillage en travers des cours d'eau, le risque de destruction en période de crue est assez élevé et il peut être assez difficile, voire impossible de garantir une mesure fiable lors des crues intenses.

Synthèse des solutions techniques envisageables pour réaliser une section de contrôle (mesure de débits)

Type	Déversoir à paroi mince	Déversoir à seuil épais	Canal-jaugeur	Canal artificiel rectiligne non normalisé
SCHEMA / EXEMPLE				
CARACTERISTIQUES	<p>un déversoir est considéré à paroi mince si $h > 2 e$</p> <p>(<i>e</i> étant l'épaisseur de la paroi)</p>	<p>un seuil est considéré comme épais si $h < 1,6 e$</p> <p>(<i>e</i> étant l'épaisseur du seuil)¹</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ canal-jaugeur de type VENTURI ISO 4359 (<i>contraction latérale et seuil épais</i>) ▪ PARSHALL ISO 9826 (<i>contraction latérale, seuil épais et rupture de pente</i>) ▪ Canal calibré de type H ou H Flume. 	<p>Canal artificiel de <u>section régulière</u> (rectangulaire ou trapézoïdale) à très faible pente, voire nulle (voire même en très légère contre-pente) suivi d'une chute ou rampe à forte pente à l'aval.</p>
GENERALITES	<p>Le déversoir à paroi mince est généralement constitué d'une plaque métallique dont la crête présente une arête soit rectiligne, soit découpée en échancrure de forme géométrique (rectangulaire, triangulaire ...).</p> <p>Le chenal d'approche est la partie du chenal qui s'étend en amont du déversoir sur une distance d'au moins dix fois la largeur de la lame déversante à la charge maximale ($L_{am} \geq 10 b_{max}$).</p> <p>La forme et la taille du chenal aval du déversoir sont sans importance, mais le niveau de l'eau dans le chenal aval doit</p>	<p>Ce déversoir est sans contraction latérale et sa crête à une largeur telle que le régime critique est obtenu en un point situé sur sa crête.</p> <p>Le débit est déduit de la charge hydraulique mesurée entre 3 et 4 h_{max} en amont du déversoir.</p> <p>Le profil du déversoir peut être rectangulaire, trapézoïdale (ISO 4362) ou triangulaire (ISO 4360). La crête du déversoir (de profil rectangulaire) peut être horizontale (NF X 10-315 ou ISO</p>	<p>Le débit est calculé grâce à la contraction du fluide dans un gabarit normalisé. Ce type de canal, tout en étant moins fragile que les déversoirs à mince paroi, est mieux adapté aux mesures en eaux chargées, car moins sujet à l'engrèvement.</p> <p>De ce point de vue, le canal Parshall mis en œuvre notamment sur le site de Draix (04) par l'IRSTEA convient mieux par sa capacité d'auto-curage. Les autres canaux (notamment H et H Flume) restent</p>	<p>Du fait de leur pente nulle, ces canaux sont particulièrement sensibles aux dépôts de matériaux, c'est pourquoi il faut prévoir une zone de dépôt en amont. Ces canaux nécessitent d'aménager un chenal artificiel suffisamment long (en première approximation $L_{canal} > 20 h_{max}$).</p>

¹ Entre les deux, le seuil est dit à crête indéfinie.

Type	Déversoir à paroi mince	Déversoir à seuil épais	Canal-jaugeur	Canal artificiel rectiligne non normalisé
	être suffisamment en dessous de la crête pour assurer un déversement libre et pleinement aéré (écoulement dénoyé).	3846) ou en V (Norme ISO 8333 1985).	quant à eux plus sensibles aux dépôts.	
DOMAINES D'APPLICATION	<p>Un col¹ triangulaire est préférable à un col rectangulaire pour la mesure des faibles débits.</p> <p>Il est déconseillé d'utiliser un col rectangulaire de moins de 30 cm de largeur.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ un col triangulaire permet de mesurer un débit compris entre 0,2 l/s et 140 l/s ▪ un col rectangulaire permet de mesurer un débit compris entre 20 l/s et 5 000 l/s <p>En principe, l'emploi des déversoirs à paroi mince pour le contrôle permanent des débits avec des eaux chargées est délicat : la courbe de tarage Q(h) est influencée de façon appréciable par les variations de la pelle, et il est difficile, en raison de l'engravement ou de l'ensablement (transport par charriage), voire simplement de l'envasement (transport en suspension) en amont du seuil de maintenir constante la hauteur de pelle.</p>	<p>La section du chenal dans laquelle est inséré le seuil doit être relativement rectiligne pour obtenir un écoulement permanent et uniforme.</p> <p>La structure doit être rigide, étanche et résister aux débits de crues.</p> <p>Le déversoir doit être conçu de façon à ce que l'écoulement demeure dénoyé pour la plage des mesures de débit souhaitée.</p> <p>Utilisation dans les conditions de la norme</p>	<p>Ce type de dispositif devrait être privilégié aux déversoirs (paroi mince et seuil épais) pour les eaux chargées et notamment en cas de transport solide par charriage, ce qui peut être notre cas.</p> <p>Le canal-jaugeur est bien plus cher à construire car la partie génie civil est volumineuse et sophistiquée.</p>	<p>Si la pente est forte en amont, un ressaut hydraulique va se former au niveau de la transition torrentiel → fluvial.</p> <p>La position du ressaut et son ampleur doivent être connues afin que la mesure de débit ne soit pas faussée.</p> <p>Un calcul théorique en 1D peut être effectué pour évaluer les conditions d'écoulement au sein de ce canal (en considérant des hypothèses de coefficients de rugosité), mais il faut impérativement vérifier leur pertinence par des jaugeages in-situ. Ce principe a été retenu pour les dispositifs mis en œuvre sur les sites miniers dans le cadre des projets Hydromine et CNRT.</p>
PRECISION DE LA MESURE	environ 5 %	environ 5 %	-	-
AVANTAGES	<p>Bonne précision de mesure</p> <p>Mesure des faibles débits par échancrure triangulaire</p> <p>Mesure de forts débits par échancrure</p>	<p>Ouvrages plus robustes et moins altérables, moins sensibles à l'obstruction;</p> <p>Les courbes de tarage des</p>	Mieux adaptés aux eaux chargées (MES, Charriage)	Ouvrages robustes Construction aisée

¹ Forme de l'échancrure

Type	Déversoir à paroi mince	Déversoir à seuil épais	Canal-jaugeur	Canal artificiel rectiligne non normalisé
	rectangulaire Construction aisée	stations à seuils épais sont généralement moins sensibles à l'envasement; Gamme de débits mesurés pouvant être relativement étendue		
INCONVENIENTS	Risque d'obstruction partielle par des feuilles et des flottants (d'autant plus avec échancrure triangulaire) Echancrure fragile en cas de transport solide (risque de détérioration, voire de destruction en cas de crue) ; Conditions de pelle minimale en amont difficile à respecter dans un contexte avec des eaux chargées Entretien régulier	Partie génie civil plus importante que pour un déversoir à paroi mince (à nuancer car peut être nécessaire pour garantir la stabilité de l'ouvrage)	Construction plus délicate notamment sur site difficile d'accès Coût élevé	Moindre fiabilité de la mesure du débit (jaugeages obligatoires) Dépôt probable dans le canal en cas de transport solide Nécessite la création d'une zone de dépôt en amont du canal Grande longueur de l'aménagement (L > 20 h)
NORMES AFFERENTES	NF X 10-311 ou ISO 1438	ISO 4362, ISO 4360, NF X 10-315, ISO 3846, ISO 8333.	VENTURI ISO 4359 - PARSHALL ISO 9826	Non normé
NIVEAU DE COUT	Dispositifs peu coûteux	Coûteux	Extrêmement coûteux	Coûteux
REFERENCES EN ANNEXE 8	Eléments techniques sur : <ul style="list-style-type: none"> • les dispositions communes des déversoirs à mince paroi – chenal d'approche et chenal aval ; • les déversoirs rectangulaires en mince paroi ; • les déversoirs triangulaires à mince paroi ; • les déversoirs à mince paroi et choix d'une option. 	Eléments techniques sur les déversoirs à seuil épais	Eléments techniques sur les canaux-jaugeur	Eléments techniques sur les canaux artificiels rectilignes non normalisés

3.1.3 SUIVI DE L'ÉROSION

Les dispositifs de suivi de l'érosion permettent de caractériser l'importance de l'érosion en fonction de la couverture du sol. Ils présentent une approche souvent très expérimentale et doivent s'adapter aux variables à mesurer (MES, sables, graviers) et aux contraintes de site (accessibilité, pente, vandalisme, ...).

On distingue classiquement deux types de mesures :

- la mesure « directe »

Cette méthode mesure directement le taux d'érosion, c'est-à-dire la perte d'épaisseur du sol pendant une pluie intense ou une période donnée.

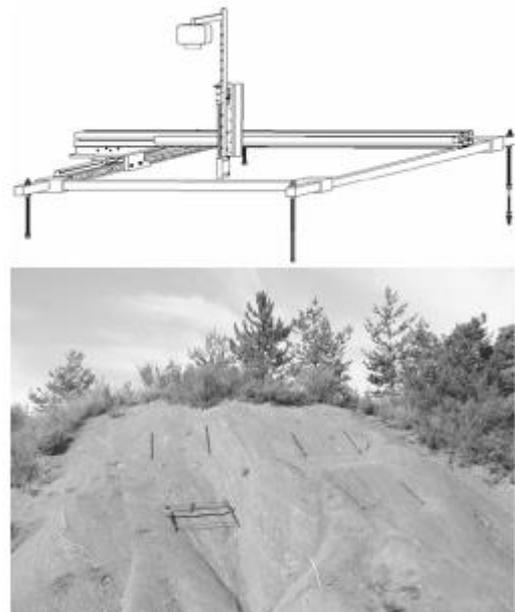
Pour cela, il est possible d'utiliser les méthodes suivantes :

- ❖ mise en place de clous implantés sur le versant et sur lesquels on mesure la hauteur et la vitesse de "dégagement" (Figure 15). Il s'agit d'une méthode rustique et relativement peu précise ;
- ❖ réaliser des mesures de variation de la topographie avec un topomètre laser (Figure 16) ou un Lidar terrestre. Cette méthode nécessite une grande précision de mesure, avec des outils de mesure spécifiques. Elle reste également très coûteuse.



Figure 16. Topomètre laser (source : MATHYS, 2006)

Figure 15. Mesure de l'érosion par des clous (source : REY, 2002)



- la mesure par intégration

Cette méthode est qualifiée « par intégration » car la quantification de l'érosion est basée sur le volume produit concentré en un point de mesure (au droit de la section de contrôle). Elle peut être mise en place dans deux cas de figure :

- ❖ au droit d'une station hydrométrique (Figure 17) : de cette manière, il est possible de déterminer des volumes de sédiments à partir de la connaissance des flux (suivi hydrologique) et de prélèvements d'eau chargées (échantillonneur).

Il est alors possible de préciser les volumes de sédiments transportés en suspension (MES). La Figure 17 donne un exemple de station hydrométrique équipée d'un échantillonneur pour la mesure des MES. La sonde dans le canal permet le prélèvement des écoulements à différents instants de l'hydrogramme de manière à quantifier les flux solides. L'emploi d'un échantillonneur nécessite un suivi régulier en

cru et un entretien très fréquent. De même, l'analyse des échantillons peut devenir très coûteuse. Il est donc fortement recommandé d'associer une sonde de mesure de turbidité de l'eau avec l'échantillonneur pendant quelques années (au moins 2 années de mesure) pour *in fine* ne collecter que les données de turbidité des écoulements.

Figure 17. Echantillonnage sur le seul amont de la mine de Poro (source UNC)



- ❖ avec un dispositif non dépendant d'une station hydrométrique (Figure 18) : des placettes d'érosion, de surface variable (1 à plusieurs dizaines de m²), sont mises en place et délimitées.

La mesure de l'érosion est effectuée grâce à des collecteurs placés à l'exutoire de chacune des placettes. De cette manière, il est possible de mesurer uniquement les matériaux grossiers érodés, mais pas les MES. Il convient ensuite de déduire le volume total érodé par le ratio connu entre matériaux grossiers et MES. Simple de conception, de réalisation et de suivi, cette méthode peut dans certains cas ne pas être représentative des processus réels d'érosion : problème de circonscription de la zone pour limiter les perturbations, surface de la placette trop réduite...

Par exemple, sur une placette de 1 m², on n'observera que l'impact des gouttes de pluie (effet flush) mais pas le ruissellement. Au-delà d'une surface drainée de 20 m², grâce au processus de ruissellement, on mesurera plus fidèlement l'érosion « réelle » des sols.

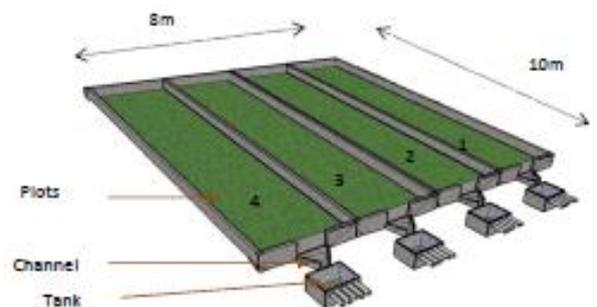


Figure 5 : Experimental plot scheme.

Figure 18. Exemple de mesure de l'érosion sur des placettes expérimentales de 20 m² chacune (projet CRISP, VANUATU)

Ces différents dispositifs peuvent s'envisager soit sous pluies naturelles, soit sous pluies artificielles avec un simulateur de pluie (Figure 19).

Cette deuxième solution paraît être trop ambitieuse pour les besoins de la présente étude¹ car elle nécessite la mise en œuvre de moyens matériels et techniques assez conséquents, notamment la nécessité de disposer d'une citerne d'eau et de répéter les observations. Néanmoins, elle présente l'avantage « d'accélérer » et de préciser la connaissance.



Figure 19. Dispositif de simulation de pluie (source : MATHYS, 2006)

Enfin, on notera que ces dispositifs ne permettent pas de caractériser directement l'impact d'une pression de faune ou de feu, sauf à déterminer préalablement la manière dont ces pressions se traduisent en termes de dégradation de la couverture végétale. Des moyens d'étude consisteraient à suivre des placettes d'érosion avant/après une perturbation que l'on provoque artificiellement (un feu par exemple ou une mise en défens), mais cela nécessite un temps d'observation long qui doit être compatible avec les moyens alloués pour pérenniser le dispositif au-delà de la mission RESCUE.

3.2 Variables à mesurer – orientations générales

➤ Pluie infra horaire

Compte tenu de la petite taille des bassins versants à caractériser, il convient de déterminer la pluie pour des faibles pas de temps. Il est en effet inconcevable de comparer le volume d'une crue éclair (quelques heures au plus) avec la connaissance d'une précipitation journalière.

Il est donc nécessaire de mettre en place des pluviomètres automatique à mesure « quasi » continu, ainsi que des totaliseurs à lecture pour un contrôle des quantités cumulées réellement précipitées.

Compte tenu des difficultés d'accès, il est possible de décentrer le point de mesure par rapport au bassin à instrumenter. Par ailleurs il est préférable que les données soient à la fois collectées sur place et télétransmises afin de « sécuriser » les données.

➤ Débit liquide

La finalité du dispositif d'instrumentation est de quantifier les flux de sédiments en fonction de la couverture des sols. Pour cela, il est impératif de connaître les flux liquides produits par les bassins (hydrogrammes). Le seul moyen de les déterminer est de procéder à une mesure en continu du débit.

Comme la mesure du débit est impossible à effectuer en temps réel, elle est déduite de la hauteur d'eau sur une section préalablement étalonnée par une relation hauteur-débit (courbe de tarage).

L'acquisition de la hauteur d'eau en continu est quant à elle une technique simple et peu onéreuse.

¹ Sauf dans le cas d'un projet de recherche dédié sur le site (stage, thèse)

On utilise couramment soit des capteurs intrusifs (qui plongent dans l'écoulement) soit des capteurs à mesure indirecte (radar, ultrasons). Nous préconisons de doubler les capteurs de mesure (pression et radar) car compte tenu du transport sédimentaire et de l'éloignement des sites il est à craindre un fonctionnement intermittent de la sonde de pression. Le capteur radar, visible, est plus sensible au vandalisme.



Figure 20. Photo extraite du matériel utilisé sur le site de Poro (publi DAVAR DIMENC, Convention hydromine, Base de données sédimentologique – site pilote de poro _ rédigée par UNC)

La figure 20 illustre le site de Poro équipé d'une sonde de pression hydrostatique de marque Insitu (couleur acier) ainsi que la sonde de pression de l'ISCO. Ce matériel, couramment utilisé par la DAVAR, fait preuve de robustesse et de peu de vandalisme.

Sur des petits cours d'eau ou creeks, afin de gagner du temps sur l'étalonnage de la section de mesure, on met en place une section de contrôle ayant une forme géométrique particulière (triangle, trapèze, rectangle) de manière à ce qu'on s'approche d'une loi de déversoir.

De cette manière, les débits mesurés restent dans l'ordre de grandeur de la réalité. Il est toutefois impératif de procéder pendant les crues à des mesures plus précises du débit.

Pour cela, on procède communément à des jaugeages au moulinet, au flotteur, au radar portatif de manière à adapter la courbe de tarage (loi hauteur-débit).

Cette opération de recalage de la courbe de tarage nécessite une présence en crue, ainsi qu'un accès à la section de mesure avec généralement une mise à l'eau de l'opérateur (pour jaugeage au moulinet). Il est donc fortement recommandé de prévoir cette phase de contrôle et de mettre en place en conséquence des accès aisés (passerelle par-dessus la section de contrôle pour faire du mesurage en crue).

➤ Transport solide par charriage

Le transport solide par charriage est relativement difficile à estimer sans avoir des données entachées d'erreur de mesure et d'interprétation.

Il existe de multiples appareils de mesure (plage de dépôt, trappe à sédiments, chaîne de charriage, géophone, suivi de blocs) mais ils sont surtout adaptés à des contextes de rivière torrentielle ou de gros appareils torrentiels.

Dans notre cas d'étude, nous avons à disposition des creeks à écoulement non permanents qui charrient des matériaux de dimensions fortement hétérogènes (cf. annexe 6). Il nous semble préférable de ne pas mettre en œuvre d'instruments de mesure perfectionnés et de rester sur des quantifications d'ordre de grandeur du transport.

Il n'est pas utile de connaître le débit solide charrié pendant la crue (géophones) mais plutôt d'avoir une estimation de volumes de sédiments déposés, soit pendant une crue, soit pendant une période donnée. Pour cela, nous nous intéresserons à des sections particulières où les sédiments peuvent se déposer (en amont des ouvrages de jaugeage du débit) ou sur des biefs pré-identifiés.

➤ Transport solide par suspension - MES

Le site de Poro doit être considéré comme une référence en la matière pour le protocole de mise en place des instruments d'échantillonnage et la calibration des mesures.

Après plusieurs années de fonctionnement, il s'avère qu'il est logistiquement lourd de gérer un échantillonneur (vérification du bon fonctionnement, analyses des prélèvements, adaptation des instants de prélèvement, etc.).

Il est fortement recommandé d'associer sur le même site pendant une période donnée (environ 3 ans), un échantillonneur et un turbidimètre.

L'avantage du turbidimètre est d'être un capteur assez simple d'utilisation, fournissant une mesure en continue. Néanmoins, il ne donne qu'une retranscription de la turbidité de l'eau et les valeurs de la turbidité dépendent de la concentration de sédiments dans l'écoulement, mais surtout de la nature des sédiments.

Pendant les 3 années de couplage échantillonneur / turbidimètre, il y a lieu d'établir une loi turbidité – concentration.

Une fois cette loi établie sur plusieurs épisodes de crue et une multitude de concentration de l'écoulement, seul le turbidimètre peut être laissé en fonctionnement.

Ce protocole de mesure donne plus de chance pour assurer la pérennité du dispositif (la gestion d'un échantillonneur est très lourde dans le temps, entre la surveillance du bon fonctionnement en crue, la collecte des échantillons, le dépôt au laboratoire ou à défaut l'interprétation en régie des MES).



Figure 21. Exemple de capteur de turbidité (capteur Poncel ; source site internet d'Aqualabo,)

➤ Sensibilité des sols à l'érosion

Pour répondre aux objectifs de caractérisation de la couverture des sols et de l'impact des feux, il est nécessaire de mettre en place des placettes d'érosion afin de tester in situ les réponses érosives des terrains.

La littérature et les exemples sont nombreux et variés. Il n'existe pas de protocole bien défini pour la détermination et il est assez difficile de connaître les géométries et les modalités de formes des placettes pour qu'elles soient le plus opérationnelles possibles. Le dimensionnement et la réalisation de ce type d'ouvrage doit être perçu dans un premier temps avec une vision assez expérimentale, puis opérationnelle à moyen terme lorsque les résultats seront démonstratifs.

➤ Qualité de l'eau

La mauvaise qualité de l'eau est une problématique de premier plan pour les populations locales qui ne disposent que de prélèvement des eaux de surface et d'aucun forage de secours.

Le projet en cours est destiné à faire le lien entre le potentiel érosif des terrains avec le type d'occupation des sols. Il serait également intéressant de définir le lien entre occupation des sols (EE et feux de brousses) et la qualité de l'eau.

Il serait donc envisageable de mettre en place des instruments de mesures de la qualité de l'eau, ou plutôt de procéder à des prélèvements manuels pour envoi au laboratoire par la suite. Ces prélèvements pourraient être réalisés par les échantillonneurs destinés initialement aux MES (sans doute dans le cadre de projets complémentaires à RESCCUE)

L'idée de ce type de mesure est de faire comprendre aux populations locales leur intérêt à modifier leurs habitudes de gestion du milieu naturel. Si l'impact des feux est démontré sur la qualité des eaux, cela sera plus facile.

Toutefois à ce stade il n'est pas possible de préjuger des résultats et des liens entre feux de brousse et dégradation de l'eau potable.

4 METHODOLOGIE POUR LE CHOIX DES SITES A INSTRUMENTER

Les sous-bassins versants à instrumenter ont été choisis à partir d'une méthode basée sur l'identification de critères d'exclusion et leur application à l'aide du système d'information géographique (SIG). Ainsi, 58 bassins ont été présélectionnés sur la base de ce travail SIG.

A partir de cette présélection, 34 bassins ont été visités pour identifier les secteurs favorables à l'installation des instruments de mesure et ainsi affiner la sélection des bassins candidats¹.

Par ordre de priorité, les critères suivants ont permis de guider la recherche des bassins candidats :

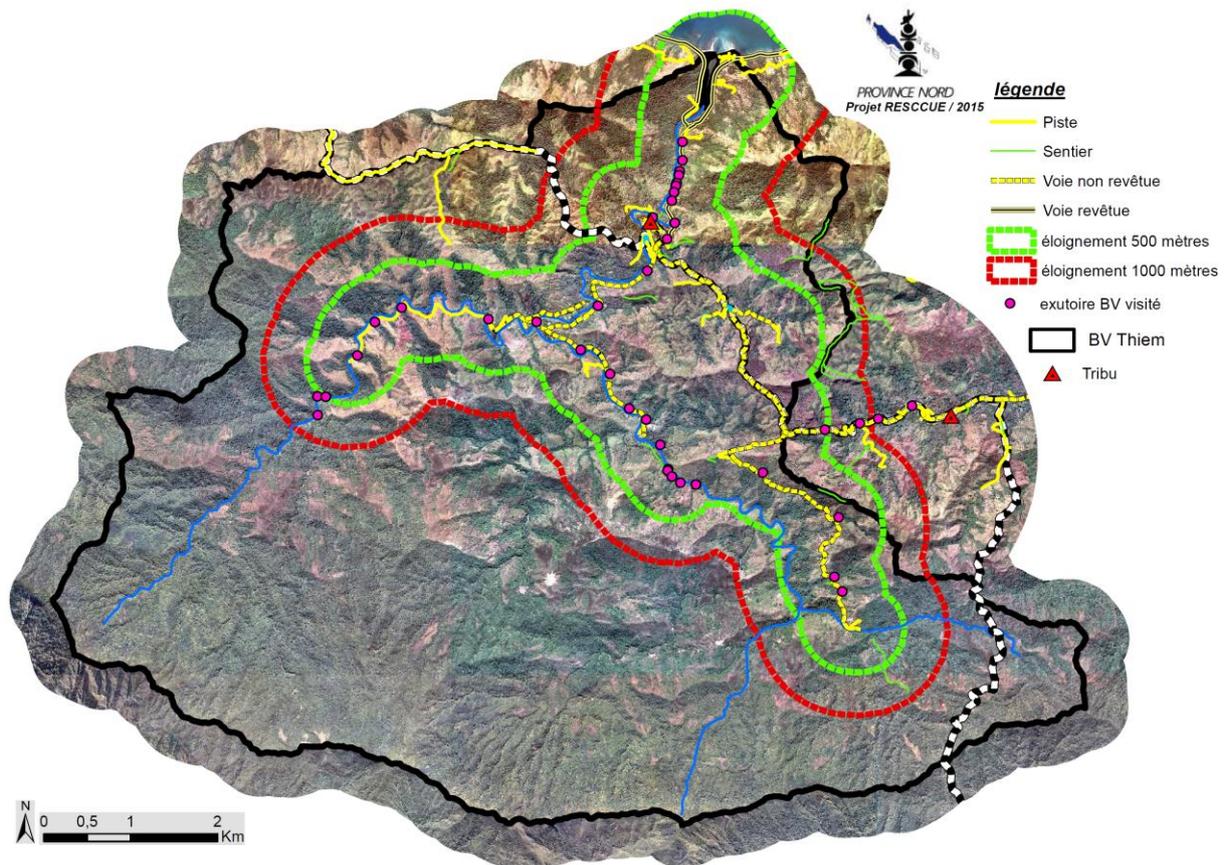
	Discriminant ?	Pourquoi ?
1 – critère d'accessibilité	oui	Mesures régulières à faire
2 – critère d'occupation des sols	oui	Représentativité des différentes couvertures végétales dans les sous-bassins sélectionnés
3 – critère de surface du bassin	oui	Mettre en comparaison des bassins de surface plus ou moins similaire dont les sections restent techniquement instrumentables
4 – critère de pente	non	Important si le bassin principal présente de grandes variations de pente sur ses versants
5 – critère de voisinage avec d'autres bassins candidats	oui	En vue de mettre en comparaison des bassins soumis à des conditions environnementales similaires (pluviométrie particulièrement)
6 – critère de réseaux (électricité et télétransmission des données)	oui	Pour la pérennité du dispositif
7 – critère de Géologie	Non	Très important si le bassin principal présente plusieurs types de socles géologiques (voir plus haut pour la présentation de la géologie).

➤ 1 - Critère d'accessibilité

L'accessibilité aux sites est une condition impérative non seulement pour installer les instruments, mais surtout en assurer la surveillance et prélever les données produites par les capteurs. Comme l'a montré le retour d'expérience du site de Poro, la mesure de MES nécessite un suivi sur site assez fréquent, ce qui signifie que l'accès aux instruments de mesure doit être possible pendant les épisodes de crues. Les pistes doivent donc être praticables et les passages à gué seront certainement impraticables. Afin de prioriser les recherches des bassins candidats, deux emprises de 500 m et 1000 m par rapport aux accès routiers (route revêtue et pistes) dans le bassin de *la Thiem* (Figure 22) ont permis d'identifier 58 sites possibles.

¹ Appellation pour désigner les bassins versants susceptibles d'être instrumentés.

Figure 22. Emprise des enveloppes de facilité d'accès aux sites potentiels à instrumenter (emprise de 500 m /



emprise de 1 km)

Les visites de terrain et l'emprunt du réseau de pistes ont montré qu'il est préférable d'utiliser la piste entre la tribu de Tiwaé et le captage d'Haccinem. Le design du dispositif doit prendre fortement en compte ce critère d'accessibilité, surtout en période cyclonique (mauvais état des routes).

➤ 2 - Critère d'occupation des sols

Afin de faciliter le choix des bassins versants à instrumenter en fonction de l'occupation des sols (identifier des sous-bassins versant présentant des types d'occupation des sols différents) il a été arbitrairement défini 4 catégories de bassin versant :

- I. **forestier** : taux de couverture de forêt dense humide estimé à plus de 80 % de la surface du bassin - (Figure 23)
- II. **forestier avec savanes incluses** : taux de couverture de forêt dense humide compris entre 50 % et 80 % de la surface du bassin (également présence de savanes incluses)
- III. **savane avec cordon forestier** : les versants sont recouverts par de la savane ; la forêt dense humide occupe les lits des creeks (< 50 % de couverture estimée de la surface du bassin) et donne la configuration typique des fonds de vallons boisés - (Figure 24)
- IV. **savane, savane dégradée ou sol nu** : couverture végétale très faible, souvent brûlée par les feux - (Figure 26)

Figure 23. Allure d'un lit de creek d'un bassin de forêt dense humide

Les bassins forestiers (Figure 23) ne sont pas nombreux et se situent très haut dans le bassin, essentiellement dans les bassins de captage (Haccinem et Tipwoï) et sur les versants des sommets du massif des lèvres.



Figure 24. Configuration d'un bassin de type savane avec cordon de forêt dense humide dans le fond de vallons (exemple sur le bassin voisin de Tiponite)



Figure 25. Distinction à mi-hauteur du versant entre une savane dense (supérieure) et une savane clairsemée.

Comme le montre la Figure 24 , la typologie de savane pourrait être subdivisée en :

- savane dense arborée : densité de pied élevé et distribution diamétrique des tiges étalée (représentation de plusieurs classes, présence d'espèces colonisatrices des forêts denses humides, absence de passage des feux) ;
- savane entretenue (représentation de plusieurs classes diamétriques, quasi absence d'espèces colonisatrices des forêts denses humides, passage des feux) ;
- savane clairsemée : quelques gros pieds à l'hectare, souvent d'une même classe diamétrique (une classe diamétrique, absence d'espèces colonisatrices des forêts denses humides, passage des feux);
- savane nue (absence de gros pieds, quelques petits pieds, strate herbacée dense, passage des feux).

Les observations de terrain semblent indiquer que contrairement à ce qu'on pourrait penser, une savane clairsemée n'est pas plus favorable à l'érosion des sols qu'une savane dense arborée. En effet, les savanes clairsemées comportent souvent une strate herbacée développée qui fixe les éléments fins du sol (de la même manière que les plantations d'oyat fixe le sable des dunes) et casse l'énergie cinétique des pluies. Il apparaît ainsi assez difficile de distinguer le rôle de protection des sols entre ces deux typologies de savanes et nous considérons la savane comme une entité unique d'occupation des sols.

Figure 26. Versant fortement dégradé à forte pente le long de la route qui mène au captage de Tipwoï. Le passage régulier des feux de brousse augmente considérablement le potentiel érosif des sols



➤ 3 – Critère de surface du bassin

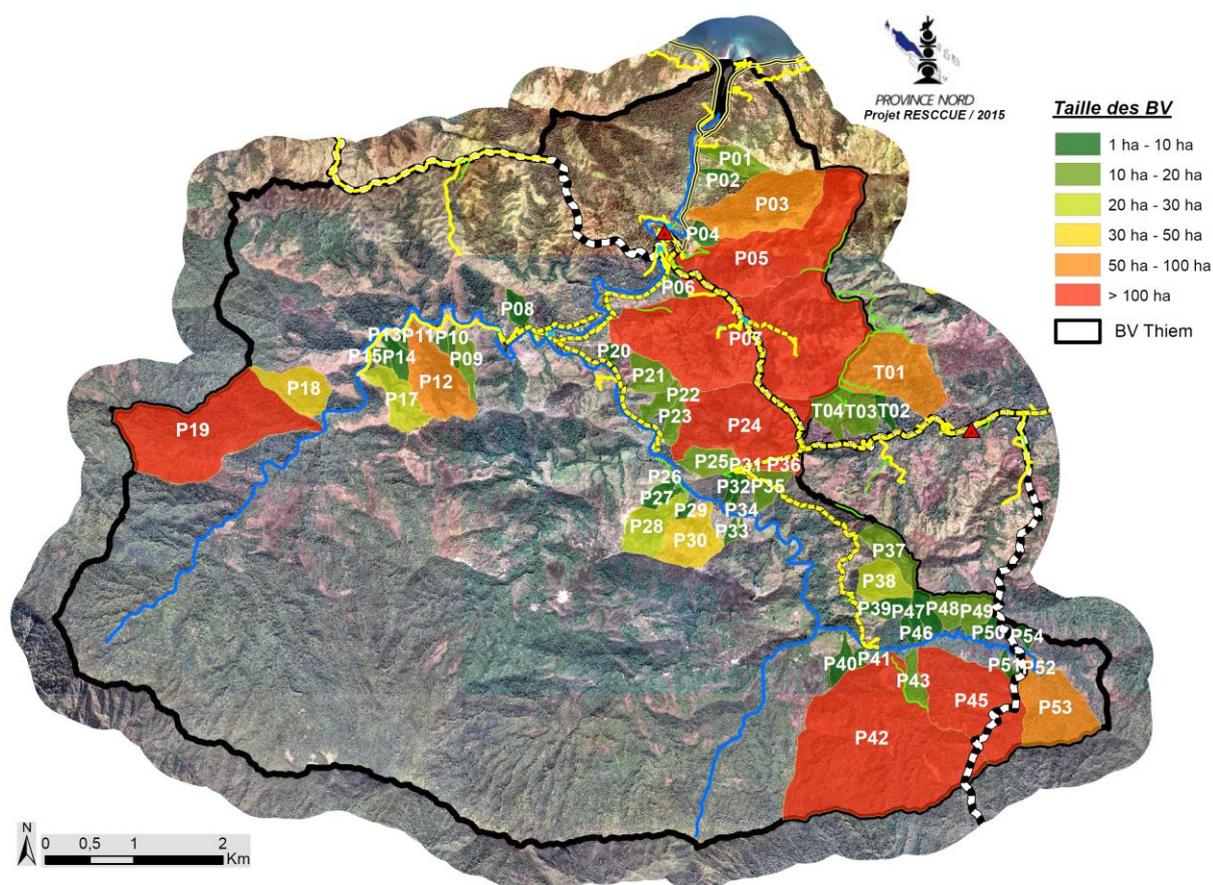
Le critère de surface des sous-bassins était également essentiel à prendre en compte étant entendu que l'on cherche à comparer des bassins de surface plus ou moins similaires. Nous nous sommes penchés essentiellement sur les sous-bassins présentant des surfaces supérieures à 10 ha et inférieures à 30 ha étant donné les dimensions des sections observées sur ces bassins et le niveau de charriage constaté.

La Figure 27 fait figurer les 58 bassins qui ont été pré-identifiés et donne leur superficie respective. On remarque la répartition suivante :

- 30 BV ont une surface comprise en 1 ha et 10 ha
- 13 BV ont une surface comprise en 10 ha et 20 ha
- 4 BV ont une surface comprise en 20 ha et 30 ha
- 2 BV ont une surface comprise en 30 ha et 50 ha
- 3 BV ont une surface comprise en 50 ha et 100 ha
- 6 BV ont une surface supérieure à 100 ha

La moyenne des bassins est de 30 ha alors que la médiane de la sélection est de 10 ha (forte proportion de très petits bassins).

Figure 27. Localisation et emprises des bassins présélectionnés. Leur superficie est comprise entre 1 ha et plus de 100 ha



Il apparaît que ces bassins se répartissent selon 4 zones géographiques :

- dans les environs de la tribu de Poyes (24)
- vers le captage d'Haccinem (18)

- vers le captage de Tipwöi (12)
- au-dessus de la tribu de Tiwaé (4)

On notera que les bassins qui se trouvent dans la vallée de la tribu de Poyes (Poala) portent le préfixe « P » (P01, P02 ; etc.) tandis que ceux qui se situent au-dessus de la tribu de Tiwaé portent le préfixe « T » (T01 à T04).

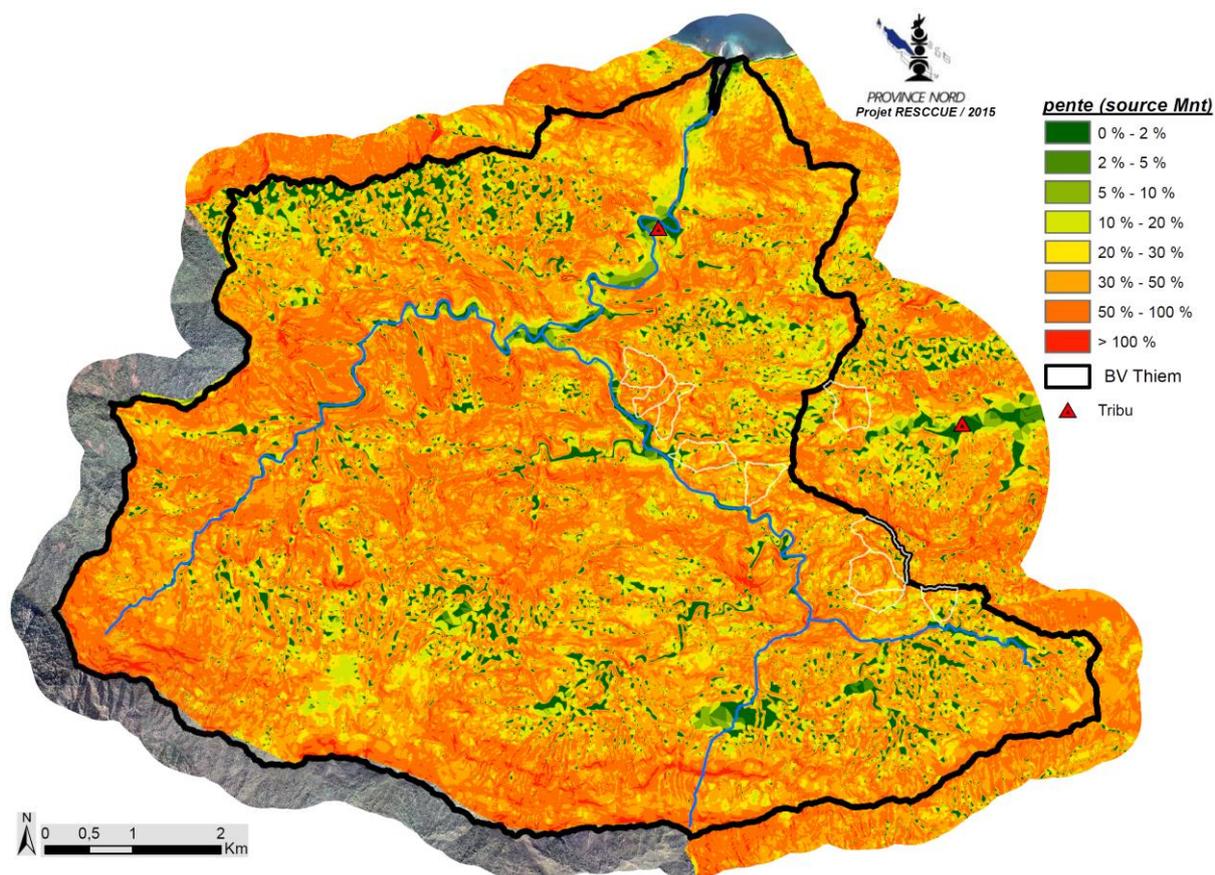
➤ 4 – Critère de pente

A partir du traitement de la couche de Modèle Numérique de Terrain (source DITTT), la carte des pentes permet de retenir des versants de pentes analogues.

Afin de ne pas ajouter aux analyses un paramètre supplémentaire (pente), il est convenu de retenir des bassins présentant des déclivités similaires.

La partie supérieure du bassin présente des pentes marquées à très marquées (Figure 28), comprises dans la gamme [20 % à 50 %].

Figure 28. Carte des pentes sur le bassin de la Thiem. Les polygones blancs préfigurent les zones d'intérêt des bassins versants à instrumenter.



On constate que le critère de pente n'est pas très discriminant et ne présente qu'un poids relatif au choix final des sites candidats.

➤ 5 – Critère de voisinage

Ce critère est à prendre en compte pour assurer une logique de visite d'ouvrages et de représentativité de la mesure de pluie. Afin de répondre aux objectifs, le dispositif doit permettre de mesurer les variables débit/MES sur au moins 3 bassins. Il est donc préférable de regrouper des trinômes de bassins versants candidats. Ce critère doit respecter celui de l'accessibilité.

➤ 6 – Critère d'alimentation en électricité et télétransmission des données

La télétransmission des données est préférable de manière à s'assurer « à distance » du bon fonctionnement des instruments et afin de sécuriser les données produites par les capteurs (contre le vandalisme et les aléas naturels).

Il sera préférable de retenir des sites où la télétransmission est possible, malgré l'absence de réseau mobile de données dans le bassin supérieur.

A minima, il est nécessaire de pouvoir télétransmettre les données de pluie. Au mieux, toutes les données produites par les capteurs devraient être télétransmises.

En simultanée, les données devront pouvoir être stockées sur place.

5 ANALYSE ET DESCRIPTION SUCCINCTE DES OPTIONS

Quatre scénarios d'équipement envisageables pour le choix du dispositif ont été présentés à la DDEE le 7 octobre 2015 à la suite de la mission d'expertise d'Etienne EBRARD. Les options présentées ci-dessous ont été longuement discutées.

▪ **Scénario 1**

- ❖ 1 pluviomètre automatique à augets basculants avec télétransmission (y.c. panneau solaire)
- ❖ 2 BV instrumentés (2 savanes) vers Haccinem (hydrométrie et turbidité)
- ❖ 1 échantillonneur sur 1 BV pour calibrage du turbidimètre
- ❖ 5 placettes de mesure de l'érosion

▪ **Scénario 2**

- 1 pluviomètre automatique à augets basculants avec télétransmission (y.c. panneau solaire)
- 3 BV instrumentés (2 savanes et 1 forestier) vers Haccinem (hydrométrie et turbidité)
- 1 échantillonneur sur 1 BV pour calibrage du turbidimètre
- création sentier d'accès
- 5 placettes de mesure de l'érosion

▪ **Scénario 3**

- 2 pluviomètres à augets basculants avec télétransmission (y.c. panneau solaire)
- 2 BV instrumentés (2 savanes) vers captage Haccinem (hydrométrie et turbidité)
- 3 BV instrumentés (2 savanes et 1 forestier) vers captage Tipwöi (hydrométrie et turbidité)
- 1 échantillonneur sur 1 BV pour calibrage du turbidimètre
- création sentier d'accès
- 5 placettes de mesure de l'érosion

▪ **Scénario 4 :**

- 2 pluviomètres à augets basculants avec télétransmission (y.c. panneau solaire)
- 2 BV instrumentés (2 savanes) vers captage Haccinem (hydrométrie et turbidité)
- 3 BV instrumentés (2 savanes et 1 forestier) vers captage Tipwöi (hydrométrie et turbidité)
- 1 échantillonneur sur 1 BV pour calibrage du turbidimètre
- création sentier d'accès
- 2x5 placettes de mesure de l'érosion
- Prélèvement qualité de l'eau

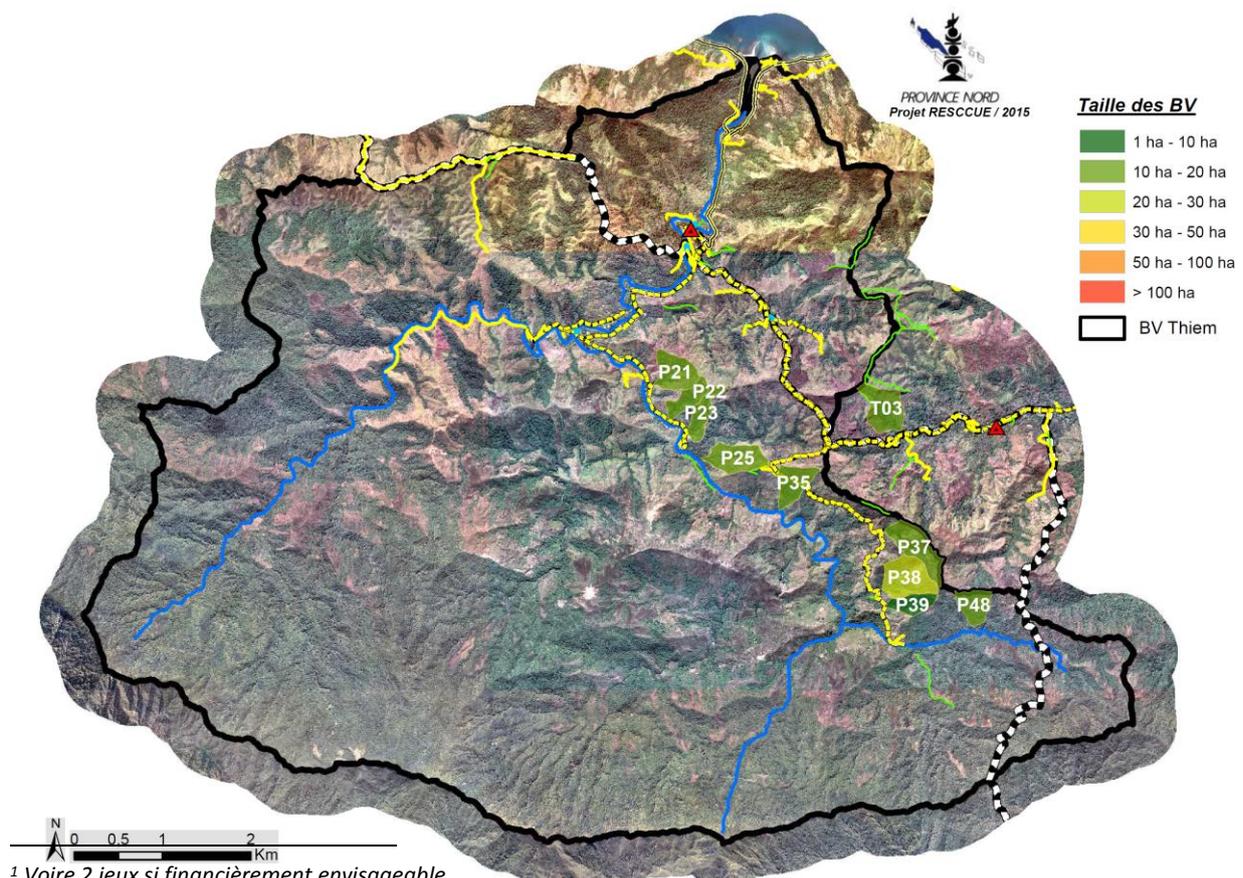
En ce qui concerne l'aspect technique et la réponse aux attentes, la DDEE s'est dite **favorable à la mise en place d'un scénario de type 2 ou 3** tant que le montant d'investissement global n'excède pas **30 M CFP** et que celui de l'entretien annuel reste contenu (**< 7 M CFP**). Suite à des compléments d'investigation réalisés après les échanges de la réunion de restitution, il s'avère que les **montants annoncés** initialement sont probablement **en-deçà de la réalité**. Par conséquent, il convient dans ce document de préciser plus fidèlement les montants de l'option retenue.

Ladite réunion a également permis de clarifier les attentes de la PN sur le niveau d'équipement et les variables à mesurer :

- ❖ Instrumentation d'au moins 3 BV de manière à caractériser :
 - 1 BV forestier
 - 1 BV savane laissé en l'état
 - 1 BV savane mis en défens pour retour vers un état restauré
- ❖ Variables à mesurer sur chaque station
 - hauteur / débit
 - turbidité / concentration MES
 - ordre de grandeur charriage
- ❖ Mise en place d'un jeu¹ de 5 placettes d'érosion sur plusieurs configurations :
 - forêt dense humide en l'état
 - forêt dense humide avec mise en défens
 - savane en l'état
 - savane avec mise en défens
 - terrain dégradé avec passage fréquent de feu

Les analyses complémentaires réalisées post-mission sur place ont permis de préciser les secteurs géographiques favorables à la mise en place de l'instrumentation. En conciliant les critères de la méthode précédente et en leur donnant une importance respective (dans l'ordre de leur présentation), une sélection plus fine des bassins candidats se dessine comme indiquée ci-dessous.

Figure 29. Sélection des bassins versants potentiellement intéressants pour la mise en place d'une instrumentation



Cette pré-sélection se répartit en deux lots :

- **LOT 1** comportant les bassins P37, P38, P39, P48 et T03
- **LOT 2** comportant les bassins P21, P22, P23, P25 et P35

Tableau 1. caractéristiques géométriques et hydrauliques des bassins versants candidats

						temps de concentration		
	Surface	type bassin	pente moyenne	alt. max / alt. min.	chemin hydraulique	V _{moyen} = 2 m/s	Kirpich	
LOT 1	P37	19 ha	Savane avec cordon forestier	20 %	400 m / 200 m	1000 m	0,14 h 8 min	0,12 h 7 min
	P38	22 ha	Savane avec cordon forestier	30 %	400 m / 180 m	750 m	0,10 h 7 min	0,09 h 5 min
	P39	9,3 ha	Savane avec cordon forestier	30 %	380 m / 200 m	620 m	0,09 h 6 min	0,07 h 4 min
	P48	12 ha	forestier	22 %	365 m / 235 m	600 m	0,08 h 6 min	0,08 h 5 min
	T03	19 ha	Savane dégradée (passage feux)	30 %	275 m / 50 m	760 m	0,11 h 7 min	0,09 h 6 min
LOT 2	P21	17 ha	Savane	35 %	245 m / 40 m	560 m	0,08 h 5 min	0,06 h 4 min
	P22	10 ha	Savane avec cordon forestier	32 %	245 m / 35 m	660 m	0,09 h 6 min	0,07 h 5 min
	P23	11 ha	Savane avec cordon forestier	29 %	265 m / 35 m	800 m	0,11 h 7 min	0,09 h 4 min
	P25	18 ha	Savane clairsemée	18 %	195 m / 35 m	865 m	0,12 h 7 min	0,11 h 5 min
	P35	14 ha	Savane avec cordon forestier	32 %	270 m / 45 m	700 m	0,10 h 7 min	0,08 h 6 min

L'hydrologie de référence de cette présélection de bassin est disponible en annexe 5.

6 DEVELOPPEMENT DE L'OPTION RETENUE

Suite à la réunion de restitution du 7 octobre 2015, aux échanges techniques qui ont suivi et aux investigations techniques complémentaires, la présente partie fait état de la solution du dispositif retenu pour le suivi hydrologique, météorologique et de l'érosion des sols.

6.1 Schéma global d'Instrumentation

Afin de répondre aux objectifs, le dispositif présenté ci-dessous comprendra les équipements suivants :

- ❖ 3 stations hydrométriques + 1 optionnelle sur des bassins versants de configuration différente (forestier, savane avec cordon forestier)
- ❖ 2 pluviomètres automatiques et 7 pluviomètres à lecture manuelle dont un en altitude au-dessus de P37
- ❖ 5 placettes d'érosion
- ❖ 1 point de mesure de qualité de l'eau

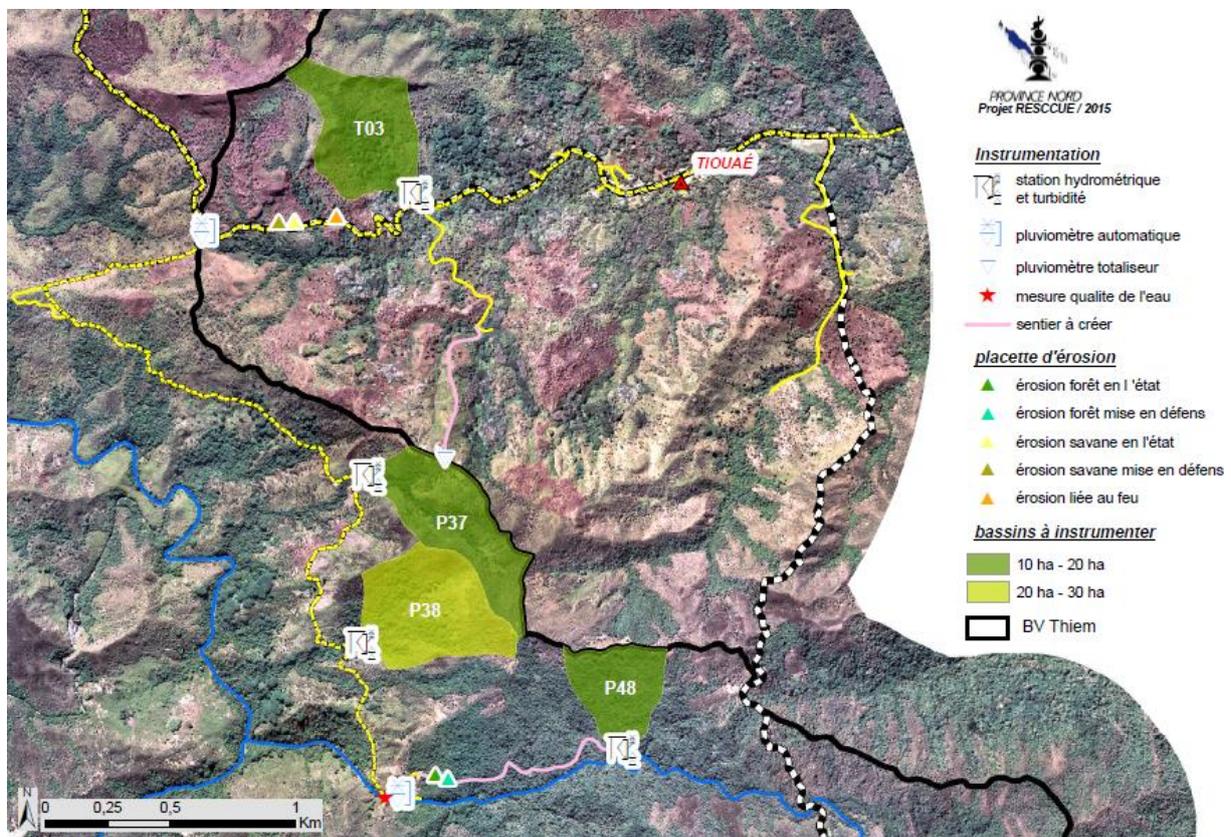


Figure 30. Schéma général du dispositif de suivi hydrologique, pluviométrique et de l'érosion des sols

Les bassins versants à instrumenter sont les suivants¹ :

- **P37** : instrumentation opérationnelle et **expérimentale**²
- **P38** : instrumentation opérationnelle
- **P48** : instrumentation opérationnelle
- **T03** : instrumentation opérationnelle (option au dispositif)

¹ Dénomination propre au projet Resccue

² L'équipement de cette station permettra de calibrer la géométrie des seuils et d'établir une loi entre la turbidité et la concentration (mise en place d'un échantillonneur de MES). Les résultats de calibrages de cette station permettront de préciser les réglages sur les autres stations de configuration similaires.

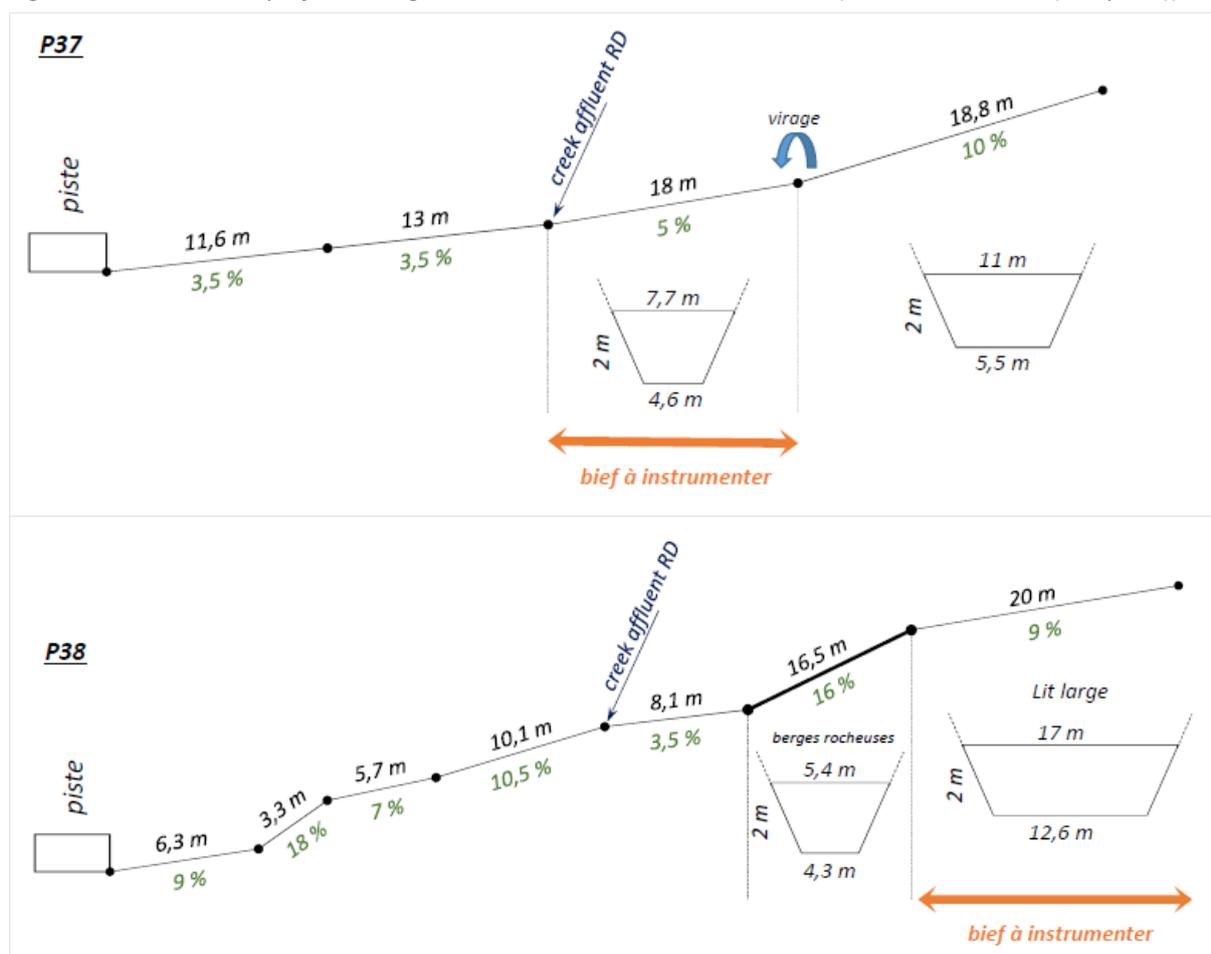
	Type	Surface	Mode de gestion	Accès	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
P37	Savane et cordon forestier	19 ha	mise en défens ¹ sur 2500 m	consolidation piste Haccinem	3,7 m ³ /s	5,8 m ³ /s	8,7 m ³ /s
P38	Savane et cordon forestier	22 ha	laissé en l'état	consolidation piste Haccinem	4,3 m ³ /s	6,6 m ³ /s	10 m ³ /s
P48	Forestier	12 ha	laissé en l'état	création 950 m de sentier	1,9 m ³ /s	3 m ³ /s	4,9 m ³ /s
T03	Savane et cordon forestier	19 ha	brûlages ²	consolidation piste Haccinem	4,6 m ³ /s	8 m ³ /s	11 m ³ /s

6.2 Implantation des stations de mesure

Afin de vérifier la compatibilité des bassins sélectionnés avec le dispositif hydrométrique (détaillé dans la partie suivante), des profils en long ont été réalisés aux abords de débouchés sur les pistes (P37, P38 et T03) et au niveau de la rivière principale (P48).

Par ailleurs, l'analyse de ces profils³ permet de localiser les biefs à instrumenter d'après les configurations géométriques et morphologiques des lits des creeks.

Figure 31. Schémas des profils en long des sections de creeks à instrumenter (P37, P38, P48, T03 (en option))

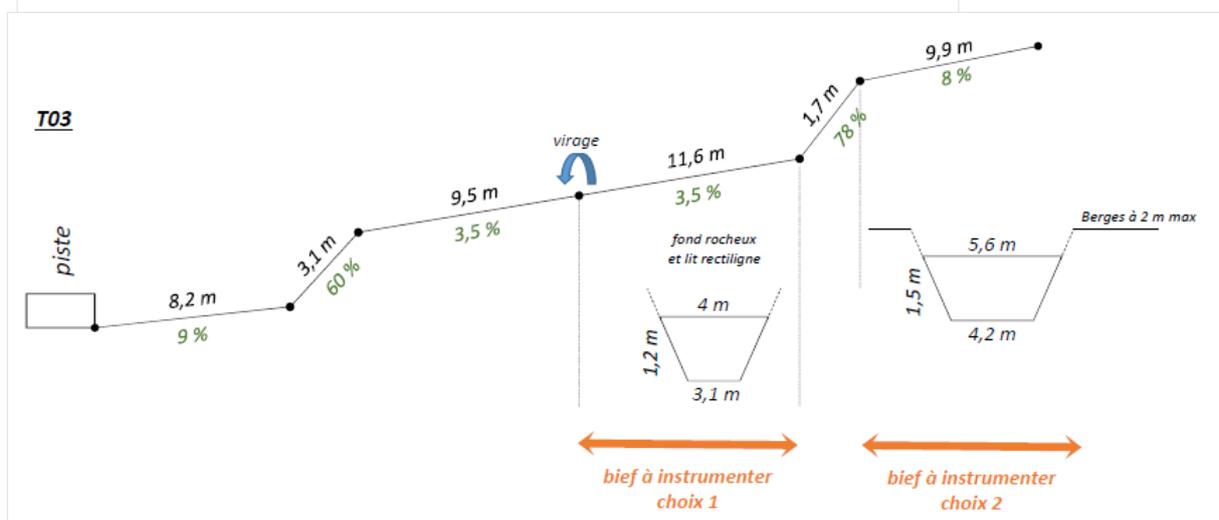
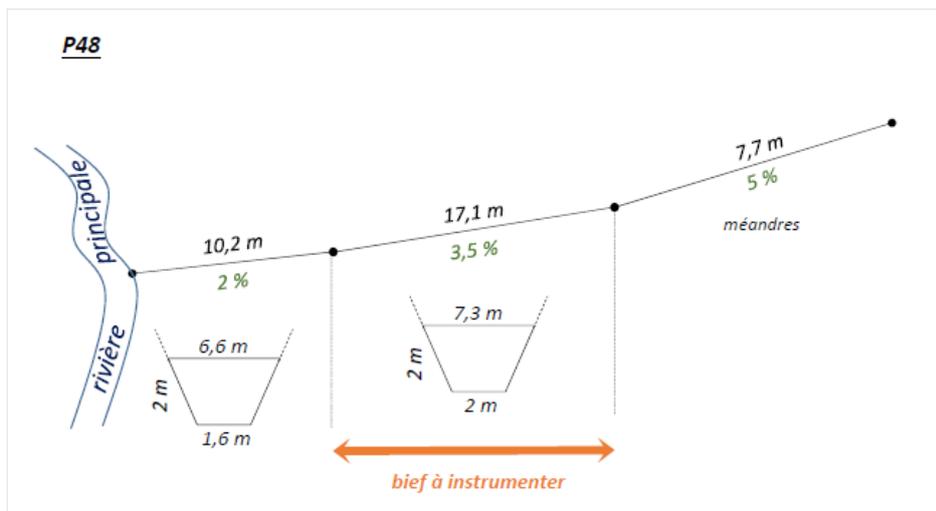


¹ Il est préférable de mettre en défens P37 plutôt que P38.

En effet, si P38 est mis en défens, il y a alors un réel obstacle pour les espèces invasives et les résultats des mesures risquent d'être biaisés sur P37.

² Il y aura néanmoins à conserver une zone de forêt dense humide autour des instruments de manière à les « protéger ».

³ Les profils en long réalisés au clinomètre et décimètres en remontant les creeks sur une trentaine de mètres depuis les exutoires.



6.3 Dispositif proposé pour la mesure des débits

Il n'existe pas de solution parfaitement optimale pour la mesure de débits en eaux chargées¹. Les canaux rectilignes « non normalisés », tels que ceux utilisés dans le projet Hydromine sur Poro, peuvent présenter de fortes incertitudes dans la mesure du débit, c'est pourquoi nous ne retenons pas cette solution, même si elle reste pertinente si le transport solide est régulé en amont et que des jaugeages sont pratiqués pour une gamme étendue de débits.

La solution proposée dans ce projet est un compromis entre la notion de qualité de la mesure, la prise en compte du budget (investissement et entretien) et l'intégration au milieu naturel d'accès difficile. **Le dispositif hydrométrique² sera constitué d'ouvrages combinant déversoirs à paroi mince et seuil épais.** Malgré un fonctionnement en eaux chargées (charriage) non optimal, des précautions seront prises pour limiter ces perturbations dans la mesure.

A l'inverse des sites miniers sur lesquels les matériaux sont rapidement mis en suspension, les conditions de mise en suspension dans notre contexte d'étude ne sont pas connues avec des terrains où la couverture végétale est bien présente. Les mesures de débit doivent alors pouvoir couvrir une large gamme pour être certain que les débits soient bien mesurés au moment opportun. Les seuils de transport solide par charriage ($Q_{\text{charriage}}$) et en suspension ($Q_{\text{suspension}}$) peuvent être différents comme l'illustre le schéma suivant.

¹ En dehors peut-être des canaux jaugeurs de type Parshall ou Saniiri, mais qui présentent un coût d'investissement trop élevé

² Et également mesure de MES.

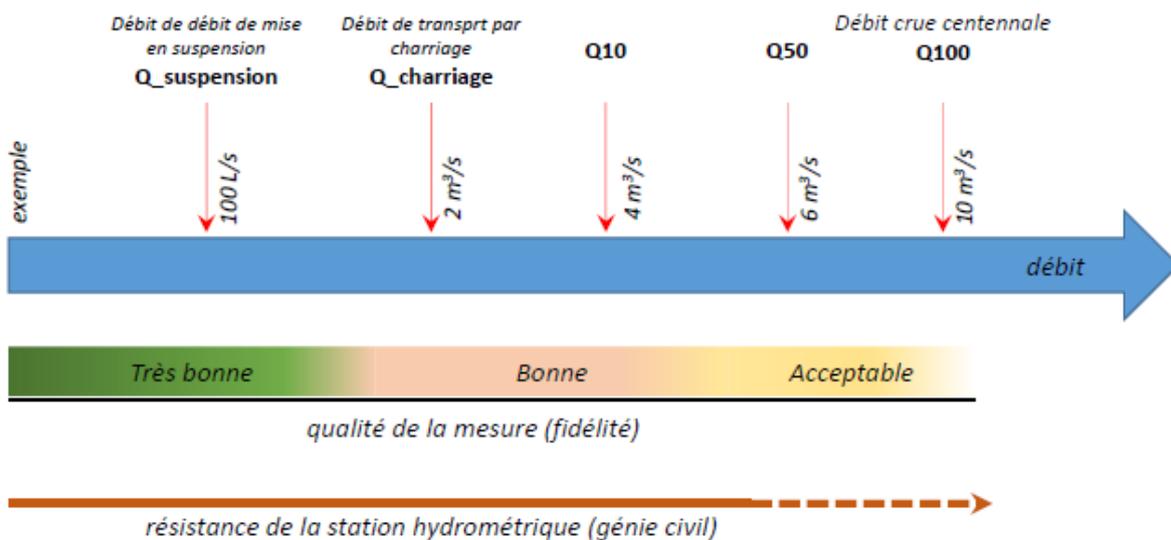


Figure 32. Schéma des seuils de transport solide par charriage ($Q_{\text{charriage}}$) et en suspension ($Q_{\text{suspension}}$) en relation avec la qualité de la mesure et la résistance de la station

Les stations hydrométriques présenteront également une limite de bon fonctionnement liée à la fois à la résistance des capteurs aux écoulements de crue mais surtout à la résistance du génie civil. Cette résistance doit être la meilleure possible, au regard de l'investissement alloué, et tenter d'être compatible avec une période de retour de l'ordre de 50 ans au minimum pour assurer la pérennité de la mesure.

Nous proposons de mettre en œuvre un dispositif composite qui permettra de :

- mesurer les forts débits grâce à un déversoir à crête suffisamment large (seuil épais),
- mesurer les faibles débits à l'aide d'une échancrure centrale (déversoir à paroi mince).

Ainsi une échancrure rectangulaire sera prévue dans l'épaisseur du seuil et une plaque métallique sera mise en place sur la face amont du seuil (pour éviter les perturbations liées à l'épaisseur de la paroi du seuil épais), afin de constituer un déversoir à paroi mince.

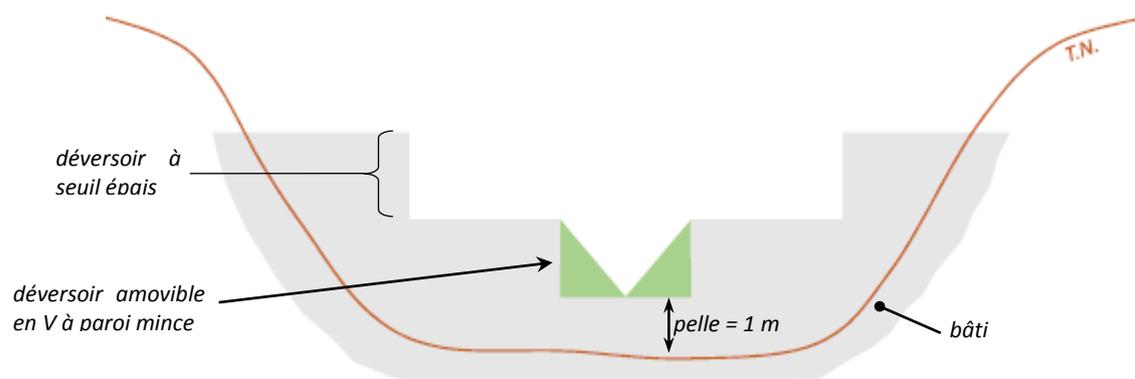


Figure 33. Schéma de coupe transversale : forme générale donnée aux sections de mesure

Cette dernière sera amovible pour faciliter l'entretien du dispositif (vidange des matériaux qui vont se stocker en amont du seuil). Une étanchéité devra être assurée entre la plaque et les parois du seuil par un dispositif adapté (joint silicone ou autre) afin de ne pas fausser la mesure.

Lorsque le débit dépassera la capacité de l'échancrure centrale (paroi mince), les eaux s'étaleront alors sur la crête du seuil épais.

A cet instant, la mesure de débit sera plus incertaine tant que la hauteur d'eau sur le seuil épais restera très faible par rapport à la largeur de la lame déversante (épaisseurs de lame d'eau < 5 cm).

En effet, dans ce cas, une faible incertitude sur la hauteur de la lame d'eau entraîne une forte incertitude sur l'estimation du débit.

Pour la mesure des débits déversant par-dessus le seuil épais, la loi à appliquer dépendra du rapport h/e :

- si $h/e > 2$ → le calcul sera celui d'une paroi mince
- si $h/e < 1,6$ → le calcul sera celui d'un seuil épais

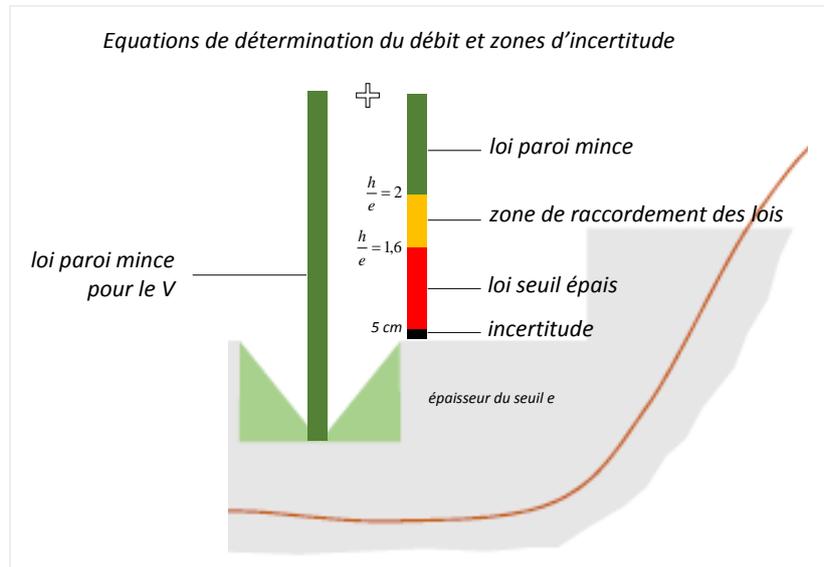


Figure 34. Schéma de détermination des débits et zones d'incertitude

Pour une épaisseur de crête du seuil épais donnée, il existe entre ces deux valeurs une gamme de hauteurs intermédiaires (tel que $1,6e < h < 2e$, par exemple entre 80 cm et 1 m pour un seuil de 50 cm d'épaisseur) qui ne rentre pas dans le domaine d'application des formules normalisées (paroi mince ou seuil épais). Le coefficient de débit doit alors être estimé en interpolant les valeurs obtenues à partir des formules pour les déversoirs à seuil épais et pour les déversoirs à lame mince.

Chute aval :

Les formules de déversoir ne sont applicables que pour des déversoirs dénoyés. Un déversoir est dénoyé lorsque le niveau aval n'a pas d'influence sur le niveau amont, donc sur le débit. Pour simplifier, on peut considérer que cette condition est remplie dans tous les cas lorsque la cote aval se situe nettement au-dessous de la cote de la crête du seuil, ce qui s'observe généralement pour les faibles débits.

Plus précisément, les hauteurs d'eau, mesurées à l'amont h_{am} et à l'aval h_{av} , doivent vérifier la relation $h_{av} / h_{am} \leq 0,6$ pour les seuils épais.

Dans le cas des seuils en mince paroi, le niveau d'eau à l'aval du seuil doit être suffisamment au-dessous de la crête de seuil pour assurer un déversement libre et pleinement aéré.

On obtient un déversement pleinement aéré lorsque la pression de l'air sur la surface inférieure de la lame déversante est égale à la pression atmosphérique. De plus, il faut que la lame déversante soit bien décollée à l'aval de la paroi du seuil. Dans notre cas, le seuil à crête rectangulaire s'insère dans des profils de berges trapézoïdaux plus larges, donc « l'aération » sera assurée aux deux extrémités latérales. Il n'est pas nécessaire de mettre en place des dispositifs spécifiques d'aération (« ouïe » d'aération).

On prendra au minimum une hauteur de chute sous l'échancrure centrale $h_{chute} = h_{am} - h - h_{av} > 5$ cm.

Conditions d'écoulement :

Le graphique ci-dessous indique le débit en fonction de la hauteur pour **un seuil rectangulaire de 4,5 m de largeur**, muni d'une **échancrure centrale en V** (à 90° de 0,5 m de hauteur et 1 m de largeur) :

Le débit maximal transitant dans l'échancrure centrale en V avant débordement sur le seuil est de l'ordre de **240 l/s** (pour un niveau de charge amont de 0,5 m).

La hauteur d'eau dans l'échancrure n'est en théorie que de 0,4 m ($y_c = 0,8 h$ pour une section triangulaire), mais des premiers déversements sur le seuil peuvent déjà se produire (étant donné le niveau de charge).

A ce niveau, la ligne d'eau ne sera pas uniforme entre le seuil horizontal et l'échancrure centrale, ce qui va s'estomper par la suite si la hauteur d'eau continue à augmenter. La figure 35 illustre la modification des lois déversoir une fois que le déversoir supérieur se met en eau.

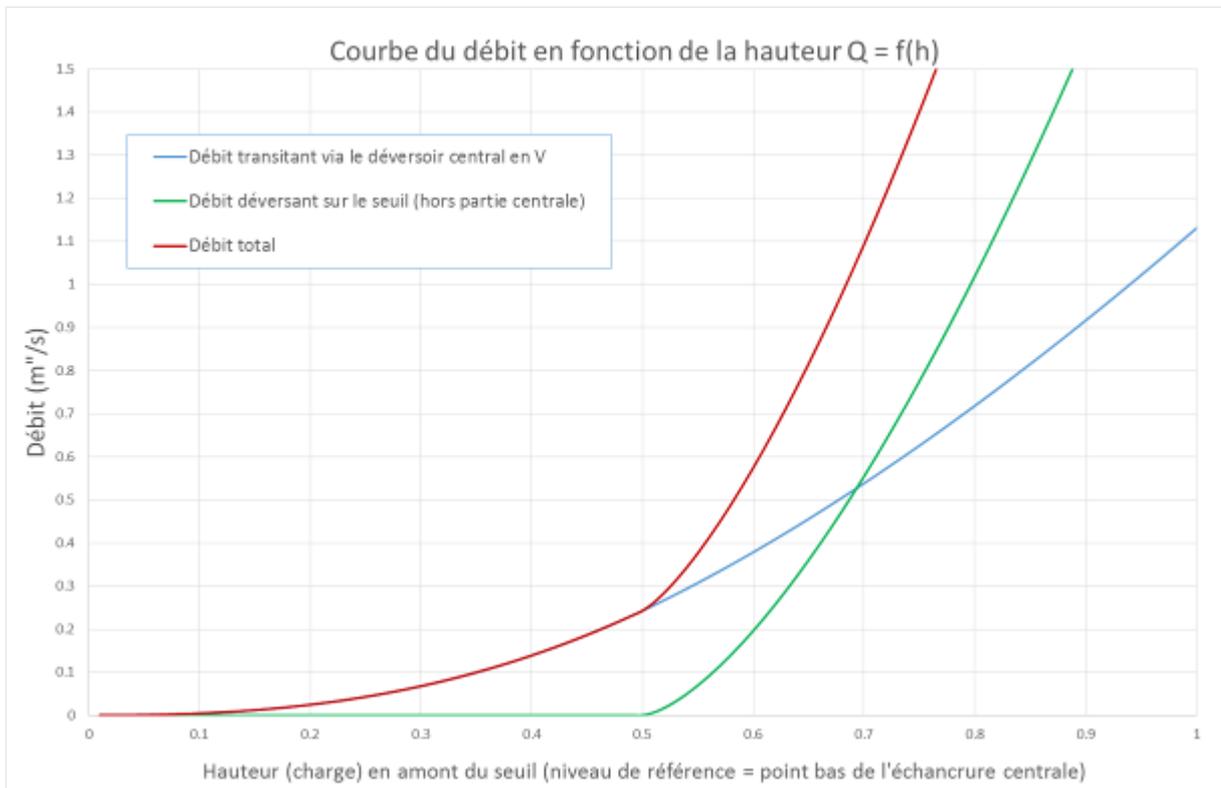


Figure 35. Courbe de débit en fonction de la hauteur d'eau pour un seuil rectangulaire de 4,5 m de largeur, muni d'une échancrure centrale en V (à 90 ° de 0,5 m de hauteur et 1 m de large)

Hauteur du seuil et retenue d'eau en amont :

La hauteur du seuil sous le point bas de l'échancrure (qui correspond à la pelle) sera adaptée en fonction de la pente du bief où le seuil sera implanté. La construction du seuil va créer une petite retenue d'eau en amont ; il faut que cette retenue soit suffisamment étendue vers l'amont pour « tranquilliser » les écoulements avant d'atteindre la section de mesure.

Pour les déversoirs à échancrure triangulaire, il est conseillé de disposer d'une pelle minimale de 40-50 cm. Etant donné que les matériaux vont se stocker derrière le seuil, il est préférable de retenir une pelle initiale comprise entre 0,8 m et 1 m. Si on considère une pente de bief de 5 %, cela permet de dégager une longueur de retenue de 16 à 20 m en amont du seuil.

La zone de retenue d'eau arrêtera tout le transport solide par charriage (transport par le fond) tant que le seuil ne sera pas entièrement atterri. En développant cette zone, on peut ainsi s'en servir pour quantifier le transport solide par charriage.

Une partie de transport solide en suspension pourra également décanter en amont du seuil pour des faibles débits, mais une grande partie transitera vers l'aval par des débits forts.

Concernant les débits de crue, le débit total qui transite dans l'ouvrage atteint :

- un peu plus de 8,5 m³/s pour une charge de 1 m en amont du seuil épais (soit 1,5 m par rapport au point bas de l'échancrure, niveau de référence pris en compte sur le graphique ci-dessus),
- environ 15 m³/s pour une charge de 1,5 m (2 m par rapport au niveau de référence).

Pour supporter un débit de 8,5 m³/s, il faut donc aménager un seuil d'au moins 2,5 m (correspondant à 1 m de hauteur de pelle + 0,5 m d'échancrure centrale + 1 m de hauteur de paroi latérale du déversoir en U). Pour un débit de 15 m³/s, il faut ajouter 0,5 m de hauteur sur les parois latérales.

La hauteur des berges peut être réduite selon le débit de crue que l'on retient pour le dimensionnement. En acceptant des désordres à l'ouvrage pour les débits supérieurs.

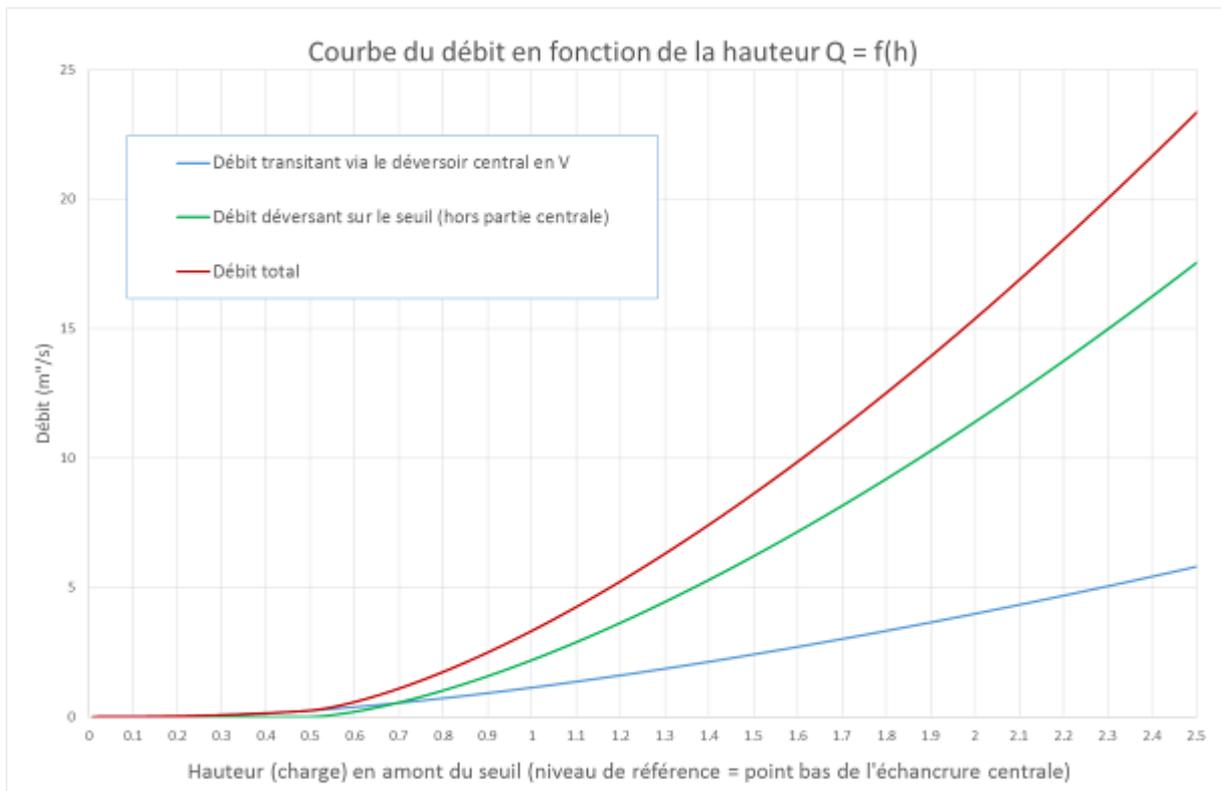


Figure 36. Courbe de débit en fonction de la hauteur d'eau pour le seuil rectangulaire de la figure 35 en fort débit (augmentation de l'échelle de rendu)

6.4 Mesure de hauteur d'eau – position et type des capteurs

6.4.1 POSITION DES CAPTEURS :

Les capteurs seront positionnés bien en amont du seuil afin de mesurer le niveau de la charge. La position doit respecter un compromis entre :

- une distance suffisante en amont du déversoir pour éviter la zone d'abaissement de la surface causée par la formation de la lame déversante,
- une position proche du déversoir pour que la perte de charge entre la section de mesurage de la charge et le déversoir soit négligeable.

Ainsi, compte tenu du fait que la section proposée est composite (paroi mince pour les bas débits et seuil épais pour les forts débits), il y a lieu de respecter les deux critères suivants :

- cas des déversoirs à paroi mince : l'emplacement de la mesure de hauteur d'eau sera satisfaisant à une distance de 4 à 5 h_{max} en amont du déversoir,
- cas des seuils épais : l'emplacement doit se trouver 3 à 4 h_{max} .

Exemple :

- Pour les bas débits, si seule l'échancrure est en eau, $h_{max} = 0,5$ m. Le capteur doit donc se situer entre 2 m et 2,5 m en amont du déversoir
- Pour les forts débits, la plus grande partie du débit transite par le seuil épais (débit à travers l'échancrure représente environ 25 % du débit total). Par conséquent, la mesure de hauteur d'eau doit se situer entre 3 m et 4 m en amont du déversoir.

La distance de 3 m en amont du déversoir offre le meilleurs compromis et sera retenue pour positionner les capteurs.

6.4.2 TYPE DE CAPTEURS ET PRECAUTIONS :

Dans un contexte avec transport solide, il n'est pas recommandé de créer des puits de mesurage, car ils peuvent facilement être obstrués par des matériaux et difficiles d'entretien.

On peut donc mesurer la charge soit par des sondes pressiométriques placées sous le niveau d'eau et/ou par sondes ultra-son ou radar hyper-fréquence placées au-dessus de l'écoulement.

▪ Sonde pressiométrique

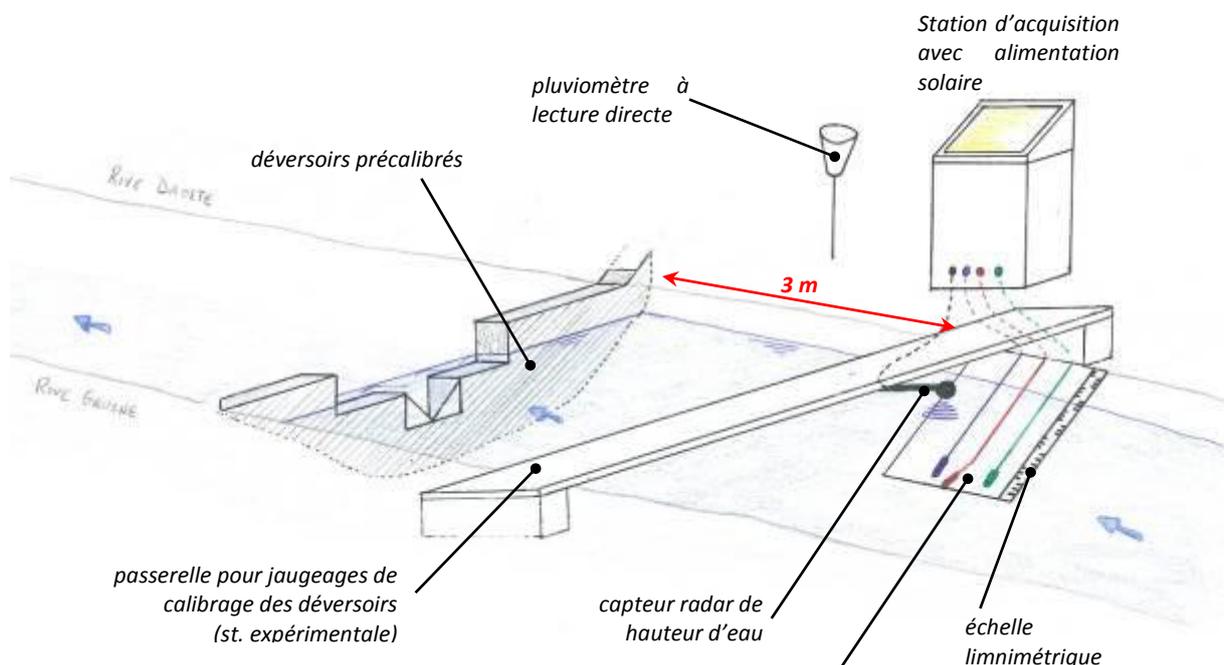
Il sera préférable de la laisser toujours en eau. Pour cela, elle sera positionnée 10 cm en-dessous de l'altitude de l'échancrure et non à la base du seuil ou de la fosse amont (risque important d'envasement).

▪ Sonde ultra-son ou radar hyperfréquence :

Les capteurs ultrasons seront positionnés, soit sur la passerelle de visite (station « expérimentale » P37), soit sur une potence très rigide (suffisamment robuste pour éviter tout fléchissement).

L'angle d'émission du capteur sera le plus proche possible de la verticale. La fixation du capteur devra permettre une possibilité de réglage : son montage et son démontage seront aisés et n'influenceront pas sur la hauteur de charge mesurée. Un capot antisolaire facilement démontable protégera la sonde. La sonde doit être positionnée plus haut que la hauteur maximale prévisible en crue et en tenant compte de son angle d'émission (éviter les échos parasites). La hauteur de charge maximale doit être hors de la zone morte de la sonde.

Figure 37. Type de station hydrométrique à mettre en place (la passerelle sera disposée uniquement sur le bassin « expérimental » ; sur les autres une potence remplacera la passerelle)



- capteur hauteur d'eau (pression)
- prélèvement échantillonnage
- turbidimètre

6.5 Mesure de concentration en MES et turbidité

La détermination de la concentration en MES s'appuiera fortement sur les protocoles de mesure établis sur la mine de PORO dans le cadre du projet Hydromine. Afin de limiter les coûts de fonctionnement, il ne sera mis en place qu'un seul échantillonneur dans le dispositif. Néanmoins, tous les sites seront équipés de mesure de turbidité. Le bassin « expérimental » équipé à la fois avec un échantillonneur permettra d'établir une loi entre la concentration en sédiments et la valeur de turbidité correspondante.

Le bassin expérimental sera le P37. Après une période de calibrage de 2 à 3 ans, l'utilisation seule des turbidimètres répondra aux objectifs du projet.

6.6 Mesure de la pluie

La pluie sera mesurée de manière classique, soit par des pluviomètres totaliseurs (cumuls de pluie) soit par des pluviomètres automatique afin de déterminer les intensités horaires de la pluie. Il sera mis en place deux pluviomètres automatiques :

- 1 dans l'enceinte clôturée du réservoir d'Haccinem (avec réseau 3G)
- 1 au niveau du captage d'Haccinem (sans réseau)

6.7 Mesure de la qualité de l'eau

Des prélèvements d'eau pourront être analysés afin d'en déterminer la qualité. Ils seront réalisés au niveau du captage d'Haccinem et le prélèvement se fera manuellement.

Par ailleurs, les prélèvements de l'échantillonneur de P38 pourront également être testés.

6.8 Mesure de l'érosion des sols – placette d'expérimentation

Afin d'avoir une surface représentative suffisante et de pouvoir observer le ruissellement, nous proposons de mettre en place des parcelles de 100 m² de forme rectangulaire. Afin de s'affranchir d'un risque de submersion par une lame d'eau à l'amont, un déflecteur triangulaire sera mis en place. Les bordures des placettes seront fabriquées avec des planches de bois.

La dimension des placettes sera de 5 mètres de largeur sur 20 mètres de long. Les placettes seront installées dans le sens de la pente. Les ouvrages de collecte en pied de placettes d'érosion devront permettre de retenir la fraction la plus grossière des matériaux ravinés. Ils présenteront une longueur de 5 m et une section 2 m² de section. Ils seront en structure rigide (tôles ou murs bétonnés). Afin de faciliter la décantation des matériaux fins, ce collecteur sera compartimenté en une dizaine de casiers. Le débit de fuite sera relargué dans le milieu naturel en prenant soin qu'il n'engendre pas de ravinements sur les pistes.

Il est impossible de stocker la totalité du volume d'eau ruisselé puis d'attendre la décantation pour en mesurer les sables et graviers, mais également les MES. En effet, pour cela, en retenant une période pluvieuse de cumul 2000 mm il faudra disposer d'un volume de collecteur de l'ordre de 200 m³ !

Nous faisons le choix de ne mesurer que la fraction grossière (sables et graviers) qui va se déposer dans le collecteur. Dans ce cadre, il est important de prévoir une caractérisation initiale des matrices de sol de chaque placette afin de mieux maîtriser la granulométrie pour ensuite pouvoir extrapoler les résultats et faire des comparaisons inter placette. Gardons à l'esprit qu'il s'agit ici d'une approche essentiellement démonstrative où un effort comparatif des mesures réalisées pourra être fait.

Le technicien procèdera régulièrement au curage minutieux du collecteur afin d'en déterminer le volume et rattacher cela à un cumul de pluie sur la période donnée par les pluviomètres à proximité.

6.9 Coûts du dispositif

Les coûts présentés ci-après permettent de préciser l'enveloppe financière globale du dispositif de suivi.

Il est important de noter que **ces montants vont être ajustés dans le courant du mois de novembre 2015** en fonction des devis demandés auprès des entreprises de travaux publics, fournisseur d'instruments de mesure, prestataires d'analyse des échantillons, cout de maitrise d'œuvre des ouvrages de génie civil, etc.

➤ Éléments de dimensionnement des ouvrages hydrométriques (génie civil) :

Le schéma ci-après illustre les différentes dimensions nécessaires à l'estimation du volume de béton pour la construction des ouvrages. Le tableau associé précise les quantités pour chaque site :

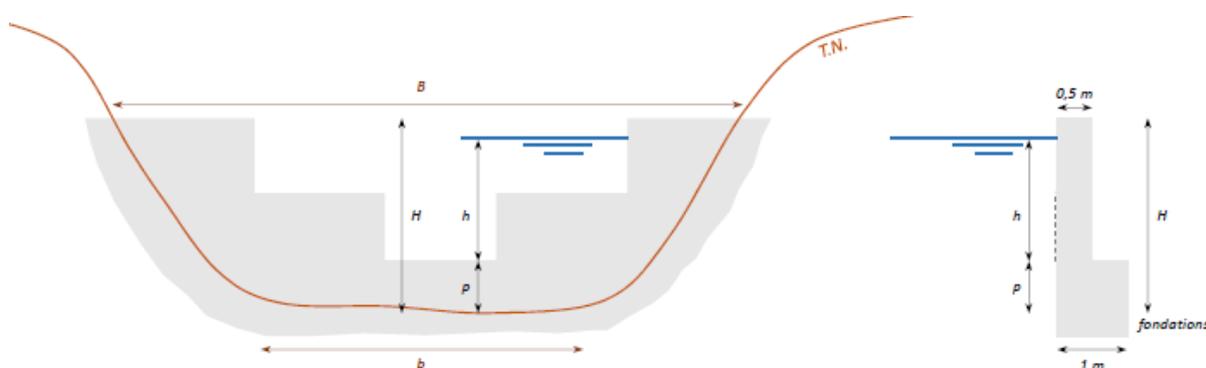


Figure 38. Schéma des ouvrages pour l'estimation des volumes de béton nécessaire

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES OUVRAGES HYDROMETRIQUES							
	$Q_{\text{projet}} \text{ (m}^3\text{/s)}$	$h \text{ (m)}$	$H \text{ (m)}$	$b \text{ (m)}$	$B \text{ (m)}$	Parement $\text{(m}^2\text{)}$	$V_{\text{volume béton}} \text{ (m}^3\text{)}$
P37	8,7 (= Q_{100})	1,5	2,75	4,6	8,9	12,5	19
P38	10 (= Q_{100})	1,6	2,85	4,3	5,6	7,5	11
P48	4,9 (= Q_{100})	1,2	2,45	2	8,5	7	11
T03	3,3 ($Q_{100} = 11 \text{ m}^3\text{/s}$)	1	2 hauteur max des berges	4,2	6	7,5	11
hypothèses de calcul :		<ul style="list-style-type: none"> ▪ hauteur de pelle $p = 1 \text{ m}$ ▪ marge bâti au-dessus de la crue de projet = + 0,25 m ▪ surface du parement : surface du trapèze moins les réservations des déversoirs ▪ volume de béton calculé avec la surface de parement et en prenant une épaisseur moyenne de 0,75 m. Ce volume est majoré de 100% pour prendre en compte les fondations et le massif béton 3 mètres en amont pour implanter les capteurs 					

➤ « Catalogue » des instruments

L'

Annexe 4 donne une présentation synthétique des caractéristiques des différents instruments qui composeront le dispositif de suivi, ainsi que les montants associés.

Sur la base de ce catalogue, une sélection a été faite pour chaque bassin instrumenté, ainsi que pour chaque placette d'érosion et site de mesure pluviométrique.

➤ **Coût des sections de contrôles, instruments de mesure et placettes d'érosion**

SITE	METEO					HYDROMETRIE									MES ET EROSION			EQUIPEMENT DIVERS				MONTANT (EN KF)	
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	4.4		
<i>réervoir Haccinem</i>	1	1	x	x	x									x									1 125
<i>captage Haccinem</i>	1	1		x	x														16				623
<i>P37</i>	2					3,8 MF	x	x	x	x	x			x	x	x		x		2500	650		10 080 + passerelle
<i>P38</i>	1					2,2 MF	x	x	x	x	x	x	x	x	x								4 930
<i>P48</i>	1					2,2 MF	x	x	x	x	x	x	x	x								950	5 880
<i>T03</i>	1					2,2 MF	x	x	x	x	x	x	x	x									4 930
<i>Pl. érosion 1</i>																	1						245
<i>Pl. érosion 2</i>																	1						245
<i>Pl. érosion 3</i>																	1			50			295
<i>Pl. érosion 4</i>																	1						245
<i>Pl. érosion 5</i>																	1			50			295

Le **montant de l'investissement pour la construction du dispositif est estimé à environ 24 millions de Francs Pacifique** hors la construction et l'instrumentation de T03 (environ 5 millions supplémentaire) et en dehors des coûts des bureaux d'études.

La partie construction des déversoirs (génie civil) est estimée à **8,2 millions de Francs Pacifique** hors T03 (2,2 millions de Francs Pacifique). Le coût de la création de sentiers est estimé à **1,6 MF**. Le coût de la création des placettes est estimé à **1,3 MF**.

L'option d'une instrumentation du T03 est donc mise de côté pour le moment étant donné cette évaluation détaillée des coûts d'investissement « dispositif/matériel de mesure » ne faisant pas état des coûts liés à l'achat du matériel roulant, de la prestation du bureau d'étude qui sera en charge du design détaillé des seuils et de la réalisation du chantier et de la prestation du fournisseur de matériel pour l'installation de celui-ci.

Il est important d'inclure dans l'investissement retenu, le coût du véhicule tout-terrain et les matériels pour équiper le technicien. Compte tenu du mauvais état général des pistes, il est impératif de disposer d'un véhicule tout-terrain. Un petit 4x4 léger de type Suzuki Jimny ou un Quad 4x4 serait parfaitement adapté aux pistes et ne dégraderait pas davantage les pistes contrairement à un véhicule plus lourd.

Par ailleurs, les ouvrages proposés nécessitent une phase de conception spécifique, notamment d'analyse de structure. Il sera nécessaire d'ajouter des montants de maîtrise d'œuvre de l'ordre de +20 % pour chaque ouvrage (environ 1,5 Millions de Francs Pacifique). Du temps et une mission supplémentaire non prévus dans le cadre de RESCCUE s'avèrent également nécessaires pour le contrôle technique du bureau en charge du dimensionnement des ouvrages (validation design et plan de génie civil) et pour les rectifications nécessaires à faire en cours de projet et lors de l'installation des seuils.

Tableau 2. *Masses d'investissement nécessaire à la mise en place du dispositif de suivi hydrologique, météorologique et de l'érosion.*

	Montants en K CFP	Lot concerné (voir section 6.10)	
Section de contrôle Génie Civil	8200	Lot 1	11065
Placette d'érosion	1225		
Coût BE Structure	1640		
Coût vérification, suivi technique et rectification	750	NA	750
Capteurs météorologiques	1850	Lot 2	11040
Capteurs hydrométriques	7190		
Echantillonneur et turbidimètre	1250		
Coût BE matériel	750		
Clôture, passerelle, sentier	4248	lot 3	4248
Logistique technicien	2850	Lot 4	2850
Total général	29953		

➤ Coûts de fonctionnement annuels

Tableau 3. Estimation des coûts de fonctionnement annuel du dispositif

Montants en K CFP	
Coût technicien	2000
Usage du véhicule	500
Analyses laboratoires	1000
Remplacement des capteurs	3000
Divers	500
Total général	7000

Les montants consolidés de financement et de fonctionnement seront donnés fin novembre après réception des devis des différents prestataires identifiés.

6.10 Mise en place du dispositif et fonctionnement

Le dispositif comporte une partie importante de génie civil et d'usage de béton. Il est fortement recommandé de réaliser ces ouvrages en période sèche pour éviter le risque de crue. Par ailleurs, l'ouvrage de P48 se situe dans le bassin de captage d'Haccinem. La construction d'un ouvrage en béton et l'ouverture d'un sentier ne doivent en aucun cas contribuer à polluer les eaux destinées à l'AEP.

Conformément à la demande de DDEE lors de la réunion de restitution, le marché sera décomposé en différents lots, et compte tenu de l'urgence de mise en place, sans doute réalisé avec la procédure de marchés public de « gré à gré » si les montants le permettent.

Les lots pré-identifiés sont les suivants (voir le tableau en page précédente pour les coûts respectifs des lots):

lot 1 : **seuils et placettes d'érosion** (topographie, plan, dimensionnement détaillé et réalisation) ;

lot 2 : **instrumentation** : installation et mise en route ;

lot 3 : **accès** : passerelle ;

lot 4 : **logistique technicien** : véhicule ;

lot 5 : **accès** : ouverture de chemin;

lot 6 : **contrôle qualité** - plans, implantation des seuils et réalisation des seuils

Si nécessaire, ces lots seront décomposés en plusieurs parties afin de couvrir l'ensemble des besoins pour la mise en place du dispositif dans les temps impartis.

7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS POUR LES ETAPES SUIVANTES

Le type de dispositif de suivi hydrologique, météorologique et de l'érosion proposé dans ce document doit impérativement être suivi dans le temps. En effet, la pertinence des résultats dépend du nombre d'épisodes de pluie observés et de leur hétérogénéité en termes d'intensité. Le tableau suivant présente la probabilité (% de chance) qu'un épisode de pluie ou débit de période de retour T se produise pendant une durée d'observation D.

Tableau 4. Probabilité qu'un épisode de pluie ou débit de période de retour T se produise pendant une durée d'observation D

D =	1 an	3 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
T = 2 ans	50 %	88 %	96,9 %	99,9 %	100 %	100 %	100 %
T = 10 ans	10 %	27 %	41 %	65 %	88 %	99,5 %	100 %
T = 50 ans	2 %	5,8 %	9,6 %	18,3 %	33 %	63,6 %	86,7 %
T = 100 ans	1 %	3 %	4,9 %	9,6 %	18 %	39 %	63 %

Il y aurait alors un peu plus de 10 % de chance pour qu'un épisode d'ampleur (période de retour décennale) se produise pendant la durée d'observation du projet RESCCUE (1,5 ans pour une installation en saison sèche de 2016 (septembre à novembre)).

Cette probabilité augmente à près de 2 chances sur 3 (65%) pour une période d'observation de 10 ans. On conçoit aisément que pour rentabiliser techniquement l'investissement afin de répondre aux objectifs initiaux, il est capital de mettre en œuvre le dispositif dans une durée qui va bien au-delà du projet RESCCUE.

On rappellera également ici de ne pas prendre le risque d'une installation en saison cyclonique au regard du montant des investissements à faire en terme de génie civil (environ 1/3 des coûts d'investissement). Cette modification de la planification initiale de RESCCUE en PN devra être validée lors du COPIL de décembre 2015. Sur cette base, le planning de la phase d'instrumentation sera le suivant :

- le choix du dispositif (variables à mesurer, type et nombre des instruments, localisation des bassins à instrumenter) a lieu pendant le dernier trimestre 2015.
- la mise en place des stations de mesure est prévue pour le 2^{ème} semestre 2016 (design, construction des bâtis, installation des instruments)
- les mises en route des instruments et des chaînes de traitements des données sont prévues pour la fin du deuxième semestre 2016.
- pour la suite, et durant la période du projet RESCCUE, les données fournies par les instruments seront centralisées, critiquées et exploitées par le consortium, avec une transmission des résultats à la Province Nord et à la DAVAR. A ce titre, Il est extrêmement important de se rapprocher de la DAVAR pour ce qui est de la méthode de critique et de validation des données. Le document d'opérationnalisation du dispositif devra en faire état.

Vu la complexité du projet et sa relative appartenance au secteur de la recherche, il serait opportun que celui-ci soit rapidement renforcé par une équipe scientifique. Les développements en cours au niveau de l'IRD en rapport à l'hydrologie en NC pourraient aller dans ce sens dans une vision de pérennisation du dispositif qui sera mis en place.

L'opérateur va courant novembre-décembre 2015, sur la base du présent rapport et de son contenu technique, mobiliser dans la mesure de ses possibilités les devis nécessaires à l'implantation du dispositif.

8 BIBLIOGRAPHIE

- ALLENBACH, M. 2013. Programme CNRT "fonctionnement des petits bassins versants miniers". Consortium IRSTEA / METEO-FRANCE / IRD / UNIVERSITE DE LA REUNION / AE2P / UNIVERSITE DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE. 20 pp.
- ALRIC, R. 2009. Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie. DAVAR / SESER / ORE. 314 pp.
- BANQUE HYDRO. 1998. Charte qualité de l'hydrométrie. Code de bonnes pratiques. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. 56 pp.
- BERTAUD, A. 2013. Suivi des pressions associées à l'érosion dans les milieux naturels: panorama des principales méthodes de suivi. Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie. 76 pp.
- CARLIER, M. 1986. Hydraulique générale et appliquée. Edition Eyrolles. 565 pp.
- CHEGGOUR, A & al. 2007. Recherche d'indicateurs de ruissellement et des risques d'érosion au moyen de tests d'infiltrométrie dans le bassin versant du Rheraya (Haut-Atlas Occidental, Maroc). Université de Marrakech / IRD. Revue des sciences de l'eau. 14 pp.
- CNRT Nickel. 2014. Fonctionnement des petits bassins versants miniers. Programme CNRT 2010-2014. Restitution du 2 décembre 2014. 269 pp.
- CNRT Nickel. 2014. Synthèse du programme de recherche "fonctionnement des petits bassins versants miniers". 5 pp.
- DANLOUX, J. 1991. Classification et quantification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie. Hydrologie continentale. 14 pp.
- DEYMIER, C. 1991. Avant-projet détaillé de l'ouvrage de retention du creek Nakalé. CEMAGREF / Commission de rehabilitation de la région du Thio. 20 pp.
- DINGER, F. et TACHKER, Y. 1989. Protection contre les risques naturels et lutte contre l'érosion en Nouvelle-Calédonie. Compte rendu de mission. Office National des Forêts. 61 pp.
- FOX, D. & al. 2006. Etude et cartographie de l'érosion des sols dans le vignoble du Sud-Est de la France. Université de Nice / UMR CNRS. Etudes de géographies physique n°XXXIII. 11 pp.
- FRYSOU, O. 2007. Hydromine: Etat initial. Diagnostic du réseau de drainage - Proposition d'aménagements des sections de mesures. 63 pp.
- FRYSOU, O. 2008. Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie. Rapport de synthèse. DAVAR. 29 pp.
- GALEA, G. et RAMEZ, P. 1995. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau. Guide à l'usage des aménageurs. Cemagref éditions. 126 pp.
- GENTIEN-BAUDRY, V. 1999. La modélisation pluie-débit sur les bassins versants de la Nouvelle-Calédonie. CEMAGREF / ENGREF. 76 pp.
- GRIL, J.J. et DUVOUX, B. 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion. Conditions d'adaptation des méthodes américaines. Cemagref. 157 pp.
- GUEYTE, R. 2006. Présentation de la gestion du risque environnemental lié à l'activité minière. Etude d'impact des rejets de soufre de la centrale thermique de Doniambo et projet de mesure de l'érosion en site minier. Stage de Technicien 3^{ème} année. 54 pp.
- GUEYTE, R. 2008. Sedimentary contribution of catchments on Efate Island Vanuatu: Instrumentation and modelling. CRISP IRD. 49 pp.

- ILTIS, J. 1990. *Les travaux de protection contre l'érosion en Nouvelle-Calédonie: luxe ou nécessité? Eaux et aménagements des régions intertropicales T1*. 14 pp.
- LADREYT & al. 2005. *Notice sur les déversoirs. Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs*. CEREMA. 89 pp.
- LAWRENCE, P. 1996. *Guidelines on field measurement procedures for quantifying catchment sediment yields*. Report OD/TN 77. ODA. 108 pp.
- LENCASTRE, A. 2005. *Hydraulique générale*. Editions Eyrolles. 334 pp.
- LE COZ & al. 2011. *Contrôle des débits réglementaires - application de l'article L.214-18 du code de l'environnement*. Guide Technique Police de l'eau. ONEMA. 132pp.
- MARCANGELI, Y. 2003. *Cartographie des zones dégradées par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie. Région de Houailou et Kouaoua, côte est*. Service des mines et de l'énergie de Nouvelle-Calédonie. 68 pp.
- MATHYS, N. 2011. *Erosion et transport solide à l'aval de sites miniers en Nouvelle-Calédonie*. GDR TRANSNAT. CEMAGREF. 34 pp.
- MATHYS, N. 2014. *Fonctionnement des petits bassins versants miniers*. Séminaire de formation. Notions de base en hydrologie. IRSTEA. 61 pp.
- MEUNIER, M. 1990. *Etude des transports solides torrentiels, creek Jeanne et Marie, creek Kouangoué, rivière Nakalé*. CEMAGREF / Commission de rehabilitation de la région du Thio. 121 pp.
- MEUNIER, M. et DEYMIER, C. 1990. *Analyse de la torrentialité du creek Jeanne et Marie et des aménagements au niveau de la RT4*. CEMAGREF / Commission de rehabilitation de la région du Thio. 20 pp.
- MEUNIER, M. 1995. *Compte-rendu de recherches n°3. BVRE de Draix*. Cemagref éditions.
- MONIOD, F. 1962. *Aperçu hydrologique de la Nouvelle-Calédonie*. ORSTOM. 221 pp.
- MONTARELLO J. 2008. *Etude granulométrique au PPME et projet Hydromine au CFTMC de Poro*. Rapport de stage. 61 pp.
- NAVARROT, L. 2012. *Analyse des flux solides et liquides du bassin versant minier de Poro en Nouvelle-Calédonie*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES. ENGEES / IRSTEA / UNC. 94 pp.
- NOUVELOT J-F. 1993. *Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique Tropicale et Equatoriale*. 547 pp.
- PERINET, F. 1989. *Aménagement du versant nord du Ningua et des rivières Nakalé et Kouangoué. Protection contre les risques naturels et lutte contre l'érosion à Thio*. Direction de l'économie rurale. 56 pp.
- RECKING, A. 2011. *Méthodes de monitoring du transport solide*. Séminaire ONEMA. CEMAGREF. 34 pp.
- RICHARD, D. 2014. *Fonctionnement des petits bassins versants miniers*. Séminaire de formation. IRSTEA. 67 pp.
- RECKING, A. & al. 2013. *Torrents et rivières de montagne. Dynamique et Aménagement*. Editions Quae. 334 pp.
- ROMIEUX, N. 2011. *Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie*. DAVAR / SESER / ORE. 83 pp.
- UNC & IRSTEA, 2014. *Convention Hydromine: rapport de synthèse 2009 - 2012*. 170 pp.

UNC, 2008. *Convention Hydromine. Base de données sédimentologiques (MES). PPME - EA 3325. 70 pp.*

UNESCO. 1986. *Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. Programme hydrologique international. 155 pp.*

WHITE W.R. 1986. *Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. UNESCO. 155 pp.*

WIERSUM, K.F. 1984. *Effects of various vegetation layers in an acacia auriculiformis forest plantation on surface erosion in java (Indonesia). 6 pp.*

WOTLING, G. & al. *Atlas de la Nouvelle-Calédonie. L'hydrologie, planche 12. DAVAR. 4 pp.*

Normes en hydrométrie

ISO 8333. 1985. *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs – Déversoirs à seuil épais en V. 22 p.*

ISO 9123. 2001. *Measurement of liquid flow in open channels - stage-fall-discharge relationships. 22 pp.*

ISO/TS 3716. 2006. *Hydrometry - functional requirements and characteristics of suspended sediment samplers. 20 pp.*

ISO 3846. 2008. *Hydrometry - Open channel flow measurement using rectangular broad-crested weirs. 36 pp.*

ISO 4373. 2008. *Hydrometrie - Appareils de mesure du niveau de l'eau. 28 pp.*

NF X10-311. 1983. *Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs en mince paroi. 39 pp.*

NF ISO 4359. 1986. *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts: canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U. 60 pp.*

NF ISO 1070. 1992. *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts: Méthode de la pente de la ligne d'eau. 22 pp.*

NF ISO 4362. 1993. *Mesures de débits des liquides dans les canaux découverts: Déversoirs à profil trapézoïdal. 22 pp.*

NF ISO 9826. 1993. *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts: Canaux jaugeurs Parshall et Saniiri. 26 pp.*

9 ANNEXES

Annexe 1 : Compte rendu de mission

Annexe 2 : Déroulé de la mission

Annexe 3 : Reportage photographique de la mission

Annexe 4 : Détermination des coefficients de Montana de la zone des BV

Annexe 5 : Détermination de l'hydrologie de référence pour les bassins versants présélectionnés

Annexe 6 : Granulométrie effectuée sur un affluent de la Thiem

Annexe 7: Analyse de la qualité de l'eau captage Haccinem

Annexe 8 : Eléments sur les solutions techniques – déversoirs

Annexe 4 : Liste des capteurs, de l'ensemble du matériel nécessaire et du magasin

Annexe 10: Cahier des charges techniques Lot 1 = génie civil des ouvrages

Annexe 11 : Addendum au Lot 1 = génie civil des ouvrages

Annexe 12 : Cahier des charges techniques Lot 2 = instruments de mesure

Annexe 13 : Cahier des charges techniques Lot 3 = passerelle

Annexe 14 : Eléments cartographiques relatifs à l'ouverture des sentiers pour le suivi du dispositif