

CONVENTION HYDROMINE
Rapport de synthèse 2009-2012



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

Mars 2014

Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie
(DAVAR – DIMENC)

Sommaire

Sommaire	3
Table des Figures	5
Liste des Tableaux	7
Liste des Annexes	8
1 Introduction.....	9
1.1 Contexte.....	9
1.2 Historique du projet et des suivis sur site.....	9
1.3 Questions techniques et scientifiques posées.....	10
2 Matériel et méthodes.....	11
2.1 Le site expérimental de Poro	11
2.1.1 Installations de mesure	12
2.1.2 Méthodes d'observation, protocoles de mesure in-situ	15
2.1.2.1 Gestion des préleveurs automatiques.....	15
2.1.2.2 Entretien des sections de mesure.....	16
2.1.2.3 Jaugeages	16
2.1.2.4 Suivi des décanteurs	17
2.1.2.5 Suivi des chemins de l'eau et mise à jour du Plan de Gestion des Eaux (PGE).....	20
2.1.2.6 Travail sur site et gestion des priorités.....	21
2.1.3 Protocoles de mesure au laboratoire.....	22
2.1.3.1 Mesure des concentrations en suspension (MES) au laboratoire	22
2.1.3.2 Analyse granulométrique par diffraction laser.....	23
2.2 Traitement des données	23
2.2.1 Données hydrologiques	23
2.2.2 Données sédimentologiques	24
2.2.3 Mise en forme et archivage des données.	24
2.3 Analyse des données et interprétation des résultats	25
2.3.1 Détermination des paramètres hydrologiques	25
2.3.1.1 Découpage, sélection et description des épisodes pluvieux	25
2.3.1.2 Définition des épisodes de crue, détermination des débuts et fins d'épisodes.....	26
2.3.1.3 Calcul des lames écoulées et coefficients d'écoulement rapide	27
2.3.1.4 Détermination des temps de concentration.....	27
2.3.1.5 Autres paramètres hydrologiques	28
2.3.2 Détermination des paramètres de MES	28
2.3.3 Méthodes d'analyse utilisées	31
2.3.3.1 Méthodes graphiques.....	31
2.3.3.2 Méthodes statistiques	32
2.3.3.3 Modélisation	32
2.3.3.4 Méthodes cartographiques et Système d'Information Géographique (SIG).....	32
3 Résultats sur la relation pluie-débit	32
3.1 Pluies et débits de la période.....	32
3.1.1 Pluviométrie	32
3.1.2 Débitmétrie et relation Pluie-débit	34
3.2 Catalogue des épisodes (couples averse-crue).....	35
3.2.1 Paramètres principaux décrivant les épisodes.....	35
3.2.2 Critères de séparation faibles/moyens/forts	37
3.2.3 Formation du ruissellement	39
3.3 Matrice de corrélation	41
3.4 Lames écoulées et coefficients d'écoulement.....	42
3.5 Temps de concentration	47
3.5.1 Résultats des méthodes graphiques.....	47

3.5.2	Méthodes de la littérature	50
3.5.3	Discussion	50
3.6	Résumé et conclusions sur la relation pluie-débit.....	51
4	Résultats sur les flux de sédiments	51
4.1	Etude des crues échantillonnées	52
4.1.1	Concentrations	52
4.1.1.1	Gammes observées.....	52
4.1.1.2	Facteurs explicatifs des concentrations.....	53
4.1.1.3	Prise en compte de l'activité minière	58
4.1.2	Granulométrie	59
4.1.2.1	Taille des particules à différents niveaux dans la section d'écoulement	59
4.1.2.2	Granulométrie entre prélèvement automatique et manuel	60
4.1.2.3	Granulométrie des échantillons prélevés au cours des crues.	60
4.1.2.4	Résumé et conclusion sur la granulométrie	63
4.1.3	Flux.....	63
4.2	Elaboration d'un modèle prédictif des concentrations et des flux.....	66
4.2.1	Modèle d'estimation des flux par estimation des concentrations à chaque pas de temps 66	
4.2.2	Modèles simples de prédiction des flux à partir du débit de pointe.....	67
4.2.3	Modèles de régression simple ou multiple	68
4.2.3.1	Poro amont	68
4.2.3.2	Poro aval	71
4.2.3.3	Bilan sur les modèles de régression.....	72
4.2.4	Modèle à partir de l'arbre décisionnel	72
4.2.4.1	Poro Aval.....	73
4.2.4.2	Poro amont	73
4.3	Reconstitution des flux des épisodes non échantillonnés et calcul des flux annuels.....	73
4.4	Résumé et conclusion sur les flux de sédiments	75
5	L'épisode exceptionnel du 24 décembre 2011	76
5.1	Précipitations et débits liquides au cours de l'épisode.....	76
5.2	Analyse du comportement du bassin versant de Poro pendant la crue.....	77
5.3	Estimation des flux de MES pour la crue du 24 décembre 2011	79
5.3.1	Estimation des flux à Poro aval.....	80
5.3.2	Poro Amont.....	81
5.3.3	Bilan sur les estimations de flux de la crue du 24 décembre 2011	82
5.4	Résumé et conclusion pour la crue du 24 décembre 2011	84
6	Analyse du fonctionnement des décanteurs.....	85
6.1	Suivi des décanteurs au cours de la saison cyclonique 2011.....	85
6.1.1	Volumes déposés.....	85
6.1.2	Granulométrie des dépôts.....	87
6.1.3	Concentration et granulométrie des suspensions en entrée et sortie des décanteurs..	88
6.1.4	Bilan des observations 2011 sur les décanteurs	89
6.2	Suivi des décanteurs au cours de la saison cyclonique 2012.....	89
6.3	Résumé et conclusion sur le fonctionnement des décanteurs.....	91
7	Synthèse et conclusion	93
	Sur la relation pluie-débit.....	93
	Sur les flux de matières en suspension (MES) :	95
	Sur le cas particulier de l'épisode du 24 décembre 2011	96
	Sur le fonctionnement des décanteurs	97
	Conclusion et perspectives.....	97
	Références bibliographiques.....	99
	Annexes	102

Table des Figures

.Figure 1 : Carte de localisation du centre minier de Poro en Nouvelle-Calédonie (d'après DIMENC, 2011).....	11
Figure 2 : Carte de localisation des bassins versants du site pilote de Poro.....	11
Figure 3 : Aperçu du couvert végétal du bassin versant de Poro.....	12
Figure 4 : Pluviomètres enregistreurs	13
Figure 5 : Stations limnigraphiques et leurs canaux de mesure.....	13
Figure 6 : capteurs de niveau et préleveurs (Poro amont)	14
Figure 7 : Equipements de mesure (Poro aval)	14
Figure 8 : Schéma de principe d'une station de mesure des débits et transports en suspension.....	15
Figure 9 : Entretien des sections de mesure	16
Figure 10 : Bassins versants instrumentés de Poro et localisation des décanteurs.....	19
Figure 11 : Suivi des décanteurs FRN01 t FRN18.....	20
Figure 12 : Prises de vue des écoulements sur mine en cours d'épisode	21
Figure 13 : préparation du mélange avant prélèvement et dispositif de filtration	22
Figure 14 : Mesure de la granulométrie par méthode laser	23
Figure 15 : Exemple de détermination de la fin du ruissellement rapide sur deux graphes du même épisode montrant l'intérêt d'utiliser les coordonnées logarithmiques (à droite) – Poro aval.....	27
Figure 16 : séparation des écoulements rapide et de base d'une crue simple (Poro aval) (La représentation en coordonnées "normales" permet de bien visualiser les différences de volume) ...	27
Figure 17 : Répartition des prélèvements sur l'hydrogramme	29
Figure 18 : Débit et concentration en fonction du temps (Poro amont)	29
Figure 19 : Hystérésis dans la relation concentration-débit	30
Figure 20 : interpolation et extrapolation de la relation Concentration-débit pour l'épisode 125 (Poro amont).....	30
Figure 21 : Exemple de graphe pour l'analyse des chroniques	31
Figure 22 : pluviométrie annuelle sur le site de Poro	33
Figure 23 : Comparaison des pluies amont et aval à l'échelle de la journée et de l'épisode pluvieux .	33
Figure 24 : Répartition mensuelle des précipitations sur les quatre années d'observation.....	34
Figure 25 : répartition par classe de ruissellement en fonction de la durée de temps sec T_s	40
Figure 26 : classe de ruissellement en fonction du temps sec t_s et de la pluie	41
Figure 27 : classe de ruissellement en fonction de t_s et $P+IPA$ ou de t_s et l'intensité moyenne.....	41
Figure 28 : Relation lame ruisselée / pluie à Poro amont	43
Figure 29 : Relation lame ruisselée / pluie à Poro aval	44
Figure 30 : Relation précipitation ruissellement en fonction de l'indice des pluies antérieures (Poro amont).....	44
Figure 31 : Relation lame écoulée en fonction de la somme pluie + IPA.....	45
Figure 32 : Relation entre débit de pointe et précipitation sans et avec prise en compte de l'IPA.....	46
Figure 33 : Coefficients d'écoulement des épisodes de plus de 20 mm	47
Figure 34 : Exemple de détermination graphique du temps de concentration.....	48
Figure 35 : exemple de calcul automatisé des centres de gravité et de T_c	48
Figure 36 : Exemple de surestimation de T_c par la méthode automatique.....	49
Figure 37 : absence de relation entre T_c et les variables descriptives de la précipitation incidente (amont).....	49
Figure 38 : Relation entre T_c et le débit de pointe.....	50
Figure 39 : Gamme de concentration des prélèvements analysés	53
Figure 40 : Relation Concentration-débit pour tous les prélèvements (Poro amont)	54
Figure 41 : Relations concentration/débit pour Poro aval.....	55
Figure 42 : détail de la relation concentration débit pour les crues à un seul pic (Poro amont).....	56
Figure 43 : détail de la relation concentration débit pour les crues à un seul pic (Poro aval).....	56

Figure 44 : Relation entre la concentration et la précipitation précédant le prélèvement (Poro amont)	57
Figure 45 : Relation entre la concentration et la précipitation précédant le prélèvement (Poro aval)	57
Figure 46 : Concentration maximum mesurée pour chaque crue échantillonnée entre janvier et avril 2012 en fonction du temps et de l'activité minière	58
Figure 47 : Distribution granulométrique sur une même verticale, crue du 15/04/11	59
Figure 48 : Distribution granulométrique des MES de la crue du 02/03/11 pour deux prélèvements, automatique et manuel	60
Figure 49 : Distribution granulométrique des prélèvements en cours de crue (campagne 2011)	61
Figure 50 : Distribution granulométrique des échantillons de crue	61
Figure 51 : Relation concentration diamètre D50 des particules de MES (campagne 2011)	62
Figure 52 : courbe granulométrique de la crue de 18 avril 2012	62
Figure 53 : flux en tonnes des épisodes échantillonnés à l'amont et à l'aval à l'exclusion de l'épisode 261 soit 70 épisodes classés par ordre chronologique (abscisse = rang de l'épisode dans la série)	63
Figure 54 : exemple d'évolution des concentrations (Poro amont)	64
Figure 55 : Evolution des concentrations au cours de l'épisode 300 (Poro aval)	65
Figure 56 : Effets des interpolations sur le calcul de flux (épisode 93 – et non 125 – Poro aval)	66
Figure 57 : Estimation des flux aval par le modèle d'estimation des concentrations à chaque pas de temps	67
Figure 58 : Relation Flux-débit à Poro amont	68
Figure 59 : Résultats du modèle en fonction de Qmax et Htot15	70
Figure 60 : Résultats du modèle puissance avec le Qmax (Poro amont)	70
Figure 61 : performance du modèle puissance avec les paramètres de pluie (Poro aval)	72
Figure 62 : graphes pluie-débit du 24 décembre 2011	77
Figure 63 : Bassin versant de Poro (rouge) sur fond de carte de l'orthophoto	78
Figure 64 : Dysfonctionnement des ouvrages de gestion des eaux sur le bassin versant de Poro lors de la crue du 24 décembre 2011	79
Figure 65 : proposition d'un hydrogramme corrigé à Poro aval	79
Figure 66 : Interpolation des concentrations de la crue du 24 décembre 2011 (aval)	80
Figure 67 : Interpolation des concentrations de la crue du 24 décembre 2011 (aval)	81
Figure 68 : Vue du décanteur FRN01 après la crue de décembre 2011	83
Figure 69 : Localisation du bloc de sédiments échantillonné au fond du décanteur FRN01	86
Figure 70 : Interprétation sédimentologique : correspondance épisodes pluvieux/dépôts de sédiments	87
Figure 71 : Distributions granulométriques avec et sans ultrasons des horizons sédimentaires du bloc	88
Figure 72 : Etat de la perche dans FRN01 le 6 février 2012	89
Figure 73 : Localisation des prélèvements au sein de FRN01, réalisés à 15h00 le 18/04/2012 puis à 08h30 et 15h10 le 19/04	90
Figure 74 : Observation de 2 phases dans FRN01	90
Figure 76 : Relevé in situ des préleveurs ISCO	103
Figure 77 : étapes pour l'extraction des flacons du préleveur ISCO	104
Figure 78 : déchargement des données grâce au logiciel Flowlink	105
Figure 79 : Schéma des étapes à suivre lors du prélèvement des échantillons	106
Figure 80 : 1. Débit et champ de vitesses à travers une section ; 2. Position de l'hélice en fonction de la hauteur d'eau de la section	107
Figure 81 : Méthode du jaugeage au moulinet	108
Figure 82 : 1. Matériels nécessaires ; 2. Position du flotteur dans l'eau ; 3. Parcours du flotteur dans la section de mesure du seuil aval	109
Figure 83 : Etapes de l'analyse au granulomètre laser	115
Figure 84 : Effet des ultrasons sur la distribution granulométrique des échantillons	116
Figure 85 : Effet du citrate sur la distribution granulométrique des échantillons	116
Figure 86 : Calcul des variables de cumul avec seuil d'intensité	117

Figure 87 : comparaison des IPA calculés pour l'ensemble des épisodes.....	120
Figure 88 : comparaison des IPA, zoom sur les épisodes 50 à 100, Poro amont	120
Figure 89 : effets des coefficients α et K sur la valeur de l'IPA	121
Figure 90 : Relation entre débit de pointe et IPA, catégorisée par niveau de précipitation	122
Figure 91 : Relation lame ruisselée / pluie pour les épisodes de plus de 20 mm (Poro amont).....	135
Figure 92 : Relation lame ruisselée / pluie pour les épisodes catégorisés selon l'IPA (Poro aval).....	135
Figure 93 : relation flux-concentration par catégorie de pluie incidente	142

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants	12
Tableau 2 : Extrait de la base de données sédimentologique (Poro amont)	24
Tableau 3 : Paramètres de Gumbel pour le site de Poro (Romieux, 2011).....	26
Tableau 4 : Altitude des stations de mesure et distance entre postes	33
Tableau 5 : précipitations (P en mm), lame écoulee (Lr en mm) et coefficients d'écoulement (CE)....	35
Tableau 6 : intensités maximales caractéristiques des épisodes répertoriés.....	36
Tableau 7 : caractéristique des épisodes 2009-2012.	36
Tableau 8 : Caractéristiques des cumuls de pluie amont par catégorie de ruissellement pour Poro amont (2009-2011).....	38
Tableau 9 : Caractéristiques des cumuls de pluie aval par catégorie de ruissellement pour Poro aval (2009-2011)	38
Tableau 10 : Répartition des épisodes par classe de ruissellement, par mois, par année, par saison .	39
Tableau 11 : Matrice de corrélation pour quelques paramètres hydrologiques (Poro amont, épisode 261 inclus)	42
Tableau 12 : Matrice de corrélation pour quelques paramètres hydrologiques (Poro aval, épisode 261 exclu)	42
Tableau 13 : paramètres du modèle $Lr = Ce \times (pluie - pertes\ initiales)$	43
Tableau 14 : Estimation des coefficients d'écoulement et pertes initiales en fonction de l'IPA	44
Tableau 15 : paramètres d'écoulement prenant en compte les IPA.....	45
Tableau 16 : Comparaison de valeurs de Tc obtenues par méthodes automatiques et manuelles	49
Tableau 17 : Temps de concentration déterminé graphiquement et calculé avec les formules de la littérature	50
Tableau 18 : Répartition par années des prélèvements effectués	52
Tableau 19 : valeurs caractéristiques des concentrations mesurées	52
Tableau 20 : Nombre de prélèvements en fonction du nombre de pics total de la crue	53
Tableau 21 : Estimation des flux aval par le modèle d'estimation des concentrations à chaque pas de temps.....	66
Tableau 22 : Matrice de corrélation des variables explicatives des concentrations et des flux.....	68
Tableau 23 : comparaison des flux annuels estimés en fonction du modèle de reconstitution (Poro amont).....	74
Tableau 24 : comparaison des flux annuels estimés en fonction du modèle de reconstitution (Poro aval)	74
Tableau 25 : caractéristiques pluviométriques de l'épisode du 24 décembre 2011 à Poro	76
Tableau 26 : caractéristiques hydrologiques de l'épisode du 24 décembre 2011 à Poro	77
Tableau 27 : rapport Concentration débit sur les échantillons amont du 24 décembre 2011.....	82
Tableau 28 : Résultats des interpolations sur les calculs de flux amont et aval de l'épisode du 24/12/2011.....	83
Tableau 29 : rapport entre les flux (total ou spécifique) amont et aval selon les scénarios	83
Tableau 30 : Caractéristiques des décanteurs FRN01 et FRN18	85
Tableau 31 : Correspondance épaisseurs déposées-crués et poids exportés mesurés à la station amont	86

Tableau 32 : Concentrations et diamètres médians en entrée et sortie de FRN01 pour la crue du 15 avril 2011	88
Tableau 33 : granulométrie des dépôts dans les décanteurs en avril 2012.....	91
Tableau 34 : conditions de prélèvements des stations amont (à gauche) et aval (à droite)	103
Tableau 35 : Exemple d'un rapport "Journal"	106
Tableau 36 : Tableau récapitulatif des variables utilisées.....	118

Liste des Annexes

Annexe 1 : Equipements des stations de mesure	102
Annexe 2 : Gestion des préleveurs automatiques ISCO et relevé des échantillons.....	103
Annexe 3 : Méthodes de jaugeage.....	107
Annexe 4 : Détermination des MES par filtration et pesée	110
Annexe 5 : Procédure de granulométrie Laser.....	114
Annexe 6 : Modes de calcul des variables descriptives des épisodes.....	117
Annexe 7 : Choix d'un indice de pluie antérieure	119
Annexe 8 : Etude des corrélations.....	123
Annexe 9 : graphes complémentaires de l'analyse pluie débit.....	135
Annexe 10 : Formules de calcul du temps de concentration	136
Annexe 11 : Granulométrie	137
Annexe 12 : Modèle de prédiction du flux à partir du débit (Poro amont)	142
Annexe 13 : méthode de l'arbre décisionnel	146
Annexe 14 : Scénarios de concentration pour l'épisode du 24 décembre 2011	149
Annexe 15 : Catalogue des épisodes pluvieux	152

1 Introduction

1.1 Contexte

L'exploitation du Nickel en Nouvelle-Calédonie, dans des mines à ciel ouvert, pose un certain nombre de problèmes environnementaux. Parmi ceux-ci, le rejet dans les cours d'eau, et plus à l'aval dans le lagon, d'"eaux rouges", chargées en sédiments fins en suspension, est considéré comme un problème aigu nécessitant la mise en place de moyens de lutte appropriés. Les conditions de gestion des eaux de ruissellement sur mine constituent la principale cause des dégradations observées. Parmi les ouvrages de protection mis en place, les bassins de décantation constituent souvent le premier outil de réduction des charges solides dans les cours d'eau. Mais leur dimensionnement, ainsi que celui des autres ouvrages de gestion des eaux, se heurte à l'absence de données quantitatives sur le fonctionnement des bassins versants miniers, notamment parce que les bassins instrumentés fournissant des données de qualité sont trop peu nombreux. C'est pour combler ce manque que les services techniques du territoire ont entrepris, en collaboration avec l'Université de la Nouvelle Calédonie, d'équiper des petits bassins versants miniers pour la mesure des précipitations, des débits et des transports solides en suspension.

1.2 Historique du projet et des suivis sur site

Les premières discussions sur l'intérêt d'un tel projet et sa mise en œuvre remontent à 2005-2006, Elles associaient les services du territoire (DAVAR, DIMENC), l'Université de Nouvelle-Calédonie (UNC) et le CFTMC, gestionnaire de la mine Française de Poro, retenue pour accueillir le dispositif. Un stage d'élève ingénieur (INSA Rouen) a été partiellement consacré, en 2006, au site de Poro et au pré-projet de l'équipement d'un site pilote de mesures sur environnement minier (Gueyte, 2006). Une étude hydrologique et hydraulique a ensuite été réalisée par la DAVAR afin de dimensionner les canaux de mesure (Frysou, 2007). Les installations ont été construites et équipées dans le courant de l'année 2008.

La collaboration autour de ce site a fait l'objet dès 2007 d'une convention, dite convention Hydromine, liant la DAVAR, l'UNC et le CFTMC. Des réunions de travail se sont tenues au cours de l'année 2008 de manière à définir les opérations de terrains et de la stratégie d'échantillonnage à mettre en œuvre. Le travail effectif sur site a débuté à la mi-décembre 2008. Ce travail a pris la forme, dans une première phase, d'un stage de fin d'année (6 semaines) pour un étudiant de 2ème année du DEUST (Diplôme d'Etudes Universitaires en Sciences et Techniques) Géosciences appliquées, mines, eau et environnement. Ce stage a ensuite été prolongé par un CDD de quatre mois jusqu'à la fin de la saison cyclonique. Cependant, l'opérateur était basé à l'UNC à Nouméa et se devait se rendre sur le site en fonction des prévisions météorologiques. Pour différentes raisons, notamment d'accès en période pluvieuse, le suivi n'a pu être assuré complètement et aucun jaugeage en crue n'a pu être effectué (UNC, 2009).

A la suite de cette expérience, il avait été décidé que pour la saison suivante le technicien assurant le suivi serait recruté par le CFTMC et affecté à Poro pour toute la période cyclonique. Cependant, des réorganisations en cours au CFTMC n'ont pas permis de concrétiser la convention allant en ce sens. L'UNC a alors décidé de recruter un contractuel affecté au suivi sur le site de Poro du 1/12/2009 au 30/4/2010 afin d'assurer une présence permanente et de permettre les relevés et les jaugeages pendant les épisodes pluvieux. Malheureusement, aucun épisode pluvieux notable ne s'est produit pendant cette période de permanence, les seuls épisodes ayant provoqué ruissellement et prélèvements d'échantillons s'étant produits les 7, 22 et 23 mai 2010 (UNC, 2010).

Au cours de l'année 2009, l'UNC a répondu à un appel d'offres du CNRT "Nickel et Environnement" sur le "fonctionnement des petits bassins versants miniers. Le Cemagref (devenu Irstea) est partenaire de ce projet. Ce projet désigne le site pilote de Poro comme son site principal d'étude. A

ce titre, le Cemagref a alors été associé au suivi hydro-sédimentaire des bassins instrumentés (CNRT, 2010). Lors de la mission de lancement du projet CNRT en juillet 2010, il a été décidé que deux stagiaires travaillant en binôme seraient recrutés sur les deux projets, Hydromine et CNRT, co-encadrés par l'UNC et le Cemagref (Cemagref, 2010).

De janvier à mai 2011, deux stagiaires de l'Institut Polytechnique Lasalle-Beauvais (option géologie) sont intervenus sur le site. Ils ont pu réaliser des jaugeages en crue, des prélèvements manuels, notamment en entrée-sortie de décanteurs, des observations des chemins de l'eau sur mine (Carpentier, 2011, Alloin 2011). Ce mode de fonctionnement a été renouvelé de janvier 2012 à mai 2012 avec deux stagiaires de l'ENGEEES (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg). De la même manière des observations, prélèvements et jaugeages ont pu être réalisés pendant la saison pluvieuse (Navarro, 2012, Guyonneau, 2012). Pour ces deux périodes, mesure des teneurs en MES et analyses granulométriques ont été réalisées par les stagiaires dans les locaux du PPME de l'UNC à Nouméa. Chaque année, les stages se sont terminés au Cemagref (Irstea) de Grenoble pour l'interprétation des données et la rédaction des rapports. En 2012, le stage de Lucie Navarro s'est prolongé par un CDD de deux mois (financement UNC sur le projet Hydromine) afin d'approfondir l'interprétation des données de la période 2009-2012.

Le même mode de fonctionnement a été retenu pour 2013 et les stages programmés s'attacheront à la fois à assurer le suivi et l'acquisition de données pour la saison 2013 et à compléter l'analyse pour éclaircir les points qui auront été identifiés dans la présente synthèse.

La DAVAR est fortement impliquée dans ce suivi. Elle fournit les données critiquées de précipitation et débit, elle assure le relevé des préleveurs en dehors de la période cyclonique et elle forme chaque année les stagiaires aux mesures sur site et aux jaugeages.

1.3 Questions techniques et scientifiques posées

L'objectif du site pilote de Poro et du projet Hydromine est d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement hydro-sédimentaire des bassins versants miniers de Nouvelle-Calédonie. Les paramètres que l'on cherche à déterminer sont notamment les débits de pointe, les temps de concentration, les coefficients d'écoulement, les concentrations en sédiments fins et les flux d'eau et de sédiments. Dans la mesure où l'on s'intéresse à la gestion des risques, les informations recherchées se situent essentiellement à l'échelle événementielle. Néanmoins, on cherche également à quantifier les flux annuels de sédiments fins exportés de ces bassins dans la mesure où les matériaux transportés sédimentent dans les zones côtières et dans le lagon. Parmi les questions scientifiques identifiées dans le projet CNRT (CNRT, 2010), les observations et mesures conduites à Poro permettent d'apporter des éléments de réponse à quelques unes :

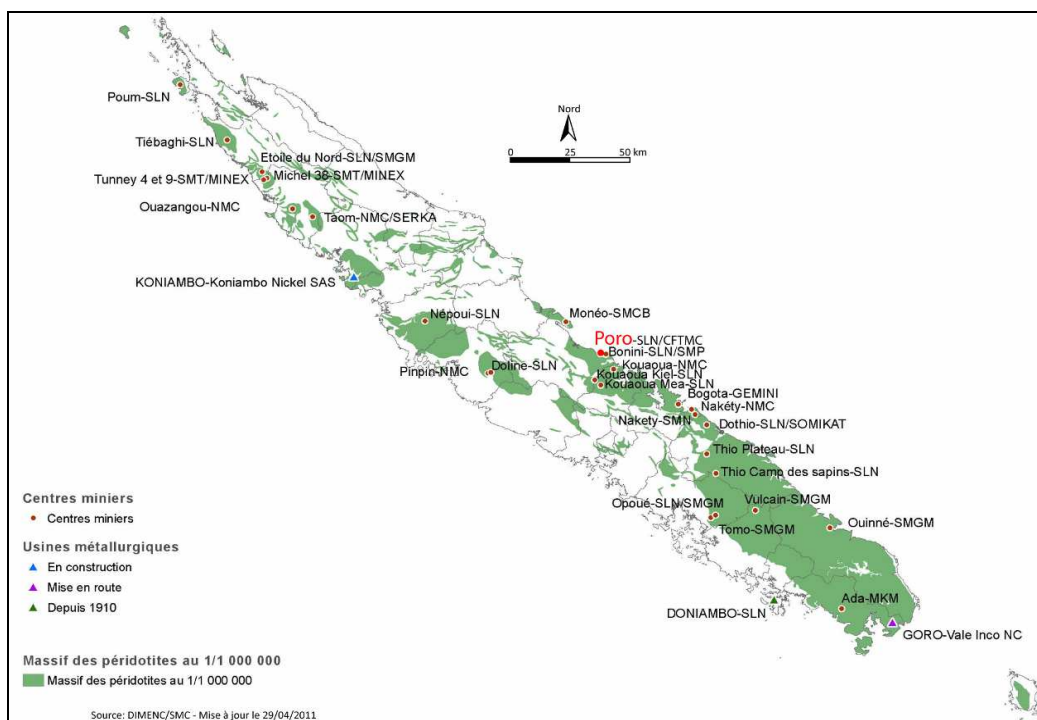
- Quels sont les flux d'eau et de sédiments en provenance des bassins miniers ?
- Quelle est la réponse d'un bassin minier à un épisode pluvieux, notamment cyclonique ?
- Quels sont les facteurs qui contrôlent ces réponses ?
- Quels sont les processus en jeu ? Lesquels sont dominants dans les différentes situations hydrométéorologiques ?
- Quels sont les caractéristiques des matériaux transportés (MES notamment) et comment ces caractéristiques influencent-elles leur mise en mouvement, leur transport, leur sédimentation ?

La présente synthèse s'appuie donc sur les différents mémoires de stage de la période 2008-2012, sur le rapport de synthèse 2009-2011 et sur les notes produites lors du CDD de Lucie Navarro en 2012. La version révisée du rapport (octobre 2013) incorpore en outre des avancées obtenues au cours du stage de l'année 2013 (Perrine Freydier, stagiaire ENGEEES).

2 Matériel et méthodes

2.1 Le site expérimental de Poro

Les bassins versants étudiés sont localisés sur le massif de Poro, plus particulièrement sur la mine Française gérée par le CFTMC (.Figure 1), situé sur la commune de Houaïlou, en Province Nord, sur la côte est de la Grande Terre, à environ 3h30 de Nouméa dont il est distant de 220 km, soit à 3h30 de route environ de Nouméa.



.Figure 1 : Carte de localisation du centre minier de Poro en Nouvelle-Calédonie (d'après DIMENC, 2011)

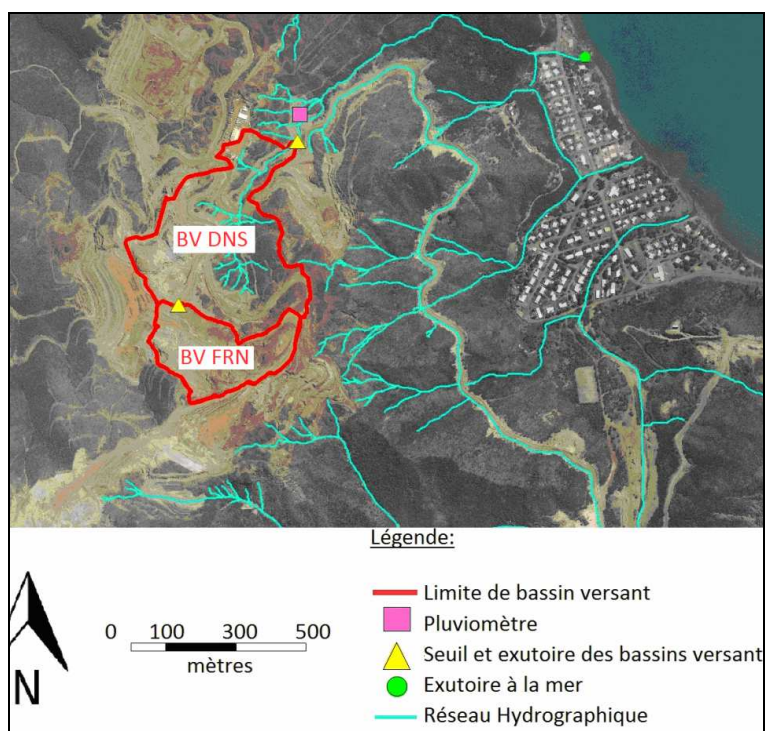


Figure 2 : Carte de localisation des bassins versants du site pilote de Poro

Les bassins équipés FNR et DNC, ci après dénommés respectivement Poro amont et Poro aval, sont deux bassins emboîtés compris entre 200 et 370 m d'altitude. Le bassin Poro aval est globalement orienté Nord-nord-est/Sud-sud-ouest. Son ouverture vers le Nord-est sur la mer favorise l'entrée d'une masse d'air marine (Figure 2).

Le climat est tropical, la période pluvieuse est comprise entre décembre et juin. Le relief est susceptible de jouer un rôle dans la distribution des précipitations. La faible altitude du bassin et sa position face à la mer lui confèrent une position privilégiée. La chaîne centrale joue le rôle de rempart, favorise les précipitations en provoquant l'ascendance des flux humides apportés par l'alizé de Sud Est et induit un effet de foehn sur les versants ouest.

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants

	Poro amont	Poro aval
Surface (km ²)	0.090	0.304
Altitude maximale		366
Altitude minimale	295	197
Pente moyenne (%)	32	36
Surface végétalisée (%)	0	20

Le couvert végétal du bassin est relativement pauvre. La végétation, quand elle est présente, est de type maquis minier (Figure 3, gauche). Le bassin versant de Poro amont est pratiquement dénudé (Figure 3, droite).



Bassin versant de Poro, vue vers l'aval

Secteur amont du bassin

Figure 3 : Aperçu du couvert végétal du bassin versant de Poro

2.1.1 Installations de mesure

Les pluies sont mesurées à l'aide de deux pluviomètres enregistreurs (ou pluviographes) Précis-Mécanique, modèle de surface réceptrice 400 cm² et augets basculeurs de 20 g. Ils sont situés à l'amont (455 m d'altitude) et à l'aval (200 m d'altitude) de la zone d'étude. Ces pluviographes sont doublés de pluviomètres totalisateurs constitués d'un cylindre vertical dans lequel une fine couche d'huile permet d'éviter l'évaporation (Figure 4). Les appareils sont relevés mensuellement par la DAVAR. La hauteur d'eau dans les totalisateurs est relevée au mètre et sert au contrôle du cumul des basculements enregistrés par les pluviographes à augets. Le pluviographe de Poro amont est également télétransmis par modem et peut être consulté à distance. Cette consultation permet de déterminer la nécessité de se rendre sur le site si des pluies importantes, non anticipées par une venue sur place, se sont produites.



Pluviographe Poro aval

Pluviographe Poro amont

Figure 4 : Pluviomètres enregistreurs

Les débits et transports solides en suspension sont mesurés au niveau des deux stations limnigraphiques Poro amont et Poro aval. Afin d'assurer de bonnes conditions de mesure des débits, chaque station limnigraphique est constituée d'un canal de mesure de section trapézoïdale. Ceci permet d'avoir une section de mesure stable et une relation hauteur-débit plus aisée à établir. Cette relation, dite aussi courbe de tarage, a été établie initialement par la DAVAR par application d'un modèle hydraulique en régime permanent à un relevé détaillé de la géométrie des stations et des sections d'approche (modélisation sous HEC-RAS). Il était néanmoins nécessaire de vérifier cette loi théorique par des mesures de jaugeage in situ. Des jaugeages ont pu être réalisés en crue par les stagiaires au cours des deux campagnes 2011 et 2012. Par ailleurs, un capteur Doppler a été utilisé pour faire des mesures de vitesse en continu pendant des périodes limitées. L'ensemble de ces mesures a permis de conforter les courbes de tarage théoriques.



Station Poro amont

Station Poro aval

Figure 5 : Stations limnigraphiques et leurs canaux de mesure

Chaque section de mesure est équipée d'une sonde de pression (sonde In Situ de modèle Level Troll 500) pour mesurer le niveau d'eau et d'un préleveur automatique ISCO 6712 d'une capacité de 24 flacons. Le préleveur dispose de sa propre mesure de niveau par capteur de pression (module 720 ISCO) afin de programmer les prélèvements (Figure 6). Pour la station de Poro aval, un capteur de vitesse par effet Doppler (module 750 ISCO) est en réserve. Il ne peut être installé à demeure car, en période sèche, il est sensible au soleil (cf. Annexe 1). Il est donc installé à la place du module 720 de manière temporaire pendant des périodes réputées pluvieuses (Figure 7, gauche). Le module 750 est également pourvu d'un capteur de pression pour la mesure des hauteurs d'eau et le déclenchement des prélèvements mais ce capteur est moins précis pour les données de niveau que celui du module 720.



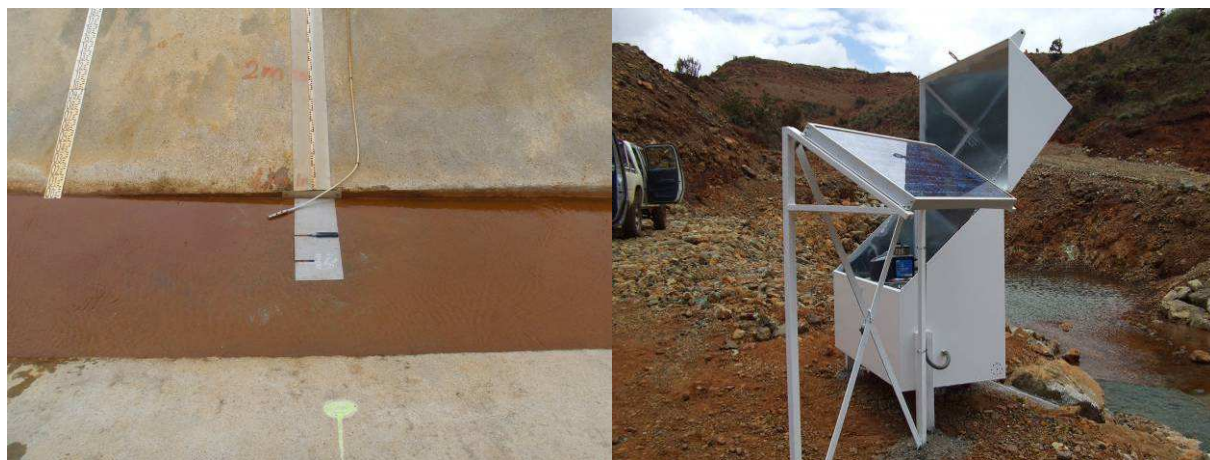
Capteurs à l'intérieur du canal

Préleveur ISCO

Figure 6 : capteurs de niveau et préleveurs (Poro amont)

La sonde Level Troll est une sonde intégrée avec sa propre centrale de mesure (Data Logger). Le préleveur ISCO dispose également d'une centrale d'acquisition et peut donc enregistrer en continu les données des modules 720 et 750 ainsi que les informations sur les prélèvements réalisés.

Ces appareils sont protégés par une guérite métallique fermée par un cadenas. Le seuil béton est équipé d'une échelle limnimétrique à lecture directe pour vérifier la hauteur d'eau dans la section. La crépine servant à prélever l'eau est placée sur le fond du seuil, mais elle garde une certaine mobilité pour permettre un prélèvement dans la section au cours de la crue. Les différents appareils sont alimentés par un ensemble batterie-panneau solaire (Figure 7).



Echelle à lecture directe et module ISCO 750 en place Abri et panneau solaire (cliché DAVAR, déc. 2008)

Figure 7 : Equipements de mesure (Poro aval)

La Figure 8 résume par un schéma le principe des dispositifs de mesure dans les deux stations limnigraphiques. D'autres détails et vues des matériels en place sont donnés en annexe 1. Les matériels mis en place fin 2008 ont fonctionné de manière satisfaisante pendant toute la période d'observation (Carpentier, 2011 ; Navarrot, 2012)

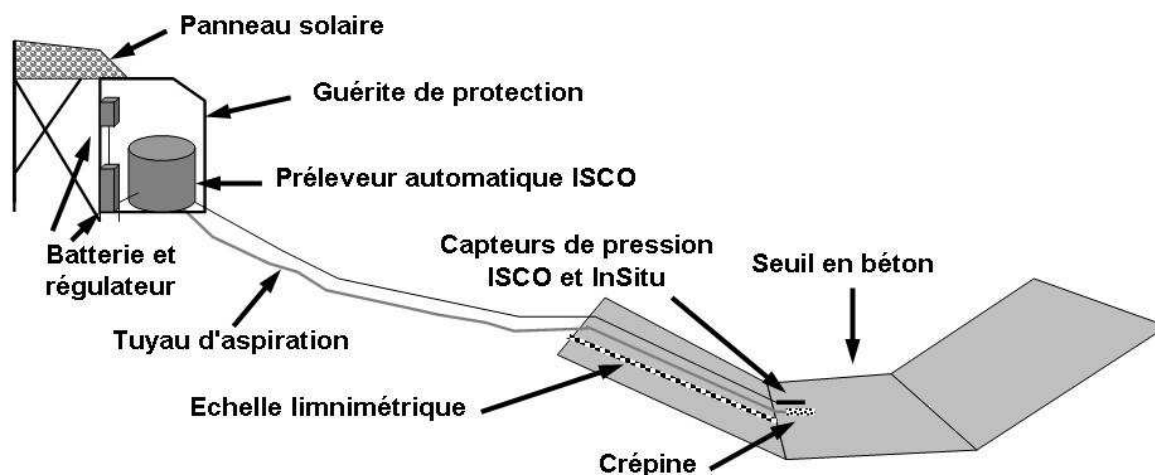


Figure 8 : Schéma de principe d'une station de mesure des débits et transports en suspension

2.1.2 Méthodes d'observation, protocoles de mesure in-situ

Sur le terrain, les données de précipitation des deux pluviomètres et de hauteur des sondes In-Situ dans les deux canaux de mesure sont relevées mensuellement par les techniciens de la DAVAR.

En dehors de la saison cyclonique, ces personnels font également le relevé des préleveurs. Les échantillons sont alors stockés dans les locaux de la DAVAR ou livrés au laboratoire PPME de l'UNC. L'entretien courant des appareils est également réalisé par la DAVAR qui signale au CFTMC les éventuels besoins qui relèvent de sa compétence dans la convention Hydromine (curages, réparation des bétons, etc...)

Pendant la saison cyclonique, le relevé des préleveurs est assuré par l'UNC, soit par des personnels permanents, soit par des personnels temporaires ou des stagiaires. Pendant cette période les personnels qui se rendent sur le site entretiennent les capteurs et les sections de mesure, réalisent des jaugeages et des prélèvements manuels. Ils réalisent également le suivi du remplissage sédimentaire des deux décanteurs équipés de perches. Enfin, en cours d'épisodes pluvieux ils effectuent des observations et des relevés destinés à améliorer la connaissance des chemins de l'eau sur les bassins et à mettre à jour le plan de gestion des eaux (PGE).

2.1.2.1 Gestion des préleveurs automatiques

L'objectif étant de déterminer la concentration des écoulements pendant les épisodes pluvieux et d'estimer les flux de matière en suspension (MES), les prélèvements d'échantillons sont asservis à la hauteur d'eau (donc au débit) dans les canaux de mesure. Le nombre de flacons est limité à 24. Afin de permettre un échantillonnage correct des pointes de crues fortes, ce lot de 24 est divisé en deux lots : 18 flacons pour les hauteurs ordinaires et 6 flacons pour les hauteurs exceptionnelles. Ainsi, si des hauteurs d'eau moyennes ont rempli les dix-huit premiers flacons avant la pointe principale, l'appareil est encore capable d'échantillonner la pointe de crue. Le détail des consignes de prélèvement est donné en Annexe 2.

En période cyclonique, les opérateurs s'efforcent d'être présents lors des épisodes pluvieux ou se rendent sur le site dès que possible après un épisode. Ils peuvent alors relever les prélèvements et remettre en service les préleveurs en vue d'un nouvel épisode. En dehors de cette période, les seuils minimums de prélèvement sont réhaussés afin de limiter les prélèvements (programmation n°2 des appareils) et les préleveurs sont relevés par les agents de la DAVAR lorsqu'ils effectuent leur tournée mensuelle. Il est alors fréquent que certains épisodes ne puissent être échantillonnés si plusieurs épisodes se produisent au cours du mois et que le premier d'entre eux a complété le jeu de flacons disponibles.

Un seul jeu de flacons est disponible pour chaque préleveur. Il est donc nécessaire d'en transvaser le contenu dans les flacons disponibles en plus grand nombre qui seront rapportés à Nouméa pour mesure au laboratoire. Ce transvasement doit se faire avec certaines précautions pour que l'échantillon transvasé soit fidèle à l'échantillon prélevé lors de la crue. Le flacon ISCO doit être rebouché, agité fortement pour remettre en suspension les MES déposées au fond du flacon, puis son contenu rapidement transvasé dans le flacon destiné au laboratoire. Le détail de ce protocole est donné en Annexe 2. Disposer de plusieurs jeux de flacons pour rapporter les flacons ISCO au laboratoire permettrait de limiter les transvasements et réaliser le nettoyage dans de meilleures conditions. Mais compte-tenu du volume et du prix élevé des flacons, du délai souvent nécessaire pour le traitement au laboratoire qui libère les flacons, il semble préférable pour le moment de conserver ce mode opératoire avec transvasement.

2.1.2.2 Entretien des sections de mesure

Les seuils doivent être régulièrement nettoyés des dépôts qui ont pu s'y accumuler, surtout après les fortes crues (Figure 9). Les goulottes contenant les capteurs doivent être vidées des sédiments qui s'y sont déposés. Pour ce faire, il est nécessaire de dévisser les plaques en inox protégeant les capteurs (Figure 9). Cette opération est délicate, car, à la longue, les boulons sont usagés, certains sont devenus inutilisables. Après quatre saisons de fonctionnement, la révision du système de fixation des plaques s'avère indispensable. Les sondes sont ensuite nettoyées à l'aide d'un pinceau et d'eau claire.

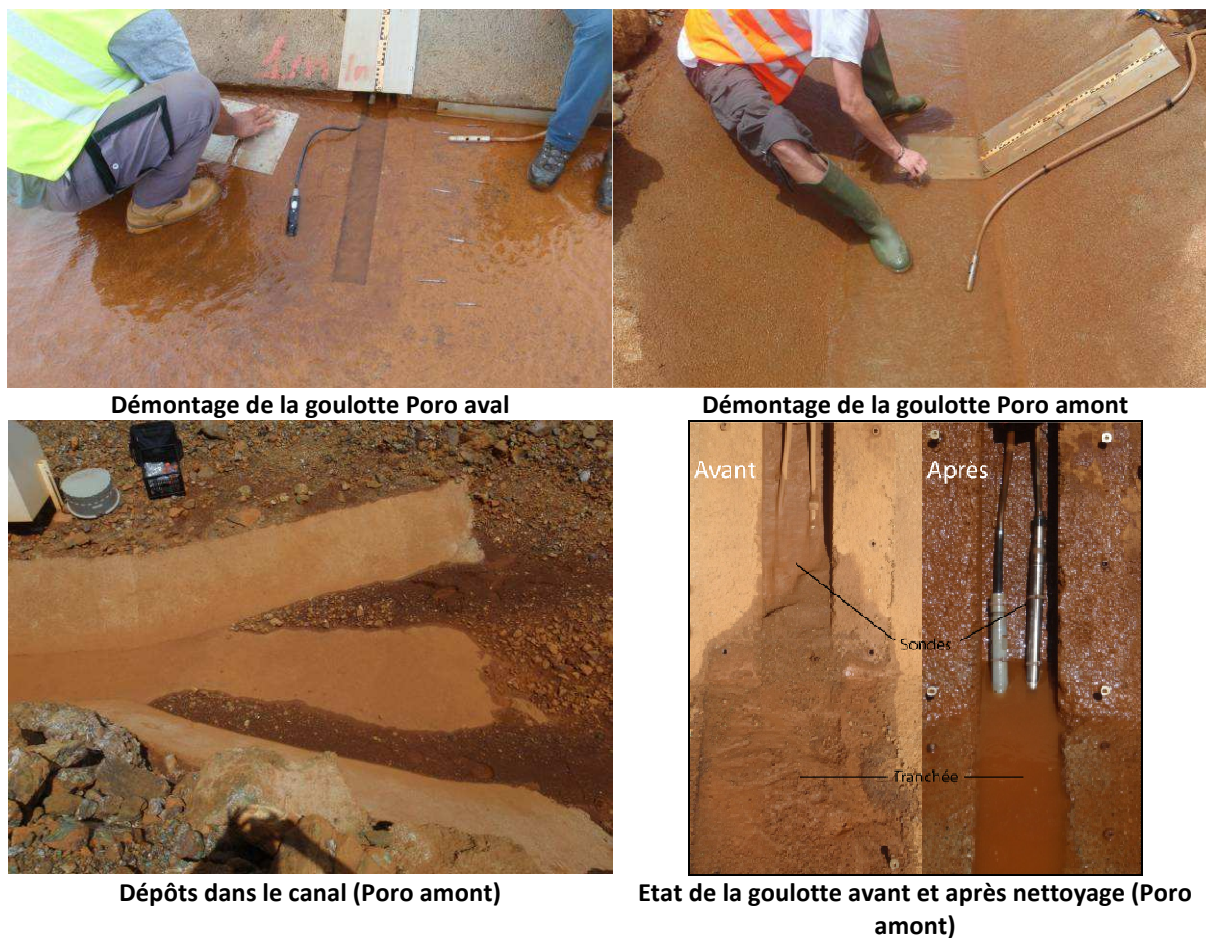


Figure 9 : Entretien des sections de mesure

2.1.2.3 Jaugeages

Comme indiqué au paragraphe 2.1.1, il est nécessaire de réaliser des jaugeages à différentes hauteurs

d'eau dans les deux sections de mesure afin de conforter la courbe de tarage. Différentes méthodes sont utilisées selon les conditions d'écoulement, le temps et le matériel disponibles. Les protocoles détaillés sont donnés en Annexe 3.

Jaugeage au moulinet

C'est la méthode de référence. Elle peut-être utilisée dans toutes les conditions non débordantes à Poro amont mais est réservée aux hauteurs d'eau moyennes à faibles à Poro aval. En effet, la largeur de la section impose à l'un des opérateurs de se tenir dans l'écoulement, ce qui n'est pas possible en toute sécurité dès lors que le niveau d'eau dépasse 50 cm. L'installation d'une passerelle, un moment envisagée, permettrait de réaliser ces mesures pour une plus large plage de hauteur. Dans l'absolu, il serait souhaitable, surtout pour la station aval, de réaliser plusieurs verticales. En fait, les variations de niveau sont si rapides qu'il n'est en général pas possible de faire beaucoup de mesures pour une hauteur donnée au cours d'un épisode. La recommandation de la Davar est de commencer par réaliser une mesure ou plusieurs mesures sur une verticale au centre de la section à l'arrivée sur le site et de compléter cette verticale par d'autres mesures lorsque la stabilité de la hauteur d'eau le permet.

Jaugeage au flotteur

Lorsque le jaugeage au moulinet n'est pas possible, une estimation rapide de la vitesse de surface à l'aide de flotteurs est toujours préférable à l'absence de mesure. Dans la disposition actuelle des stations, c'est souvent le seul moyen d'avoir un ordre de grandeur des vitesses pour les fortes hauteurs d'eau. Les flotteurs peuvent être soit artificiels soit naturels. A Poro, le plus simple est de couper des tiges de roseau que l'on trouve facilement au bord de la piste d'accès à l'aide du sécateur disponible dans le matériel de terrain. On se fixe des repères sur les berges des canaux. Les flotteurs sont lancés à l'amont du repère amont et on chronomètre la distance de parcours entre les deux repères. Pour les mesures de basses eaux, il faut vérifier que le flotteur ne traîne pas sur le fond pendant son parcours. En cas de vent violent, le déplacement du flotteur peut également être perturbé. Plusieurs mesures de vitesses du flotteur doivent être effectuées pour obtenir la vitesse moyenne de surface.

Mesure de vitesse de surface par radar

Des appareils de mesure rapide des vitesses de surface par vélocimétrie radar sont apparus ces dernières années. Sous réserve de quelques précautions d'emploi, ils permettent d'acquérir rapidement des vitesses de surface en arrivant sur les stations de mesure lors d'un épisode pluvieux. Le modèle SVR de Decatur a été testé à Poro. L'idéal est de placer le SVR sur un pied photo qui permet de mesurer les vitesses avec un angle constant de l'appareil. Cependant, la mise en place du pied n'est pas toujours possible et elle risque de retarder la mesure. L'incertitude liée au mouvement de l'appareil tenu à la main pendant la mesure (variation de l'angle d'incidence) reste acceptable. Il est préférable de se placer dans l'axe de l'écoulement mais en cas de courant trop fort, on peut faire une mesure depuis la rive. Il faut dans ce cas, calculer le plus précisément possible l'angle de la mesure par rapport à l'axe de l'écoulement. Il convient de se fixer à l'avance les repères pour cette mesure, de déterminer l'angle correspondant et de se placer sur ces repères pendant la crue.

2.1.2.4 Suivi des décanteurs

Les décanteurs ou bassins de sédimentation sont partie intégrante de la gestion des eaux sur mine et ont pour objectif de piéger les matières en suspension pour en limiter le transfert vers l'aval. Il est donc important d'analyser leur fonctionnement afin d'évaluer leur efficacité et de comparer les volumes de matériaux qui y sont stockés au regard des flux de matériaux transitant dans les stations.

Dans le cadre du projet Hydromine, deux décanteurs ont été équipés de perches graduées destinées à suivre leur remplissage, les décanteurs FRN01, situé à l'aval de la station Poro amont, mais drainant aussi des surfaces non contrôlées par Poro amont et FRN18, situé immédiatement à l'aval de FRN01 (Figure 10 et Figure 11). Les propriétés des décanteurs seront définies au chapitre 6.

Après un épisode pluvieux érosif ayant occasionné un transport de matériau, le niveau de dépôt dans les décanteurs doit être relevé. Si le matériau est trop humide pour approcher les perches, la prise de vue avec zoom est un bon moyen d'effectuer le relevé et d'archiver la donnée. Cependant, la plupart du temps, le décanteur est plein d'eau après l'épisode, ce qui rend le relevé impossible. L'eau est trop trouble pour visualiser la limite entre le dépôt de sédiments et le surnageant. Il faut attendre plusieurs jours pour obtenir l'assèchement du dépôt. En période pluvieuse, il est fréquent que les épisodes se succèdent sans que l'on ait pu procéder au relevé, surtout pour FRN01 (Figure 11). Il est donc difficile d'isoler le dépôt d'une crue donnée. Les relevés de perche et les cubatures des curages permettent néanmoins de faire une analyse du fonctionnement du décanteur à l'échelle de la saison ou de l'année.

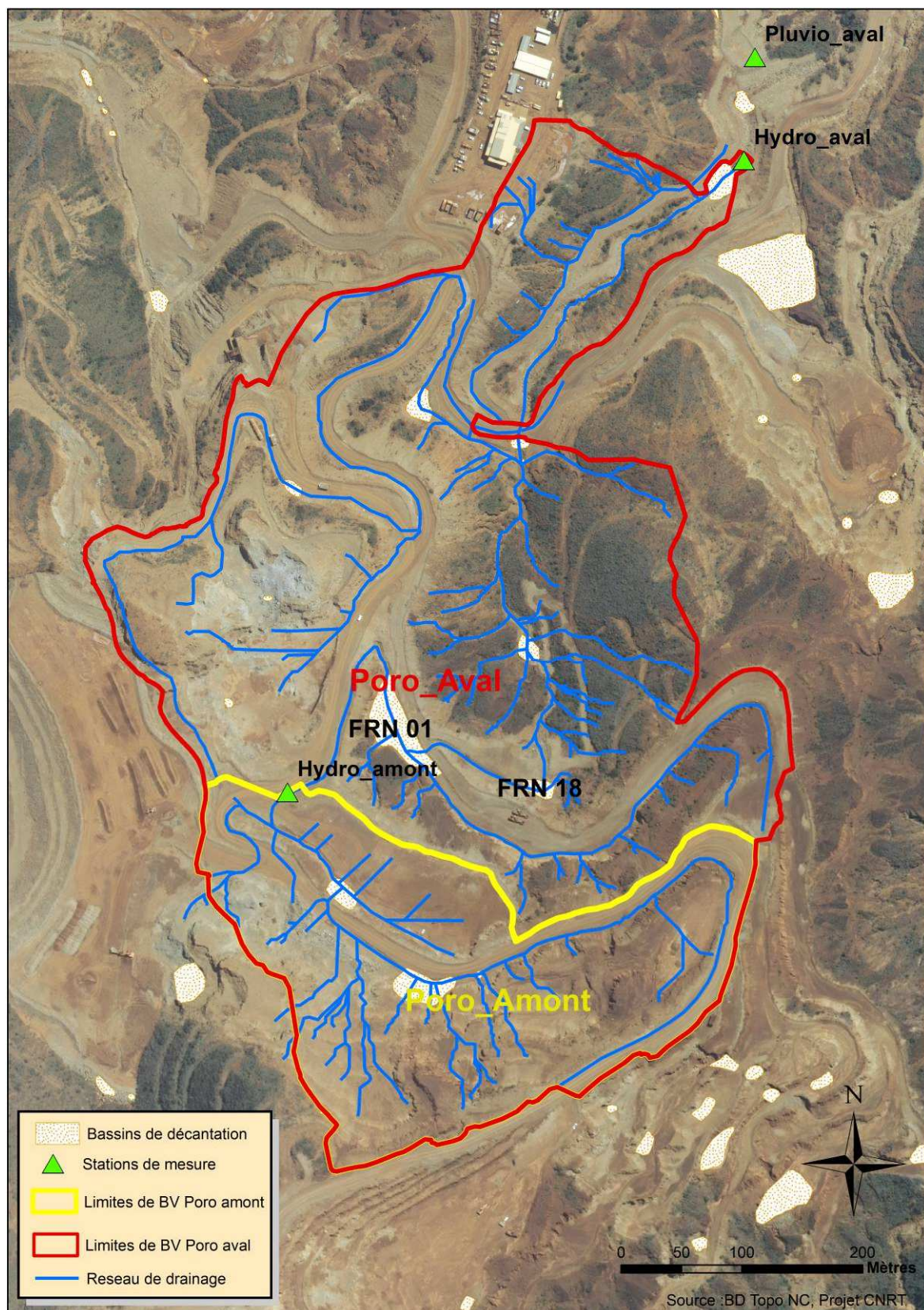


Figure 10 : Bassins versants instrumentés de Poro et localisation des décanteurs



Décanteur FRN01 en période pluvieuse (à gauche) et sèche (à droite)
Les perches ne sont plus visibles quand le décanteur est plein d'eau

Décanteur FRN18

FRN01 : suivi des perches perturbé par l'eau (à droite)

Figure 11 : Suivi des décanteurs FRN01 et FRN18

2.1.2.5 Suivi des chemins de l'eau et mise à jour du Plan de Gestion des Eaux (PGE)

Les pistes, les terrassements, les ouvrages modifient en permanence les chemins de l'eau sur le site minier. De plus, les aménagements prévus pour la gestion des eaux peuvent fonctionner de manière différente selon les débits transitant dans les différents ouvrages : des buses peuvent être saturées ou bouchées, des "cassis" qui doivent diriger les eaux circulant sur les pistes vers les fossés latéraux peuvent déborder. De plus, le roulage a tendance à araser ces "revers d'eau" qui deviennent alors moins efficaces.

Les chemins de l'eau peuvent donc être différents d'une année à l'autre à cause des aménagements et d'un épisode à l'autre (ou même d'une séquence de crue à l'autre à l'intérieur d'un même épisode) selon leur état et l'importance des débits à transiter. Ces variations modifient la superficie drainée par le cours d'eau au droit des stations de mesure, ce qui peut fortement fausser les calculs hydrologiques réalisés. Cette question se pose particulièrement pour les épisodes paroxysmiques comme celui du 24 décembre 2011 (cf. paragraphe 5).

Il est donc nécessaire de parcourir le bassin versant en période de pluie et de noter les dérivations qui peuvent intervenir par rapport aux circulations déduites du modèle numérique de terrain ou du plan de gestion des eaux. En cours d'épisodes pluvieux, la prise de notes sur un plan sous la pluie n'est pas chose facile et un relevé photographique détaillé à l'aide d'un appareil étanche permet de réaliser a posteriori les reports sur le plan.



Figure 12 : Prises de vue des écoulements sur mine en cours d'épisode

2.1.2.6 Travail sur site et gestion des priorités

Les paragraphes qui précèdent montrent combien les tâches à effectuer sont nombreuses quand on est présent sur le site en période de crue. Depuis 2011, les mesures sur site au cours de la période cyclonique sont effectuées par deux opérateurs (stagiaires niveau M2). Pour des raisons de sécurité et d'efficacité, le passage à deux personnes est hautement recommandé. Lors de l'annonce d'une période pluvieuse, les opérateurs doivent se rendre le plus tôt possible sur le site pour vérifier le bon fonctionnement des appareils et si nécessaire vider les préleveurs avant la crue.

En 2011, la priorité était donnée aux jaugeages car il n'y avait aucun jaugeage antérieur disponible et il était indispensable de valider la courbe de tarage. Pour les années suivantes et les années futures, cette priorité est un peu moindre puisque les sections de mesures sont bétonnées et permettent d'avoir une courbe de tarage stable. Cependant, il est souhaitable d'obtenir des mesures complémentaires, notamment pour les hautes eaux.

Pendant l'épisode pluvieux lui-même, des mesures rapides de vitesse de surface, au flotteur ou au radar sont souhaitables. Si les hauteurs atteintes par l'écoulement sont dans une gamme qui a été peu jaugée et si les conditions de sécurité le permettent, on procède à des jaugeages au moulinet. Mais ces jaugeages demandent temps et concentration et il est important pour une partie des épisodes de choisir d'autres objectifs pour les observations de terrain. Il convient donc de choisir la priorité de la campagne de relevé car toutes les observations ne peuvent être faites en même temps.

Sur les stations de mesure elles-mêmes, des prélèvements manuels d'échantillons sont utiles à l'analyse : prélèvement de surface et de profondeur afin d'apprécier la répartition verticale des concentrations, prélèvements concomitants avec le préleveur de manière à analyser la fidélité des

échantillons automatiques. Sur les décanteurs, lorsqu'ils déversent, il est utile de réaliser des prélèvements entrée-sortie. Sur le réseau hydrographique, les relevés en cours d'épisodes appuyés de photographies permettent de compléter le plan de gestion des eaux et les limites effectives de bassin versant. Pour chaque passage sur les stations de mesure, une fiche terrain sera complétée qui devra noter au minimum l'heure du passage et la hauteur à l'échelle.

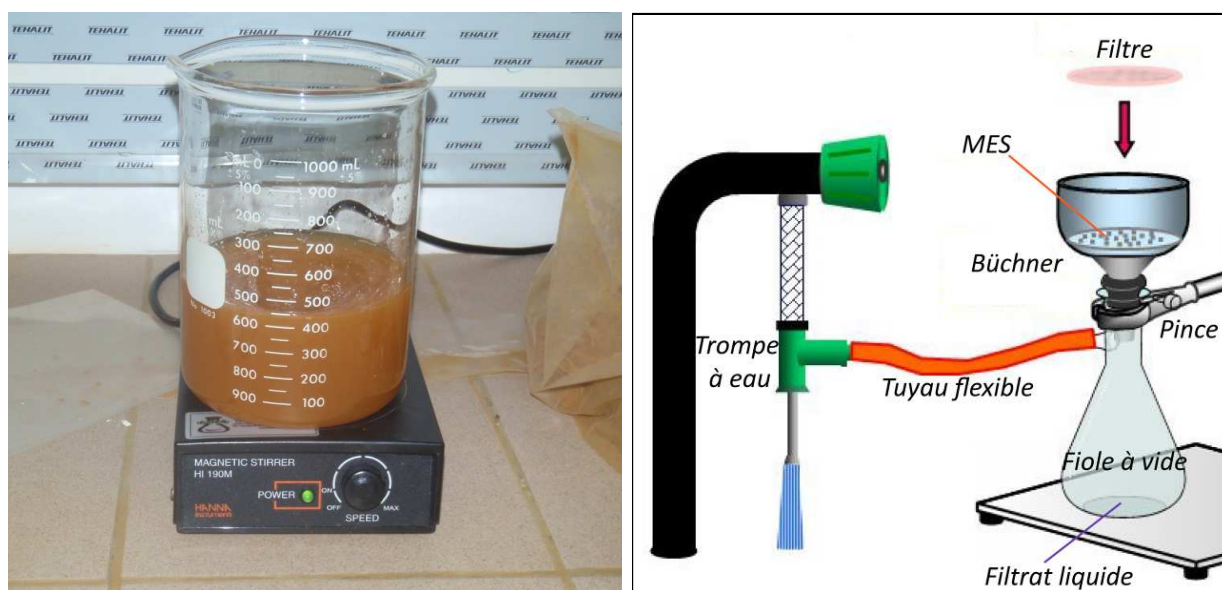
Après l'épisode pluvieux, il convient de relever les préleveurs, de nettoyer si nécessaire les sections de mesure et les goulottes des capteurs, de mesurer si possible les dépôts dans les décanteurs, de parcourir le bassin versant pour repérer d'éventuels indices de dérivation, obstruction, destruction.

2.1.3 Protocoles de mesure au laboratoire

2.1.3.1 Mesure des concentrations en suspension (MES) au laboratoire

La mesure des concentrations en MES s'effectue par séchage et pesée selon la méthode décrite dans la norme AFNOR T90-119, adaptée aux conditions du laboratoire.

Le contenu du flacon rapporté du site de Poro est agité puis transféré dans un becher sur un agitateur. Un volume de 60 ml est prélevé à la seringue puis introduit dans le dispositif de filtration sous vide équipé d'un filtre préalablement pesé à sec. Si la concentration de l'échantillon est très faible, le volume filtré doit être supérieur afin d'obtenir une masse suffisante de matériau pour être pesée sur la balance du laboratoire (sensible à 0.00001 g).



Agitation du mélange dans un Becher

Schéma du dispositif de filtration

Figure 13 : préparation du mélange avant prélèvement et dispositif de filtration

Afin de manipuler et de conserver les filtres, des boîtes de Pétri sont utilisées. Ces boîtes ne supportant pas la température normalisée de 105°C, le séchage s'effectue à 65°C pendant 48 heures, au lieu de 105°C pendant 24h. A l'issue du séchage, les boîtes de Pétri et les filtres sont transportées dans un dessiccateur jusqu'au local de la balance afin d'effectuer la pesée. On obtient par différence la masse de MES à affecter au volume filtré. La procédure est détaillée en Annexe 4.

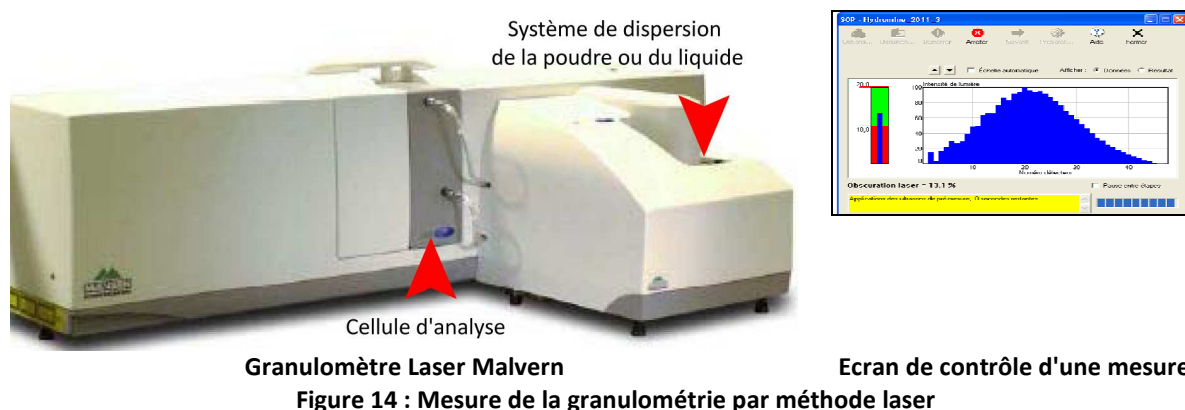
La nomenclature de numérotation des échantillons adoptée en 2010 est conservée pour les filtres et les boîtes de Pétri sont archivées au PPME. Les résultats intermédiaires de pesées et définitifs de concentrations sont consignés dans la base de données sédimentologique du projet Hydromine (cf. paragraphe 2.2.3).

2.1.3.2 Analyse granulométrique par diffraction laser

Pour déterminer la distribution granulométrique des particules transportées qui sont très fines, le granulomètre laser Malvern Mastersizer 2000 du PPME est utilisé.

La granulométrie laser est une technique basée sur la diffraction de la lumière. Un rayon laser traverse le milieu et les particules créent une atténuation et une rétrodiffusion de la lumière émise caractéristiques de leur taille et leur nombre. Il existe deux modes de dispersion des particules dans le milieu, un mode de dispersion par voie sèche et un mode de dispersion par voie liquide. C'est ce second qui est utilisé avec de l'eau comme diluant. Mais l'eau provoque elle-même un phénomène de diffraction que l'on peut considérer comme un bruit de fond qui sera donc mesuré avant toute injection de matériau. Le matériel utilisé dispose d'un préparateur d'échantillon d'une contenance de 50 à 200 ml. On peut en option utiliser une sonde à ultrasons pour désintégrer les agrégats. L'appareil est commandé soit de façon automatique à l'aide des SOPs (procédures opératoires standardisées), soit de façon manuelle par boîte de dialogue à l'écran de l'ordinateur. L'utilisation de SOPs créées sur le logiciel par l'opérateur permet une bonne reproductibilité des conditions de mesure.

L'échantillon à analyser est fortement agité dans la bouteille rapportée du terrain puis est transvasé dans un bécher et homogénéisé à l'aide d'un agitateur magnétique. On prélève ensuite une petite dose de la suspension à l'aide d'une seringue ou d'une pipette dont le contenu est ensuite introduit dans la cuve du préparateur d'échantillon. La quantité à introduire doit être ajustée pour situer la quantité de particules entre les bornes requises par l'appareil. La mesure peut également se faire en introduisant le matériau sec dans la cuve.



Au minimum trois réplifications sont effectuées pour chaque échantillon afin de garantir la précision du résultat. L'appareil lui-même effectue sur chaque échantillon une série de mesures dont le nombre est fixé par la SOP et dont il donne ensuite la moyenne. La variabilité des mesures successives doit être étudiée afin d'apprécier la qualité de la mesure. En effet, le milieu évolue au cours de la mesure (agrégation de particules ou au contraire destruction d'agrégats et l'évolution des résultats permet d'évaluer ce phénomène.

Le détail des opérations est donné en Annexe 5.

2.2 Traitement des données

2.2.1 Données hydrologiques

Les données de précipitation et de débit sont gérées, critiquées et validées par la DAVAR avec les méthodes appliquées pour l'ensemble de son réseau. Les relevés des centrales des pluviographes sont éventuellement corrigées à l'aide des cumuls mesurés sur les pluviomètres totalisateurs. Les anomalies sont détectées et corrigées quand c'est possible ou conduisent à des lacunes dans le cas

contraire.

Les données de hauteur d'eau dans les stations de jaugeage, issues des deux capteurs, la sonde Leveltroll et le module 720 ISCO, sont comparées et compilées et fournissent des chroniques de hauteur d'eau à pas de temps variable. Les points aberrants sont supprimés, les périodes de dysfonctionnement mises en lacune. Les chroniques de hauteur d'eau sont converties en chroniques de débit à l'aide des courbes de tarage validées par la DAVAR.

Pour les deux types de chroniques, les éventuels décalages en temps des centrales de mesure sont corrigés grâce aux relevés des opérateurs sur le terrain.

2.2.2 Données sédimentologiques

Les concentrations de chaque échantillon rapporté au laboratoire sont déterminées par les méthodes décrites au paragraphe 2.1.3.1. Les rapports " Journal" du préleveur ISCO sont dépouillés de manière à retrouver l'heure de prélèvement et la consigne ayant donné lieu à ce prélèvement (cf Annexe 2, extrait d'un rapport journal, Tableau 35). La validation des données ayant pu conduire à des corrections de hauteur, la hauteur d'eau et par conséquent le débit validés pour l'heure de prélèvement sont recherchés dans les chroniques fournies par la Davar. Une première visualisation de la position des prélèvements sur l'hydrogramme de crue est réalisée afin de préparer le traitement et l'interprétation selon la méthode décrite au paragraphe 2.3.2.

La granulométrie des matériaux transportés est déterminée sur un certain nombre d'échantillons judicieusement choisis pour répondre aux questions posées (caractérisation des matériaux, influence de certains paramètres sur la taille des particules, rôle des décanteurs, etc...). Au cours du traitement de l'échantillon, les données sont visualisées sur le logiciel de l'appareil. Plusieurs réplicas sont réalisés pour chaque échantillon. De manière automatique, les données sont archivées par le logiciel Malvern. Une exportation des données au format Excel est réalisée et permet d'élaborer les courbes et tableaux au format souhaité, notamment les distributions cumulées. Les diamètres caractéristiques sont également déterminés.

2.2.3 Mise en forme et archivage des données.

Les **données de précipitation et de débit** fournies par la Davar sont conservées dans leur format d'origine de classeurs au format Excel.

Les **données de concentration** sont regroupées dans une "base de données sédimentologique", également sous forme de classeur Excel (Tableau 2). Les résultats de concentration y sont consignés mais également les informations relatives aux conditions de prélèvement issues du rapport ISCO et celles relatives au traitement au laboratoire. Pour une partie des prélèvements, des informations sur la position du prélèvement sur l'hydrogramme sont consignées. Elles résultent des besoins des interprétations décrites au 2.3.3.

Tableau 2 : Extrait de la base de données sédimentologique (Poro amont)

	Nom de l'échantillon Région_Année_Parcours	date et heure du prélèvement	Événement et seuils	Raison (sco)	Programme	Tour	Nom Filtre	Masse Filtre (g)	Volume prélevé lors du prélèvement (mL)	Masse Filtre + Masse (g)	Masse MDS (g)	Concentration n°(g/L)	abscisse (m/s)	numéro du péc	moment dans le péc	nombre de péc dans le cuvé
656	Poro_AM_ISCO_2-120314-2	13/03/2012 14:20	2	HO-100	2	JA	366	0.0890	60	0.2254	0.1964	2.2733	0.099	1	M	4
657	Poro_AM_ISCO_2-120314-3	13/03/2012 14:25	3	HO-150	3	JA	368	0.0897	60	0.2500	0.1753	2.9517	0.262	1	M	4
658	Poro_AM_ISCO_2-120314-4	13/03/2012 14:30	4	HO-200	4	JA	366	0.0894	60	0.1187	0.0917	0.1400	0.016	1	M	4
659	Poro_AM_ISCO_2-120314-5	13/03/2012 14:35	5	HO-250	5	JA	366	0.0897	60	0.1203	0.0314	0.5233	0.239	1	D	4
660	Poro_AM_ISCO_2-120314-6	13/03/2012 14:40	6	HO-300	6	JA	366	0.0894	60	0.1187	0.0917	0.1400	0.016	1	M	4
661	Poro_AM_ISCO_2-120314-7	13/03/2012 14:45	7	HO-350	7	JA	361	0.0897	60	0.1006	0.0113	0.1863	0.099	1	D	4
662	Poro_AM_ISCO_2-120314-8	13/03/2012 14:50	8	HO-400	8	JA	366	0.0893	60	0.0919	0.0087	0.1400	0.016	1	D	4
663	Poro_AM_ISCO_2-120314-9	13/03/2012 14:55	9	HO-450	9	JA	367	0.0894	60	0.1006	0.0112	0.1863	0.099	1	M	4
664	Poro_AM_ISCO_2-120314-10	13/03/2012 15:00	10	HO-500	10	JA	367	0.0894	60	0.1006	0.0112	0.1863	0.099	1	M	4
665	Poro_AM_ISCO_2-120314-11	13/03/2012 15:05	11	HO-550	11	JA	367	0.0897	60	0.1006	0.0112	0.1863	0.099	1	D	4
666	Poro_AM_ISCO_2-120314-12	13/03/2012 15:10	12	HO-600	12	JA	369	0.0894	60	0.0983	0.0069	0.1150	0.135	4	D	4
667	Poro_AM_ISCO_2-120314-13	13/03/2012 15:15	13	HO-650	13	JA	367	0.0893	60	0.0983	0.0069	0.0950	0.016	4	D	4
668	Poro_AM_ISCO_2-120314-14	13/03/2012 15:20	14	HO-700	14	JA	367	0.0894	60	0.0983	0.0069	0.1000	0.017	4	D	4
669	Poro_AM_ISCO_2-120314-15	13/03/2012 15:25	15	HO-750	15	JA	366	0.0897	60	0.1006	0.0112	0.1863	0.099	1	M	4
670	Poro_AM_ISCO_2-120314-16	13/03/2012 15:30	16	HO-800	16	JA	362	0.0894	60	0.1006	0.0112	0.1863	0.099	1	M	4
671	Poro_AM_ISCO_2-120314-17	13/03/2012 15:35	17	HO-850	17	JA	366	0.0897	60	0.1006	0.0112	0.1863	0.099	1	M	4
672	Poro_AM_ISCO_2-120314-18	13/03/2012 15:40	18	HO-900	18	JA	360	0.0897	60	0.0987	0.0077	0.1262	0.145	1	D	4
673	Poro_AM_ISCO_2-120314-19	13/03/2012 15:45	19	HO-950	19	JA	366	0.0894	60	0.0983	0.0069	0.0950	0.016	1	D	4
674	Poro_AM_ISCO_2-120314-20	13/03/2012 15:50	20	HO-1000	20	JA	363	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.0817	0.016	1	D	4
675	Poro_AM_ISCO_2-120314-21	13/03/2012 15:55	21	HO-1050	21	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
676	Poro_AM_ISCO_2-120314-22	13/03/2012 16:00	22	HO-1100	22	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
677	Poro_AM_ISCO_2-120314-23	13/03/2012 16:05	23	HO-1150	23	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
678	Poro_AM_ISCO_2-120314-24	13/03/2012 16:10	24	HO-1200	24	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
679	Poro_AM_ISCO_2-120314-25	13/03/2012 16:15	25	HO-1250	25	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
680	Poro_AM_ISCO_2-120314-26	13/03/2012 16:20	26	HO-1300	26	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
681	Poro_AM_ISCO_2-120314-27	13/03/2012 16:25	27	HO-1350	27	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
682	Poro_AM_ISCO_2-120314-28	13/03/2012 16:30	28	HO-1400	28	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
683	Poro_AM_ISCO_2-120314-29	13/03/2012 16:35	29	HO-1450	29	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
684	Poro_AM_ISCO_2-120314-30	13/03/2012 16:40	30	HO-1500	30	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
685	Poro_AM_ISCO_2-120314-31	13/03/2012 16:45	31	HO-1550	31	JA	362	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
686	Poro_AM_ISCO_2-120314-32	13/03/2012 16:50	32	HO-1600	32	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
687	Poro_AM_ISCO_2-120314-33	13/03/2012 16:55	33	HO-1650	33	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
688	Poro_AM_ISCO_2-120314-34	13/03/2012 17:00	34	HO-1700	34	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
689	Poro_AM_ISCO_2-120314-35	13/03/2012 17:05	35	HO-1750	35	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
690	Poro_AM_ISCO_2-120314-36	13/03/2012 17:10	36	HO-1800	36	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
691	Poro_AM_ISCO_2-120314-37	13/03/2012 17:15	37	HO-1850	37	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
692	Poro_AM_ISCO_2-120314-38	13/03/2012 17:20	38	HO-1900	38	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
693	Poro_AM_ISCO_2-120314-39	13/03/2012 17:25	39	HO-1950	39	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
694	Poro_AM_ISCO_2-120314-40	13/03/2012 17:30	40	HO-2000	40	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
695	Poro_AM_ISCO_2-120314-41	13/03/2012 17:35	41	HO-2050	41	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
696	Poro_AM_ISCO_2-120314-42	13/03/2012 17:40	42	HO-2100	42	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
697	Poro_AM_ISCO_2-120314-43	13/03/2012 17:45	43	HO-2150	43	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
698	Poro_AM_ISCO_2-120314-44	13/03/2012 17:50	44	HO-2200	44	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
699	Poro_AM_ISCO_2-120314-45	13/03/2012 17:55	45	HO-2250	45	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
700	Poro_AM_ISCO_2-120314-46	13/03/2012 18:00	46	HO-2300	46	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
701	Poro_AM_ISCO_2-120314-47	13/03/2012 18:05	47	HO-2350	47	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
702	Poro_AM_ISCO_2-120314-48	13/03/2012 18:10	48	HO-2400	48	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
703	Poro_AM_ISCO_2-120314-49	13/03/2012 18:15	49	HO-2450	49	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
704	Poro_AM_ISCO_2-120314-50	13/03/2012 18:20	50	HO-2500	50	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
705	Poro_AM_ISCO_2-120314-51	13/03/2012 18:25	51	HO-2550	51	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
706	Poro_AM_ISCO_2-120314-52	13/03/2012 18:30	52	HO-2600	52	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
707	Poro_AM_ISCO_2-120314-53	13/03/2012 18:35	53	HO-2650	53	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
708	Poro_AM_ISCO_2-120314-54	13/03/2012 18:40	54	HO-2700	54	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
709	Poro_AM_ISCO_2-120314-55	13/03/2012 18:45	55	HO-2750	55	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
710	Poro_AM_ISCO_2-120314-56	13/03/2012 18:50	56	HO-2800	56	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
711	Poro_AM_ISCO_2-120314-57	13/03/2012 18:55	57	HO-2850	57	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
712	Poro_AM_ISCO_2-120314-58	13/03/2012 19:00	58	HO-2900	58	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
713	Poro_AM_ISCO_2-120314-59	13/03/2012 19:05	59	HO-2950	59	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
714	Poro_AM_ISCO_2-120314-60	13/03/2012 19:10	60	HO-3000	60	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
715	Poro_AM_ISCO_2-120314-61	13/03/2012 19:15	61	HO-3050	61	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
716	Poro_AM_ISCO_2-120314-62	13/03/2012 19:20	62	HO-3100	62	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
717	Poro_AM_ISCO_2-120314-63	13/03/2012 19:25	63	HO-3150	63	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
718	Poro_AM_ISCO_2-120314-64	13/03/2012 19:30	64	HO-3200	64	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
719	Poro_AM_ISCO_2-120314-65	13/03/2012 19:35	65	HO-3250	65	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4
720	Poro_AM_ISCO_2-120314-66	13/03/2012 19:40	66	HO-3300	6	JA	366	0.0894	60	0.0914	0.0028	0.1424	0.016	1	M	4

suspension.

Les **données élaborées** sont également archivées sous forme d'un catalogue des épisodes pluvieux. Pour chacun de ces épisodes, des variables secondaires sont calculées et sont archivées dans le catalogue des événements. Le découpage des chroniques en épisodes et le mode de calcul des données élaborées sont décrits dans les chapitre 2.3.1 et 2.3.2.

2.3 Analyse des données et interprétation des résultats

2.3.1 Détermination des paramètres hydrologiques

L'objectif du site pilote de Poro est de déterminer qualitativement et quantitativement la réponse hydrologique et sédimentaire des bassins versants aux précipitations. Différentes échelles temporelles d'analyse sont possibles. L'objectif principal étant d'améliorer les outils de dimensionnement des ouvrages hydrauliques pour une meilleure gestion des eaux sur mine et une réduction des impacts, c'est l'échelle de l'épisode pluvieux qui sera privilégiée. Elle permet en effet d'analyser le mode de fonctionnement des bassins, de déterminer à cette échelle les facteurs qui influencent la réponse des systèmes aux précipitations. C'est également la bonne échelle temporelle pour raisonner en matière de fréquence et de risque.

Néanmoins, pour évaluer les impacts des rejets d'eau et de sédiments en provenance de ces bassins, il sera nécessaire également de compléter l'analyse par des bilans annuels et des comparaisons inter-annuelles qui commencent à être possibles grâce à la durée d'observation (4 ans).

Pour conduire l'analyse à l'échelle de l'épisode, la première étape est de repérer dans les chroniques enregistrées les épisodes pluvieux, de sélectionner ceux qui doivent être étudiés en détail, de définir les paramètres descriptifs des entrées (précipitations) et des sorties (débits liquides et transports solides) qui permettront d'analyser ces réponses. On a donc établi un catalogue d'épisodes, dit catalogue PQ dont la référence est constituée des épisodes pluvieux répondant aux critères et au mode de découpage choisi. Différentes variables décrivant la précipitation sont calculées sur chacun de ces événements. On définit ensuite parmi ces événements ceux qui ont provoqué un ruissellement décelable et on calcule pour ceux-là un certain nombre de paramètres qui décrivent la réponse en débit liquide et transport solide.

2.3.1.1 Découpage, sélection et description des épisodes pluvieux

On définit un épisode pluvieux dès lors que le cumul continu de pluie dépasse un certain seuil. Dans un premier temps le seuil de 5 mm est retenu. Il faut également définir une durée d'interruption de pluie pour séparer deux épisodes successifs. Les chroniques de précipitation de la DAVAR contiennent elles-mêmes cette notion de séparation d'épisode. Une donnée de 0 mm de précipitation est insérée dans les chroniques de pluie dès lors que l'interruption dépasse 2 heures. Nous avons donc retenu un critère de deux heures sans pluie pour la séparation de deux épisodes successifs.

Le site dispose de deux pluviographes. Il peut arriver qu'un seul des deux appareils enregistre un cumul dépassant le seuil ou une interruption de plus de deux heures. Afin de permettre les analyses, les deux catalogues des deux appareils sont mis en cohérence. Les épisodes de pluie ainsi définis sont dénommés "averses". Chaque averse est numérotée depuis le début des observations. Dans le catalogue, chaque épisode comprend une averse amont et une averse aval, qui peuvent être de durée légèrement différente.

Pour chacune des averses ainsi définies, un certain nombre de paramètres descriptifs sont calculés :

- | | | |
|---|-----------|-------|
| - Le cumul de précipitation | pluie | mm |
| - La durée de l'épisode | durée, Dp | min |
| - L'intensité maximale observée en yy minutes | Imaxyy | mm/h |
| - La période de retour de cette de l'intensité maximale | Taaa | année |

- Le cumul de pluie tombant au-delà d'un seuil xx d'intensité	htotxx	mm
- L'énergie cinétique calculée de la précipitation	ej00	J/m ²
- L'énergie cinétique de la pluie au-delà d'un seuil de xx mm/h	ejxx	J/m ²
- L'indice des pluies antérieures	IPA	mm

Le cumul (Pluie) et la Durée (Durée ou Dp) renseignent sur l'importance globale de l'épisode. Les paramètres d'intensité maximale permettent de caractériser le type d'épisode :

- pluie longue et soutenue avec de faibles I_{max} sur les courts pas de temps et de fortes I_{max} sur les durées plus longues
- orages brefs et intenses avec des I_{max} forts sur des durées courtes

La période de retour des intensités maximales sur des pas de temps courts (inférieurs à deux heures) ou longs (journée) permettent de caractériser le côté exceptionnel de l'épisode. Compte-tenu de la courte durée d'observation sur Poro, cette période de retour n'est pas établie sur les données locales mais déduites de l'étude régionale de la Davar (Romieux, 2011). Dans cette étude, pour évaluer le risque pluviométrique, une régionalisation des paramètres de Gumbel pour des durées de 15 min, 1 h, 2 h et 24 h est proposée. C'est avec les paramètres locaux de cette loi de Gumbel régionalisée que les périodes de retour des événements du catalogue de Poro ont été estimées. Les paramètres de position P0 et de gradex Gd à Poro sont donnés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Paramètres de Gumbel pour le site de Poro (Romieux, 2011)

Durée (h)	24	2	1	0.25 (15 min)
Gd (mm)	64.4	20.5	13.6	5.0
P0 (mm)	165	69	50	22

Le calcul des différents paramètres est détaillé en Annexe 6.

2.3.1.2 Définition des épisodes de crue, détermination des débuts et fins d'épisodes

Il faut dans cette étape qualifier la réponse des bassins versants à un épisode pluvieux. Pour chaque averse du catalogue, on définit tout d'abord la variable R (Ruissellement) qui prend les valeurs

- 0, l'averse n'a pas provoqué de ruissellement observable à l'exutoire
- 1, l'averse a provoqué un ruissellement notable à l'exutoire, ci-après dénommé crue

Cependant, pour certains épisodes pluvieux, on observe une faible variation des hauteurs à l'exutoire mais elle est minime ou décrite par trop peu de points sur l'hydrogramme. On a donc ajouté une dernière catégorie de R = 2. Les épisodes classés 2 seront comptabilisés dans les averses occasionnant un ruissellement mais écartés des analyses plus détaillées.

Il faut ensuite déterminer le début et la fin de l'épisode de crue. C'est l'une des phases cruciales et délicates de la préparation du jeu de données. En effet, si le point de début de ruissellement est relativement facile à déterminer, on retient le début de la variation rapide de la hauteur d'eau, la fin du ruissellement demande une interprétation hydrologique qui n'est pas sans ambiguïté.

La variabilité des situations n'a pas permis d'automatiser cette détermination qui s'est faite "à dire d'expert" sur chacun des couples averse-crue. Reprenant les méthodes classiques de l'hydrologie, l'analyse consiste à repérer dans la courbe de décrue (en échelle logarithmique) le changement de pente qui traduit la fin du ruissellement rapide de crue. A Poro amont, le tarissement est très rapide et on revient rapidement à un niveau voisin de 0 après l'épisode pluvieux. A Poro aval, le problème est plus complexe car il y a un faible écoulement permanent et les écoulements retardés sont non négligeables.

La définition d'un début et d'une fin de ruissellement est rendue plus difficile encore par l'imprécision des sondes de niveau pour les faibles hauteurs d'eau, donc pour les faibles débits. En particulier lorsque les sondes sont ensablées. Pour la station aval si on adoptait pour la fin de ruissellement l'heure de retour à l'état initial, le volume écoulé calculé peut devenir très important et nettement supérieur au volume d'écoulement rapide de crue qui est la variable pertinente de cette étude. Les graphes de la Figure 15, se référant au même épisode, illustrent cette estimation de la fin

de la crue sur un épisode simple. Sur le graphe de droite en coordonnées logarithmiques, on peut observer une cassure nette dans les "droites" de décroissance des débits qui permet de positionner le point de fin de crue bien plus facilement que sur le graphe en coordonnées arithmétiques. Néanmoins, la survenue d'une seconde petiteaverse qui vient soutenir le débit de tarissement peut fausser l'analyse.

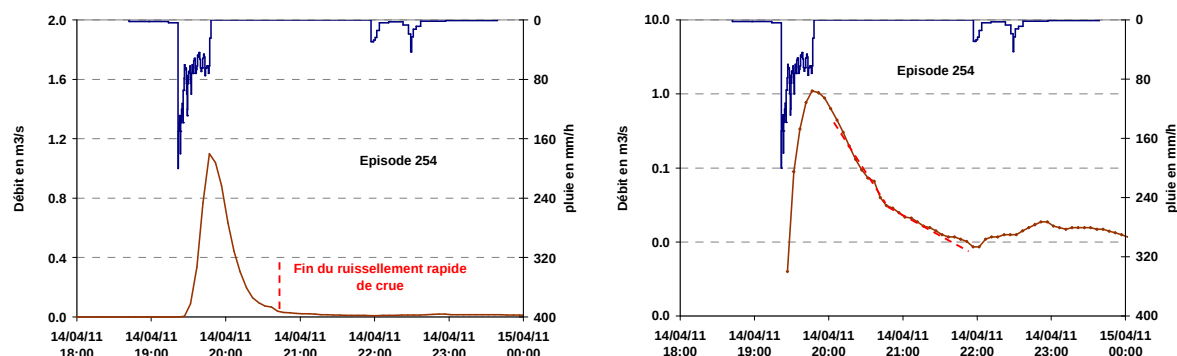


Figure 15 : Exemple de détermination de la fin du ruissellement rapide sur deux graphes du même épisode montrant l'intérêt d'utiliser les coordonnées logarithmiques (à droite) – Poro aval

2.3.1.3 Calcul des lames écoulées et coefficients d'écoulement rapide

Dans cette étude, la lame ruisselée de chaque épisode est calculée comme le volume ayant transité par la station de mesure entre le début et la fin du ruissellement (divisé par la superficie drainée pour être exprimée en mm). La question s'est posée de savoir s'il fallait en soustraire l'écoulement de base. Compte tenu d'une part des faibles volumes en jeu et d'autre part de l'objectif poursuivi (dimensionnement d'ouvrages), il a paru préférable de comptabiliser la totalité du volume écoulé entre ces deux instants.

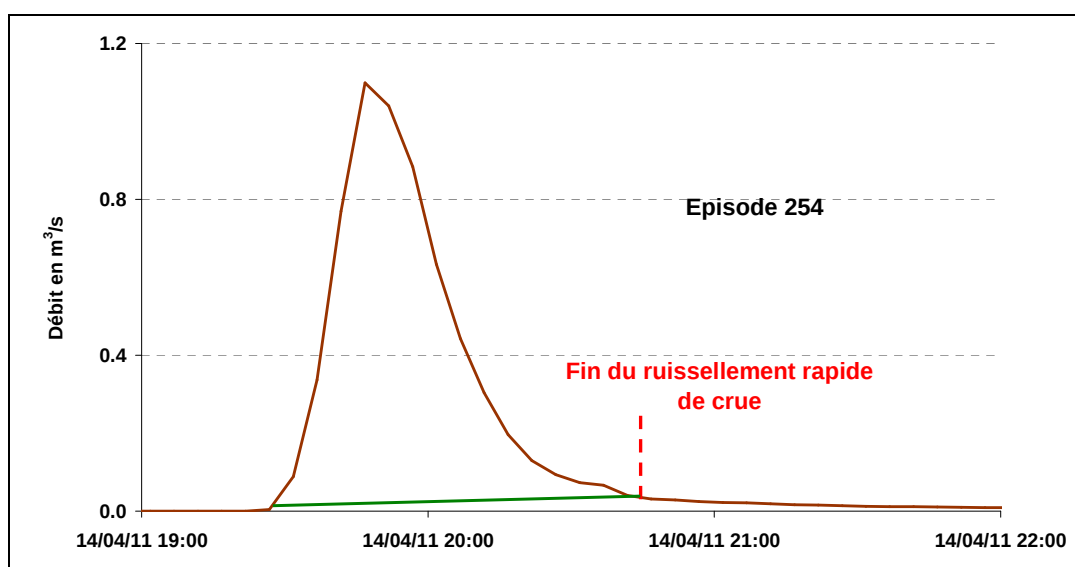


Figure 16 : séparation des écoulements rapide et de base d'une crue simple (Poro aval)
(La représentation en coordonnées "normales" permet de bien visualiser les différences de volume)

Sur l'exemple déjà représenté ci-dessus (Figure 15), la lame écoulée est estimée à 6.1 mm. Si on déduit l'écoulement "de base", situé en dessous de la ligne verte sur le graphe de la Figure 16, on obtient une lame écoulée "rapide" de 5.8 mm.

Le coefficient d'écoulement CE est alors défini comme le rapport entre la lame écoulée et la pluie incidente de l'épisode considéré.

2.3.1.4 Détermination des temps de concentration

Le temps de concentration est défini comme le temps que met un volume élémentaire ruisselé pour

parvenir à l'exutoire du point le plus éloigné dans le temps (Roche M.F., 1986). Le temps de concentration est un paramètre important du fonctionnement des bassins versants miniers. Il sert à décrire le fonctionnement du bassin versant, notamment la rapidité de la réponse du bassin aux précipitations. Il est par ailleurs classiquement utilisé pour l'évaluation des débits de projet (par exemple par la méthode rationnelle). Pour l'application de cette méthode, les compagnies minières, ou les bureaux d'études utilisent des formules de la littérature qui ne sont généralement pas adaptées à ce type de bassin versant. C'est l'un des objectifs du projet d'estimer ces temps de concentration sur des bassins miniers de petite taille.

On cherche donc à déterminer sur les couples averse-crue enregistrés les temps de concentration des deux bassins de Poro Amont et Poro Aval. Plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature. Elles paraissent toujours simples sur des couples hyétogramme-hydrogramme "pédagogiques", elles le sont beaucoup moins sur des graphes de données réelles. Différentes méthodes ont été testées. Sur recommandation de la DAVAR le calcul du décalage entre le centre de gravité du hyétogramme et le centre de gravité de l'hydrogramme a été privilégié. Des tentatives de calcul automatique ont été faites et comparées aux méthodes graphiques d'estimation du temps de concentration.

2.3.1.5 Autres paramètres hydrologiques

Plusieurs autres descripteurs de la relation pluie-débit ou des conditions initiales sont déterminés pour chaque épisode :

- Durée de temps sec t_s jours
- Durée de temps sec T_s jours

Il s'agit de caractériser la situation antérieure à l'épisode : t_s est la durée écoulée depuis la fin de l'averse précédente. T_s est la durée écoulée depuis la fin de la dernière averse ayant provoqué un ruissellement (variable $R = 1$ ou 2). $T_s \geq t_s$ et $T_s = t_s$ pour une grande partie des épisodes (tous ceux qui suivent un épisode ayant lui-même ruisselé).

Au début de l'épisode pluvieux, il faut attendre un certain temps avant de voir apparaître un ruissellement dans la station de mesure. On appelle t_0 (min), temps initial, le temps séparant le début de l'averse du début du ruissellement. Le cumul de pluie au cours de ce temps, P_0 (mm), est appelé "Pluie initiale" et peut-être interprété comme une approximation de l'interception initiale.

2.3.2 Détermination des paramètres de MES

A l'issue des opérations de terrain et de laboratoire, on dispose d'une chronique discontinue de concentration des écoulements en g/l. Pour chacun des échantillons, elle contient la concentration en MES (en g/l) et l'horaire de prélèvement. De cet horaire, on peut par interpolation sur les chroniques validées par la DAVAR déterminer le débit dans la section de mesure à l'instant du prélèvement (en m^3/s). L'objectif suivant est de déterminer pour chacun des épisodes le flux solide ayant transité dans la station de mesure (ayant été exporté du bassin pour Poro aval).

La première étape du traitement consiste à positionner les prélèvements sur l'hydrogramme enregistré. Le nombre et la répartition de ces prélèvements permettront de juger de la qualité de l'échantillonnage pour l'épisode considéré. L'exemple de la Figure 17 montre la répartition sur un épisode bien échantillonné.

Les prélèvements sont bien répartis sur les deux pointes successives de l'épisode et on a des prélèvements aussi bien au début de la crue qu'au voisinage de la pointe. Seule la décrue n'est pas correctement échantillonnée car les 18 flacons disponibles ont été utilisés. Le débit de pointe reste inférieur au seuil ($0.54 m^3/s$) de déclenchement des événements de type "B".

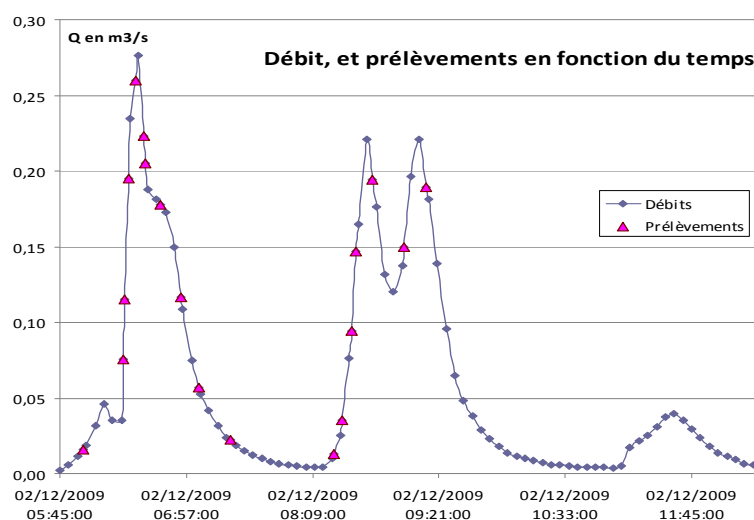


Figure 17 : Répartition des prélèvements sur l'hydrogramme

L'examen de la répartition temporelle des concentrations et des débits permet ensuite d'analyser le transport solide au cours de l'épisode. Pour le même épisode, la Figure 18 montre qu'on a enregistré en début d'épisode un pic de concentration, correspondant à ce qu'on qualifie généralement de "first flush", (c'est-à-dire "première chasse") puis que la concentration décroît avec le débit. Le second pic de crue est moins concentré que le premier.

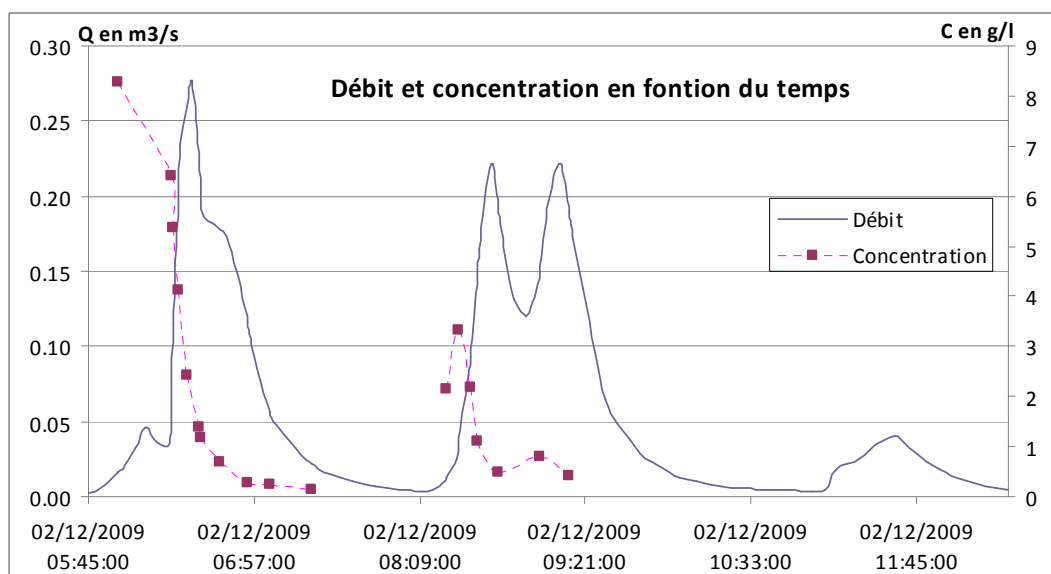


Figure 18 : Débit et concentration en fonction du temps (Poro amont)

L'examen de la relation concentration-débit de ce même épisode (Figure 19) fait apparaître une relation non univoque entre concentration et débit. Ce type de représentation permet de mettre en avant le lien univoque ou non, entre la concentration et le débit. Il est en effet classique (Alexandrov et al, 2003), d'observer un phénomène d'hystérésis : la concentration dans l'écoulement est, pour une même valeur du débit, différente à la montée en crue et à la décrue. Les deux graphiques de la Figure 19 présentent pour l'épisode 125, la relation concentration-débit pour Poro amont et Poro aval. On observe une hystérésis dans le sens horaire ("clockwise") à l'amont et anti-horaire ("unclockwise") à l'aval.

Certains auteurs(Lenzi et Marchi, 2000; Alexandrov et al., 2003; Soler et al., 2007) interprètent le sens de cette boucle en terme de fonctionnement hydro-sédimentaire. Les courbes de sens 1 (clockwise) seraient associées à la contribution de matériaux détritiques du lit ou des berges proches de l'exutoire. Les courbes de sens 2 (unclockwise) seraient associées à la contribution de sources

sédimentaires plus éloignées, notamment à des arrachements sur les versants.

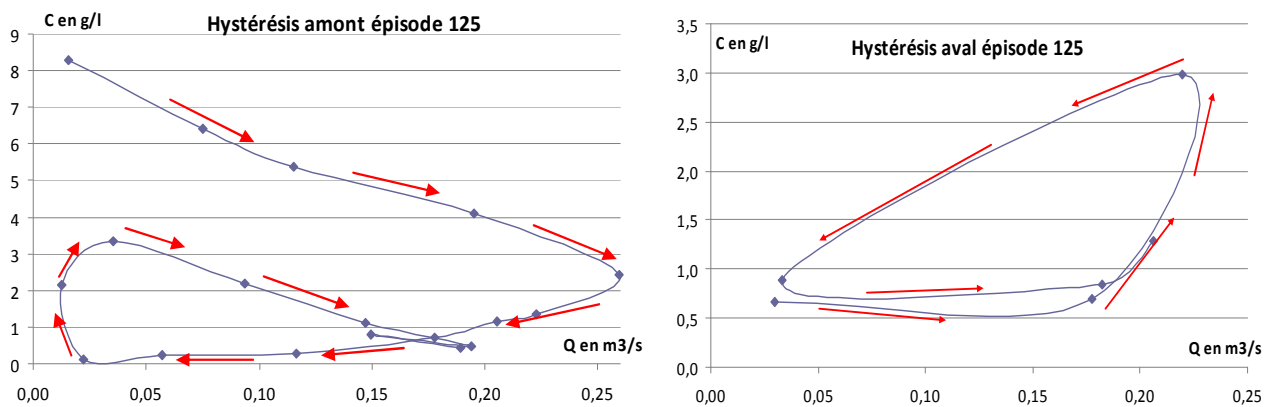


Figure 19 : Hystérésis dans la relation concentration-débit

Ces relations seront ici principalement utilisées pour interpoler les concentrations entre deux points de prélèvement. En effet, comme le montrent la Figure 17 et la Figure 18, tous les points de l'hydrogramme ne sont pas assortis d'une valeur de concentration. Pour calculer le flux transporté, il faut donc estimer par interpolation – ou par extrapolation pour les débuts et fins d'épisodes – la concentration en chaque point de l'hydrogramme. Généralement, c'est la relation Concentration-débit qui sera utilisée et on fera sur cette courbe une interpolation en concentration pour les débits non échantillonnés. En l'absence d'une relation concentration-débit claire, on pourra également interpoler les concentrations en fonction du temps écoulé entre deux prélèvements successifs.

Le point le plus délicat de ce calcul est l'extrapolation des valeurs de concentration pour les périodes non échantillonnées de l'épisode, la plupart du temps la fin de la crue, lorsque les prélèvements se sont arrêtés faute de flacons. Dans l'exemple ci-dessus, la partie à interpoler concerne des débits relativement modérés et une période limitée. La fraction du flux total correspondant à ces périodes d'extrapolation représente moins de 5% du flux total.

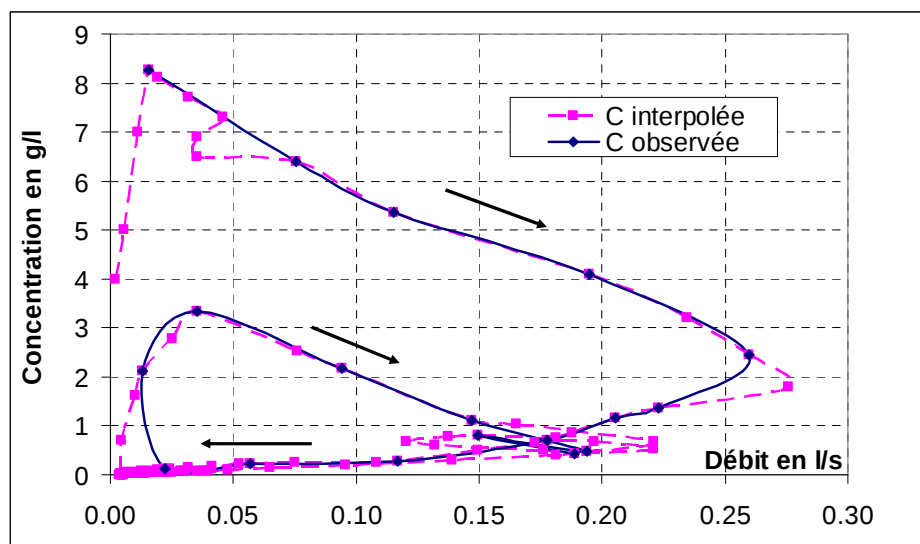


Figure 20 : interpolation et extrapolation de la relation Concentration-débit pour l'épisode 125 (Poro amont)

Pour certaines crues, la partie non échantillonnée est beaucoup plus importante. On doit alors s'appuyer sur les exemples des crues bien échantillonnées pour faire une extrapolation des concentrations. Il est parfois nécessaire de réaliser plusieurs calculs, dans différentes hypothèses de répartition des concentrations. La dispersion des résultats de ces différents calculs permet d'apprécier l'incertitude sur le flux liée à ces extrapolations. Une bibliothèque des épisodes bien échantillonnés a été réalisée afin d'aider aux interpolations et extrapolations.

A l'échelle de l'épisode, on définit alors une série de paramètres qui vont caractériser le transport solide

- Concentration maximale de l'épisode Cmax g/l
- Flux total de l'épisode Flux kg ou t
- Concentration moyenne de l'épisode = Flux solide/volume écoulé Cmoy g/l

La somme des flux des épisodes permet de calculer le flux total exporté d'une période donnée (plus généralement l'année). Cependant, du fait du manque de flacons disponibles, si le relevé n'a pu être fait entre deux crues, ou, plus rarement, de dysfonctionnements du préleveur, un certain nombre d'épisodes ne sont pas échantillonnés. Il faudra donc estimer le flux de ces épisodes avant de calculer le flux annuel. Pour ce faire, une méthode d'estimation du flux à partir de paramètres connus de l'épisode sera élaborée et les données seront complétées par des valeurs estimées avant d'effectuer la somme sur l'année (cf paragraphe 4.3)

2.3.3 Méthodes d'analyse utilisées

2.3.3.1 Méthodes graphiques

Nous appelons méthodes graphiques, les méthodes qui consistent à analyser les chroniques et les relations entre paramètres à partir de graphiques, généralement établis sous Excel. La première des méthodes graphiques utilisée est le tracé des couples averse-crue (Figure 21). Ce type de graphe permet par exemple la définition des épisodes, la comparaison entre les débits amont et aval, le calcul de certains paramètres (temps de montée, temps de concentration, temps initial). Les procédures automatiques de calcul de ces paramètres se sont révélées sources d'incertitudes et d'erreurs et, même s'il introduit une part de subjectivité ou d'"expertise", le calcul sur les graphes eux-mêmes a été retenu.

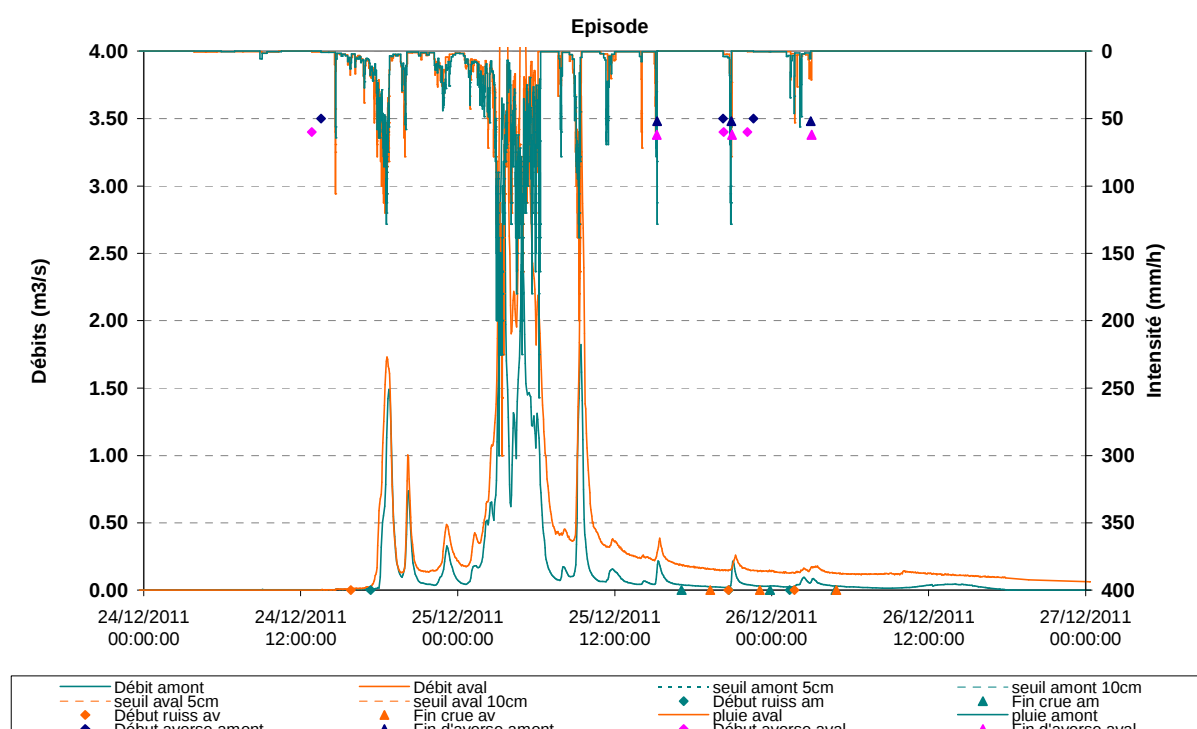


Figure 21 : Exemple de graphe pour l'analyse des chroniques

Le second type de graphes utilisé est le "graphe X-Y" des outils Excel, qui sera largement présenté dans la suite de ce rapport.

2.3.3.2 Méthodes statistiques

Afin d'analyser les relations entre paramètres descripteurs des épisodes de crue, les méthodes classiques statistiques ont été utilisées : statistiques élémentaires, corrélations simples et multiples, modèles linéaires et non linéaires généralisés. Ces analyses ont été faites avec les outils d'Excel pour les plus simples ou à l'aide du progiciel "Statistica" pour les plus complexes.

2.3.3.3 Modélisation

Comme indiqué précédemment des modèles statistiques linéaires et non linéaires généralisés ont été utilisés pour proposer des méthodes de prédiction des flux sédimentaires à partir des descripteurs simples des épisodes pluvieux. C'est en général l'outil Statistica qui a été mis en œuvre. Une première approche de modélisation pluie-débit à l'aide du logiciel ETC d'Irstea (Brochot et Meunier, 1996) a été tentée mais s'est avérée peu concluante. Cette approche a été complétée en 2013 par des tests avec le modèle Hec-HMS (Freydier, 2013).

2.3.3.4 Méthodes cartographiques et Système d'Information Géographique (SIG)

Les cartes appuyant la description des bassins ont été établies sous ArcGIS10 à partir des données fournies par la SLN et la DITTT, complétées des relevés de terrain conduits dans le cadre du présent projet (occupation du sol, chemins de l'eau). Un certain nombre de cartes dérivées ont été établies à l'aide d'ArcGIS : Modèle Numérique de Terrain (MNT), carte des pentes. Enfin, des croisements de couches ont permis de calculer les paramètres de bassins utiles à l'analyse hydrologique : pentes moyennes, taux de couverture végétale, etc...

3 Résultats sur la relation pluie-débit

3.1 Pluies et débits de la période

La période de mesure objet du présent rapport d'étend du 18 décembre 2008 (début des observations) au 30 mai 2012 (fin de la saison cyclonique 2012). Les données sont critiquées et validées par la DAVAR. La période d'observation est trop courte pour estimer des durées de retour des paramètres des épisodes observés. Pour ce qui concerne les précipitations, les valeurs observées pourront être qualifiées en fréquence à l'aide des résultats de la synthèse régionalisée des pluies extrêmes réalisée par la DAVAR (Romieux, 2011). En ce qui concerne les débits, cette qualification est plus délicate car les synthèses réalisées par la DAVAR portent sur des bassins versants beaucoup plus grands et peu ou pas impactés par l'activité minière.

3.1.1 Pluviométrie

La pluie annuelle est calculée sur une période d'étendant de début décembre de l'année n-1 à fin novembre de l'année n. Afin de permettre la comparaison entre les années, les précipitations mensuelles de l'année 2012, désormais disponibles, ont été incluses dans la série. Le mois de décembre 2008 étant incomplet, les jours manquant ont été complétés par les données de Houailou, distant d'environ 15 km.

Sur la période d'observation, la pluviométrie annuelle s'étend de 1460 à 2720 mm sur les deux postes pluviométriques de Poro (Figure 22). L'année 2010 a été particulièrement faible en pluie avec de surcroît 55% des précipitations de l'année en période sèche (juin à novembre) tandis que les autres années, 80 à 90% des cumuls annuels correspondent à la période cyclonique (décembre à mai).

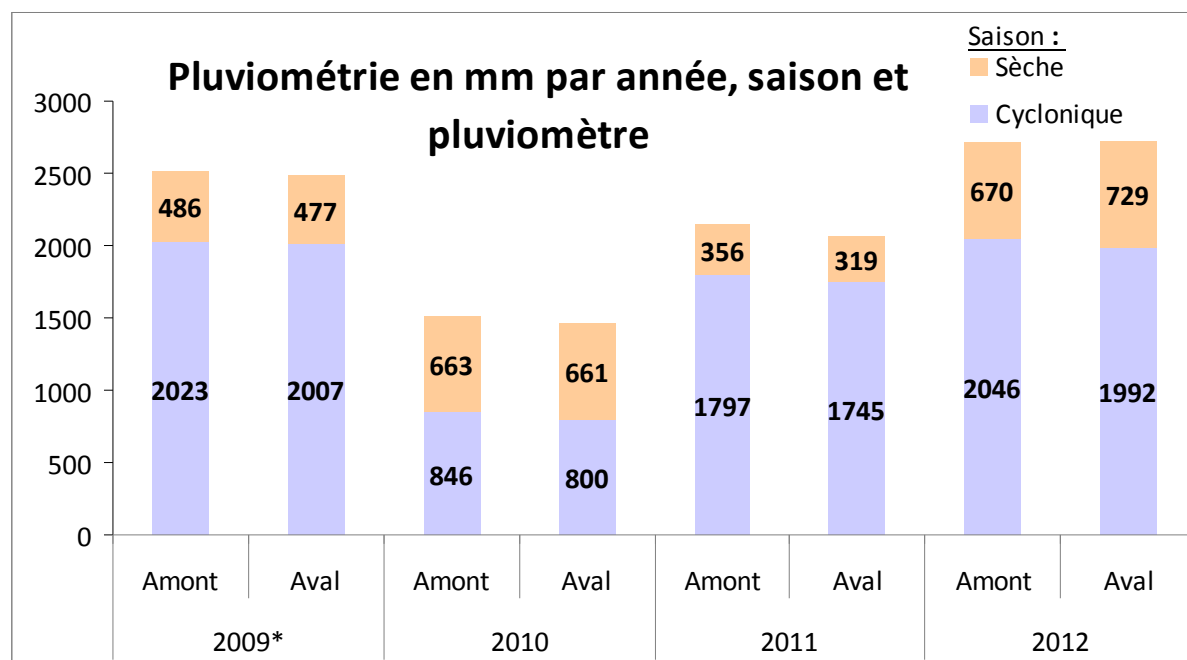


Figure 22 : pluviométrie annuelle sur le site de Poro

On considère généralement que sur des bassins versants de faible superficie l'hétérogénéité spatiale des pluies peut être négligée (Gaume, 2002) tant que l'exposition au vent dominant reste équivalente. Les résultats de la Figure 22 permettent de le vérifier. Le Tableau 4 donne la distance entre les appareils de mesure ainsi que leurs altitudes. Poro amont est un peu plus élevé en altitude que Poro aval mais les deux postes ne sont distants que de 1600 m et sont exposés sensiblement de la même manière aux vents dominants (cf. Figure 2).

Tableau 4 : Altitude des stations de mesure et distance entre postes

Distance (m)	Pluvio amont	Pluvio aval	Station amont	Station aval
Pluvio amont		1559	847	1486
Pluvio aval			721	86
Station amont				646
Altitude (m)	455	199	296	199

Cette homogénéité des précipitations se vérifie à l'échelle de la journée et, à de rares exceptions près à l'échelle de l'épisode (Figure 23), même si on observe que les pluies journalières de Poro aval sont légèrement inférieures à celles de Poro amont, situé un peu plus en altitude (199 et 455 m respectivement). Pour la suite de cette étude, en prenant en compte les remarques précédentes, une pluie moyenne, entre le pluviomètre amont et le pluviomètre aval, sera calculée.

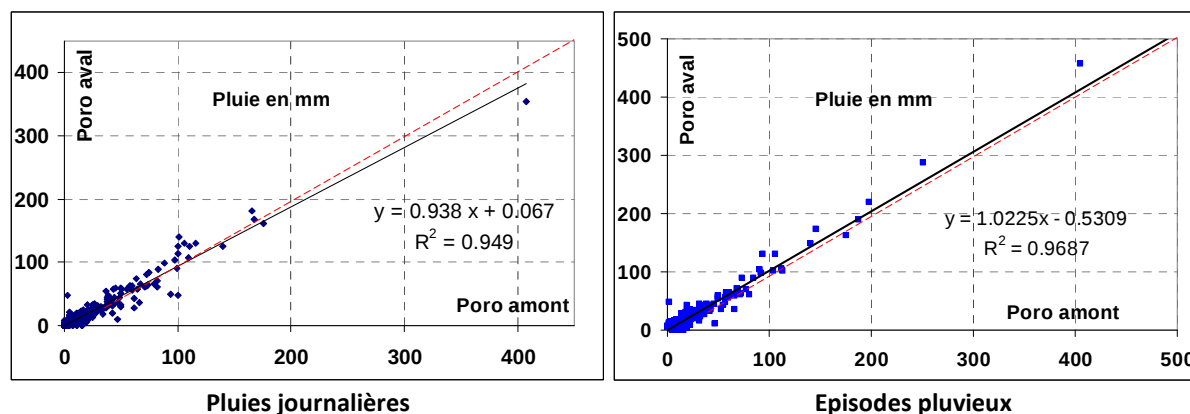


Figure 23 : Comparaison des pluies amont et aval à l'échelle de la journée et de l'épisode pluvieux

Le point extrême de ces graphes correspond à l'épisode de Noël 2011 qui a fait des ravages dans la région de Houaïlou. Cet épisode qui enregistre une précipitation près de deux fois supérieure au cumul le plus fort mesuré jusqu'alors fera l'objet d'une analyse particulière.

La pluviométrie annuelle pour le poste de Houaïlou est 1907 mm. Excepté pour l'année 2010, très déficitaire à Poro comme sur tout le territoire, la pluie moyenne annuelle enregistrée à Poro est supérieure à cette valeur moyenne.

La répartition à l'échelle mensuelle (Figure 24) fait apparaître le contraste entre les deux saisons, cyclonique ou saison de pluies de décembre à mai, saison sèche de juin à novembre. Les moyennes obtenues sur Houaïlou sur la période 1970-2000 par Météo-France, reportées sur ce graphe confirment cette répartition saisonnière. On note une très forte variabilité pour les quatre années d'observation à Poro. Cette forte variabilité peut s'expliquer par la survenue au cours du mois d'un ou deux gros épisodes qui vont modifier très fortement le cumul mensuel. A l'exception de 2011, le mois de décembre est en général peu arrosé. Le fort cumul du mois de décembre 2011 est lié à l'épisode de Noël (407 mm le 24 à Poro amont) mais aussi à un épisode fort de début de mois (72 mm le 6/12), tandis que le fort cumul du mois de février 2009 est dû à trois épisodes pluvieux de plus de 100 mm. Le moi de mai montre une répartition uniforme sur les quatre années de mesure.

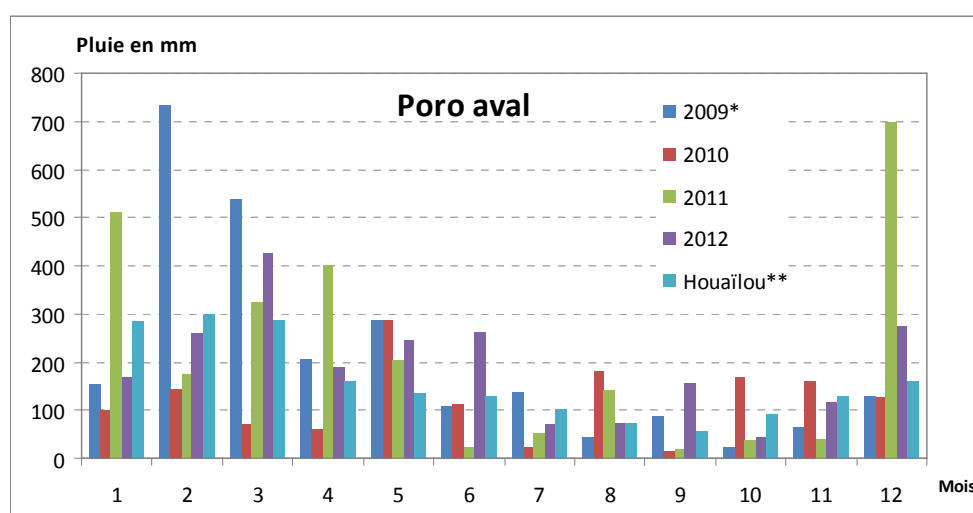


Figure 24 : Répartition mensuelle des précipitations sur les quatre années d'observation

*** Données pluviométriques de Poro Amont ** Moyenne réalisée par Météo France de 1971 à 2000**

Si on exclut l'épisode de décembre 2011, les pluies observées en quatre ans à Poro n'ont rien d'exceptionnel. En utilisant comme référence, les paramètres de Gumbel régionalisés de la DAVAR (Romieux, 2011 et Tableau 3), les périodes de retour du plus fort évènement de Poro amont sont de 2.07 années sur 24 h et 2.55 années sur une heure. L'épisode de décembre 2011 aurait lui une période de retour supérieure à 100 ans (théoriquement 194 et 125 ans respectivement).

3.1.2 Débitmétrie et relation Pluie-débit

Il est hasardeux d'estimer les lames écoulées annuelles des deux bassins versants de Poro car la conception des stations fait que les débits d'étiage sont entachés d'une forte incertitude. Cet effet est moins marquant pour Poro amont car les écoulements y sont généralement nuls en dehors des épisodes pluvieux. A Poro aval à l'inverse, la présence pendant de longues semaines d'un faible écoulement sur lequel les incertitudes sont très fortes perturbe l'estimation des volumes écoulés. Néanmoins, le Tableau 5, tente une estimation des paramètres annuels et saisonniers de la relation pluie-débit, avec les réserves indiquées ci-dessus. On note que l'année 2010, fortement déficitaire en précipitation a ruisselé proportionnellement beaucoup moins que les autres. Les sols généralement secs et les décanteurs vides ont fortement réduit les écoulements. Les lames ruisselées et les coefficients d'écoulement de Poro amont sont exploitables sans trop de réserves. On observe que les

coefficients d'écoulement annuels sont compris entre 0.24 et 0.41 mais qu'ils sont plus élevés pour la saison cyclonique (près de 50%). Les mêmes variables calculées sur les épisodes avec ruissellement (variable R = 1) montrent une cohérence avec les résultats annuels et saisonniers.

Tableau 5 : précipitations (P en mm), lame écoulee (Lr en mm) et coefficients d'écoulement (CE)

		Année complète			Période cyclonique			Episodes ruisselants		
		P	Lr	CE	P	Lr	CE	P	Lr	CE
Amont	2009	2509	1030	0.41	2023	951	0.47	1981	862	0.44
	2010	1509	362	0.24	846	206	0.24	1056	218	0.21
	2011	2153	583	0.27	1797	544	0.30	1555	446	0.29
	2012	2716	1102	0.41	2046	982	0.48	2165	1028	0.47
Aval	2009	2484	1727	0.70	2007	1684	0.84	1494	484	0.32
	2010	1461	208	0.14	800	104	0.13	836	81	0.10
	2011	2064	552	0.27	1745	532	0.30	1507	208	0.14
	2012	2721	1230	0.45	1992	1114	0.56	1762	564	0.32

(rappel : l'année n va de décembre de l'année n-1 à novembre de l'année n)

A l'inverse, pour Poro aval, on observe une grande variabilité sur les coefficients d'écoulement. Les coefficients d'écoulement de crue sont faibles tandis que les coefficients prenant en compte les périodes inter-crues donnent des valeurs élevées. Ces valeurs sont entachées d'une forte incertitude. C'est le cas particulièrement pour l'année 2009, où, du fait du paramétrage des pas d'enregistrements de la sonde, les faibles débits sont particulièrement mal connus et très certainement surévalués. L'incertitude est moindre à Poro amont car le niveau revient rapidement à zéro en fin d'épisode, ce qui limite les périodes de mauvaise connaissance des débits associés à une faible hauteur d'eau.

Cependant, les écoulements retardés qui alimentent les basses eaux à l'aval sont aussi responsables de cette différence entre épisodes ruisselants et année. Des sources alimentent des écoulements qui persistent plusieurs jours, voire plusieurs semaines après les crues. Sur la période d'observation, 48% des jours à l'amont sont des jours de débit non nul tandis que 79% des débits journaliers sont supérieurs à 0 à l'aval.

Les débits maximums observés sont de 3.6 m³/s à l'amont et de 9.2 m³/s à l'aval (le 25/12/2011) soit respectivement **41 et 30 m³/s/km²**. Si on évalue les débits court-circuités à la station aval pour ce même épisode, ces chiffres seraient plutôt de **41 et 46 m³/s/km²**.

Sur le bassin voisin de Houailou, beaucoup plus grand (166 km²), de tels débits spécifiques correspondent à des périodes de retour très grandes (> 100 ans). Si on norme les valeurs non plus par la surface mais par la surface à la puissance 0.75 (DAVAR, 2006), la période de retour resterait élevée (50 ans). En fait, il est quasiment impossible d'utiliser les synthèses hydrologiques de la Nouvelle-Calédonie pour ce type de bassin car aucun bassin observé sur une longue durée n'est dans la gamme de surface appropriée. C'est d'ailleurs ce qui justifie l'instrumentation des petits bassins versants dans le projet Hydromine et dans le projet CNRT "fonctionnement des petits bassins versants miniers".

3.2 Catalogue des épisodes (couples averse-crue)

3.2.1 Paramètres principaux décrivant les épisodes

Sur la période décembre 2008 à fin juin 2012, 325 épisodes pluvieux ont été recensés selon les critères définis au paragraphe 2.3.1.1. Les averses décrites dans ces épisodes ont provoqué un ruissellement (variable R = 1) pour 208 d'entre eux à l'amont et 133 à l'aval, cet effectif devient respectivement 261 et 168, si on inclut les épisodes pour lesquels une faible réaction (légère augmentation de la hauteur mesurée, R = 2) est détectable, sans être une véritable "crue". Pour 64

averses à l'amont et 157 à l'aval, on ne note aucune réaction dans la section de mesure.

Le catalogue PQ est fourni sous forme de fichier Excel en annexe numérique de ce rapport.

Le Tableau 6 résume les caractéristiques d'intensités maximales observées pour les épisodes recensés.

Tableau 6 : intensités maximales caractéristiques des épisodes répertoriés

I _{max} (mm/h)	Pluie (mm)	effectif	AMONT				AVAL			
			Min	Médiane	Moyenne	Max	Min	Médiane	Moyenne	Max
I _{max6}	< 20	232	0	20	23	95	0	15	21	90
	[20-85]	78	5	45	50	130	5	45	53	135
	> 85	15	10	75	84	190	10	95	92	195
	Tout	325	0	25	32	190	0	25	32	195
I _{max15}	< 20	232	0	12	15	60	0	12	14	60
	[20-85]	78	4	32	37	94	8	33	39	112
	> 85	15	10	58	66	186	8	72	73	178
	Tout	325	0	16	23	186	0	16	23	178
I _{max60}	< 20	232	0	5	6	22	0	5	6	25
	[20-85]	78	3	16	18	45	3	16	19	68
	> 85	15	8	29	37	115	9	35	41	116
	Tout	325	0	7	10	115	0	7	10	116
I _{max120}	< 20	232	0	3	4	11	0	3	3	12
	[20-85]	78	1	10	11	32	3	10	12	40
	> 85	15	7	21	28	96	8	26	30	94
	Tout	325	0	5	7	96	0	4	7	94
I _{max1440}	< 20	232	0	0	0	1	0	0	0	1
	[20-85]	78	0	1	2	3	0	1	2	4
	> 85	15	4	5	6	21	3	6	6	20
	Tout	325	0	1	1	21	0	0	1	20

Cette synthèse sur les intensités maximales confirme la faible variabilité des précipitations entre les deux postes et légitime le recours à la pluie moyenne pour les variables de cumul ou aux intensités maximales d'un seul des deux postes pour les variables d'intensité. On note que les intensités maximales enregistrées au cours des épisodes supérieurs à 85 mm sont nettement plus élevées que pour les épisodes plus faibles, dans un rapport de 2 ou plus. Ceci se vérifie même pour les pas de temps courts inférieurs à 1 h (I_{max6} et I_{max15}).

Le Tableau 7 rassemble les informations sur un certain nombre de paramètres descripteurs des épisodes, tant en précipitation qu'en débit. Les résultats sont donnés pour la totalité de l'échantillon (valeurs en rouge) et pour les épisodes classés par importance de la précipitation incidente (voir 3.2.2 pour la définition des classes). Les variables ont été définies au paragraphe 2.3.1 et le Tableau 36 en annexe 6 rappelle définition, abréviation et unités de ces variables.

Comme indiqué plus haut, on note des lames ruisselées et des débits spécifiques de pointe plus élevés pour Poro amont que pour Poro aval. Les débits de pointe des épisodes supérieurs à 85 mm, sont nettement supérieurs à ceux des épisodes de cumul moins élevé, dans un rapport de 5 à 10 pour la médiane, dans un rapport de 3 environ pour le maximum. Il y a donc une différence nette de comportement entre ces deux catégories. Il a donc semblé nécessaire de séparer les épisodes en classes selon le niveau de la précipitation incidente.

Tableau 7 : caractéristique des épisodes 2009-2012.

Paramètre	Pluie moyenne (mm)	Effectif	AMONT				Effectif	AVAL			
			Min	Médiane	Moyenne	Max		Min	Médiane	Moyenne	Max
Pluie (mm)	< 20	232	0	8	9	22	232	0	8	9	25
	[20-85]	78	3	32	37	81	78	10	32	36	90
	> 85	15	85	113	160	510	15	90	131	168	476
	Tout	325	0	11	23	510	325	0	11	23	476
Dp (min)	< 20	232	5	172	211	888	232	4	169	208	912
	[20-85]	78	37	384	500	1983	78	39	408	491	1979
	> 85	15	355	1402	1451	2879	15	316	1220	1417	2750
	Tout	325	5	216	337	2879	325	4	218	331	2750
ts (h)	< 20	232	1.1	32	97	1157	232	0.7	33	97	1157
	[20-85]	78	0.7	23	66	553	78	0.0	22	66	553
	> 85	15	0.9	41	67	255	15	0.9	41	67	255
	Tout	325	0.7	31	88	1157	325	0.0	32	88	1157
Ts (h)	< 20	230	1.1	48	198	2439	222	0.7	96	357	2441
	[20-85]	78	0.7	44	150	2489	76	0.0	56	309	2490
	> 85	15	0.9	41	98	543	15	2.2	100	361	1969
	Tout	323	0.7	46	181	2489	313	0.0	85	346	2490
Dq (min)	< 20	160	0	95	186	1985	70	0	0	53	720
	[20-85]	77	40	309	415	1635	69	0	219	282	1340
	> 85	15	320	1200	1271	2755	15	380	935	1052	2320
	Tout	252	0	180	292	2755	154	0	0	155	2320
t0 (min)	< 20	160	0	35	73	454	70	-122	35	79	468
	[20-85]	77	0	74	149	1154	69	-92	90	181	1172
	> 85	15	19	182	243	836	15	26	180	396	1637
	Tout	252	0	54	106	1154	154	-122	84	156	1637
P0 (mm)	< 20	160	0	2	2	13	70	0	2	3	17
	[20-85]	77	0	3	5	37	69	0	8	10	32
	> 85	15	0	8	11	31	15	2	15	21	79
	Tout	252	0	2	4	37	154	0	5	8	79
Lr (mm)	< 20	160	0	0.6	1.4	11.7	70	0	0.6	1.2	7.1
	[20-85]	77	0.1	5.4	9.8	58.2	69	0.1	3.8	5.3	40.2
	> 85	15	17.0	76.6	101.1	398.6	15	2.6	35.4	56.7	268.5
	Tout	252	0	1.2	9.9	398.6	154	0	1.7	8.4	268.5
Qmax (l/s)	< 20	160	4	11	27	409	70	2	28	79	463
	[20-85]	77	5	97	212	1279	69	9	210	349	1854
	> 85	15	53	998	1075	3652	15	63	1104	1856	9240
	Tout	252	4	16	146	3652	154	2	94	373	9240
Qs (l/s/ha)	< 20	160	0	1	3	45	70	0	1	3	15
	[20-85]	77	1	11	24	142	69	0	7	11	61
	> 85	15	6	111	119	406	15	2	36	61	304
	Tout	252	0.4	2	16	406	154	0	3	12	304

3.2.2 Critères de séparation faibles/moyens/forts

Définir des seuils pour répartir les épisodes en classes n'est pas chose simple. Un premier seuil de 5 mm avait été adopté pour recenser un épisode pluvieux. Le projet Hydromine s'intéresse principalement à la caractérisation des épisodes extrêmes. Cependant, la compréhension du fonctionnement hydrologique des bassins versants nécessite qu'on s'intéresse également aux épisodes faibles ou moyens, par exemple pour détecter des seuils de ruissellement. On choisit donc de découper les épisodes figurant au catalogue en trois catégories : faible, moyen et fort.

Les épisodes faibles ne seront pas analysés en détail. Par contre, les épisodes moyens et intenses feront l'objet d'une analyse plus poussée et notamment d'une quantification des flux de matières en suspension. Il est par ailleurs nécessaire de séparer les épisodes moyens et forts afin de mettre en évidence une éventuelle différence de comportement des bassins dans ces deux types de situation. De plus, les épisodes forts sont ceux pour lesquels les aménagements de gestion des eaux sur mine doivent être dimensionnés.

La pluie servira de critère de définition entre les catégories d'épisodes. C'est est un paramètre simple, et d'accès aisé. Les limites de catégorie à l'aide du critère doivent permettre de conserver pour l'analyse les épisodes ayant ruisselé et plus particulièrement les épisodes ayant fait l'objet de prélèvements sur au moins un des deux bassins versants. Mais, la complexité des réponses des bassins versants rend difficile le choix des seuils : des épisodes inférieurs au seuil peuvent avoir donné un ruissellement important ou des charges en suspension élevées, tandis que des épisodes supérieurs au seuil peuvent avoir engendré des réactions insignifiantes. Le choix final sera donc un compromis. Cette sélection a été établie sur l'échantillon 2009-2011 (266 épisodes) et a été conservé

pour l'analyse finale (325épisodes).

Pour choisir les seuils appropriés, on a recherché les caractéristiques statistiques des cumuls de pluie des épisodes selon différents critères de classification :

- Evènement ayant ruisselé ou non (catégorie de ruissellement R = 0, 1 ou 2, cf 2.3.1.2)
- Evènement inférieur au seuil d'échantillonnage
- Evènement supérieur au seuil d'échantillonnage ayant fait l'objet de prélèvement
- Evènement supérieur au seuil d'échantillonnage qui n'a pas été échantillonné

Le Tableau 8 et le Tableau 9 présentent ces statistiques pour Poro amont et Poro aval (2009-2011).

Tableau 8 : Caractéristiques des cumuls de pluie amont par catégorie de ruissellement pour Poro amont (2009-2011)

Catégorie ruissellement	Qmax>seuil de prélèvement	Prélèvement	Effectif	%	en mm					
					Min	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max
0	NON	NON	17	6%	0,5	3	4,5	4,9	5	9,8
1	OUI	OUI	30	11%	19,5	28,3	47,5	62,4	70,3	269
		NON	53	20%	3,5	13	19,5	28,7	28,5	176
	NON		100	38%	1,5	5,9	8,5	11	13,6	41,5
2	OUI	NON	3	1%	6	11,3	16,5	16,3	21,5	26,5
	NON		63	24%	0	2,3	5	5,3	6,3	26

Tableau 9 : Caractéristiques des cumuls de pluie aval par catégorie de ruissellement pour Poro aval (2009-2011)

Catégorie ruissellement	Qmax>seuil de prélèvement	Prélèvement	Effectif	%	en mm					
					Min	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max
0	NON	NON	149	56%	0	3	6,5	7,2	10	34,5
1	OUI	OUI	30	11%	19	31	51,5	65,7	69,5	287
		NON	17	6%	0,5	17	30,5	51,2	62	188,5
	NON		52	20%	0	7,9	12,3	14,4	18,4	41
2	OUI	OUI	3	1%	15,5	21	26,5	23,5	27,5	28,5
	NON	NON	10	4%	4	5,6	7,8	13,3	22,9	28,5
			5	2%	3,5	4	7	9,3	15,5	16,5

Pour n'inclure dans les épisodes moyens et forts du catalogue aucun épisode n'ayant pas ruisselé (catégorie ruissellement 0), il faudrait retenir un seuil de pluie de 10 mm à l'amont et 35 mm à l'aval. A l'amont, ce seuil de 10 mm n'exclurait aucun épisode avec prélèvement mais il exclurait certains épisodes qui ont dépassé le seuil théorique de prélèvements. A l'aval, le seuil de 35 mm exclurait beaucoup d'épisodes ayant ruisselé et ayant été prélevés. De plus, on souhaite retenir un seuil commun sur les précipitations pour les deux stations. Le seuil finalement choisi de 20 mm est un bon compromis et seuls deux évènements de catégorie 2 dépassent ce seuil. Ce seuil permet de conserver plus de 75% des évènements ayant été prélevés.

Malgré la faible hétérogénéité des pluies généralement observées, certains épisodes se classent dans des catégories différentes selon les deux pluviomètres. Le choix ayant été fait de travailler avec une pluie moyenne, l'application du seuil de 20 mm à la pluie moyenne conduit à retenir 67 épisodes. Parmi eux, 4 épisodes amont (dont un à 2,5 mm) et 5 épisodes aval (dont un de 10 mm) sont, pris isolément, inférieurs au seuil de 20 mm et correspondent donc à des épisodes pour lesquels la variabilité spatiale a été plus forte.

C'est l'examen des relations précipitation débit qui a prévalu pour fixer le seuil entre épisodes moyens et forts. En effet, on observe une différence du comportement de ruissellement aux alentours de 85 mm. Au final, les seuils retenus seront 20 et 85 mm. La répartition des épisodes est donc la suivante (2009-2012) :

- Pluie comprise dans l'intervalle [0 ; 20 mm [: 232 épisodes
- Pluie comprise dans l'intervalle [20 ; 85 mm [: 78 épisodes
- Pluie comprise dans l'intervalle [85 mm ; + ∞ [: 15 épisodes

3.2.3 Formation du ruissellement

Plusieurs paramètres définis au chapitre 2.3.1 permettent d'analyser la réponse des bassins à un épisode pluvieux et les conditions de formation du ruissellement, notamment la variable de classe R, les variables de temps secs t_s et T_s , l'indice des précipitations antérieures IPA.

La variable de classe R a été définie au paragraphe 2.3.1.2. Pour améliorer la compréhension des tableaux de résultat et autoriser une représentation graphique, la dénomination de la catégorie 2 (réaction observable mais faible augmentation du débit) a été remplacée par 0.5.

Le Tableau 10 présente la répartition par mois des épisodes dans chaque classe de ruissellement R ainsi que les pourcentages d'épisodes du mois dans chacune des classes. Il prend en compte tous les épisodes de plus de 5 mm de pluie sur au moins un des deux pluviomètres entre janvier 2009 et le 12 juin 2012 compris.

La saison des pluies (ou cyclonique) regroupe les $\frac{3}{4}$ des épisodes pluvieux. Le mois de mars est le mois qui compte le plus grand nombre d'épisode pluvieux ruisselant à l'amont comme à l'aval. Le mois d'octobre est celui qui en compte le moins. On constate qu'entre décembre et mai, 70% des épisodes à l'amont et 48% à l'aval produisent une réponse de crue à une averse de plus de 5 mm. En saison sèche, les épisodes sont beaucoup moins nombreux et seulement 45% à l'amont et 19% à l'aval d'entre eux provoquent une réponse mesurable dans les stations.

La Figure 25 représente la répartition des temps secs (T_s) des épisodes de chaque catégorie de ruissellement. A l'amont, la majorité des épisodes ruisselants présentent des T_s inférieurs à 20 jours mais certains épisodes avec des temps secs de moins de 10 jours ne montrent pas de ruissellement. A Poro aval, on observe une plus faible proportion d'épisodes ruisselants mais quelques-uns ruissellent après des temps secs très longs. Pour analyser plus précisément les conditions d'apparition du ruissellement, il faut faire intervenir la hauteur de pluie et les précipitations antérieures qui, sans donner de ruissellement, ont pu humecter les sols.

Tableau 10 : Répartition des épisodes par classe de ruissellement, par mois, par année, par saison

Tableau 26 : Répartition des épisodes par classe de violence/menace, par mois, par année, par saison																	
Amont		Nombre d'épisodes							Aval		Nombre d'épisodes						
mois		R = 0		R = 0.5		R = 1		Total		R = 0		R = 0.5		R = 1		Total	
1		10	19%	6	11%	38	70%	54		27	50%	4	7%	23	43%	54	
2		6	13%	12	25%	30	63%	48		20	42%	2	4%	26	54%	48	
3		7	12%	8	14%	43	74%	58		15	26%	12	21%	31	53%	58	
4		5	14%	4	11%	28	76%	37		16	43%	7	19%	14	38%	37	
5		3	12%	5	19%	18	69%	26		9	35%	3	12%	14	54%	26	
6		5	26%	4	21%	10	53%	19		12	63%	2	11%	5	26%	19	
7		2	25%	3	38%	3	38%	8		5	63%	0	0%	3	38%	8	
8		4	44%	1	11%	4	44%	9		6	67%	0	0%	3	33%	9	
9		2	29%	2	29%	3	43%	7		6	86%	0	0%	1	14%	7	
10		8	50%	2	13%	6	38%	16		16	100%	0	0%	0	0%	16	
11		9	47%	1	5%	9	47%	19		14	74%	2	11%	3	16%	19	

12	3	13%	5	21%	16	67%	24	11	46%	3	13%	10	42%	24
Total	64	20%	53	16%	208	64%	325	157	48%	35	11%	133	41%	325
Saison pluie	34	14%	40	16%	173	70%	247	98	40%	31	13%	118	48%	247
Saison sèche	30	38%	13	17%	35	45%	78	59	76%	4	5%	15	19%	78

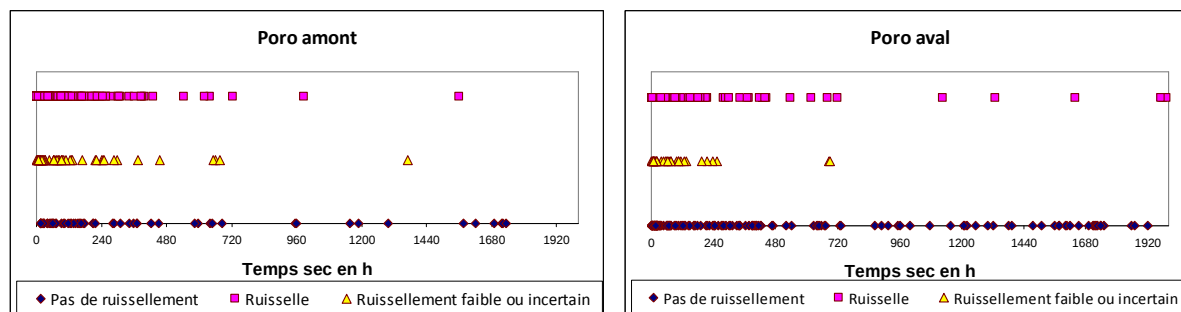


Figure 25 : répartition par classe de ruissellement en fonction de la durée de temps sec Ts

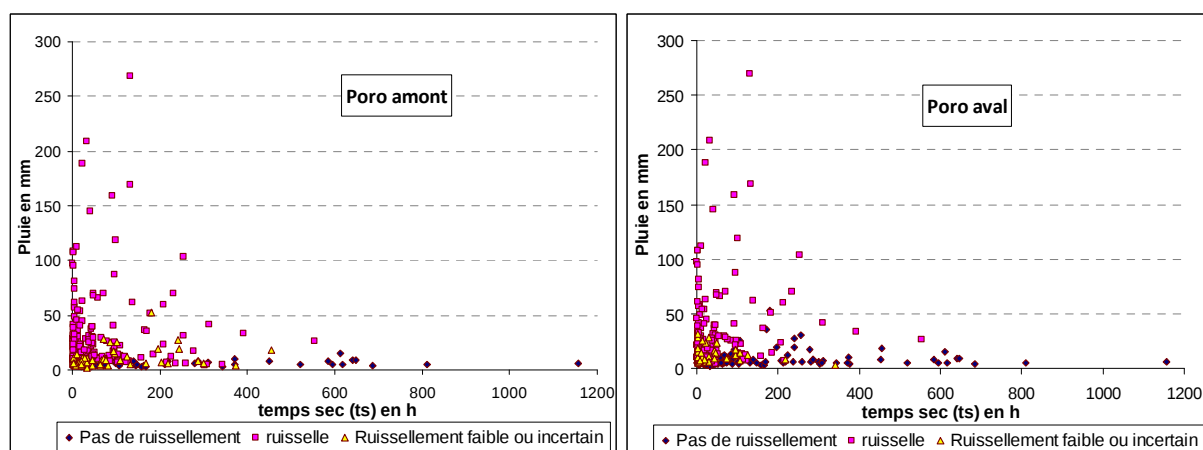
De manière classique, une courbe de "pluie limite" a été recherchée. Il s'agit de déterminer un seuil de pluie, variable en fonction de la durée du temps sec, au-delà duquel on observe toujours un ruissellement. Pour ces analyses, l'épisode du 24 décembre 2011 a été exclu car il était trop atypique et perturbait la lecture des graphiques. La Figure 26 regroupe ces graphes pour les deux stations et la seconde ligne est un zoom sur les Ts inférieurs à 600 h et les pluies inférieures à 80 mm.

A **Poro amont**, toute pluie supérieure à 15 mm provoque une réponse de type R = 1 ou 2. A partir de 55 mm tous les épisodes ont un R de 1. On note cependant qu'un épisode de plus de 50 mm (n° 239) ne provoque qu'une réaction minimale, après un temps sec ts de 180 h. Depuis le dernier épisode ruisselant, le temps sec Ts est de 1370 h (57 jours) et il s'agit d'un épisode très long et d'intensité très faible. La prise en compte de la durée et de l'intensité semble importante pour analyser la répartition en catégorie de ruissellement.

A **Poro aval**, si le temps sec est supérieur à 200 h, aucune pluie de moins de 20 mm ne provoque de ruissellement notable. Au dessus de 35 mm, toutes les pluies ont une réaction de type 1, excepté l'épisode 239, déjà mentionné.

La "pluie limite" pourrait donc s'établir à 15-20 mm, mais aucune courbe simple ne permet de discriminer les deux nuages de point sur ces seuls critères ts et P.

Pour prendre en compte, l'importance des pluies antérieures ou de la durée, l'utilisation de la somme Pluie+IPA et de l'intensité a été tentée (Figure 27), sans amélioration de la discrimination.



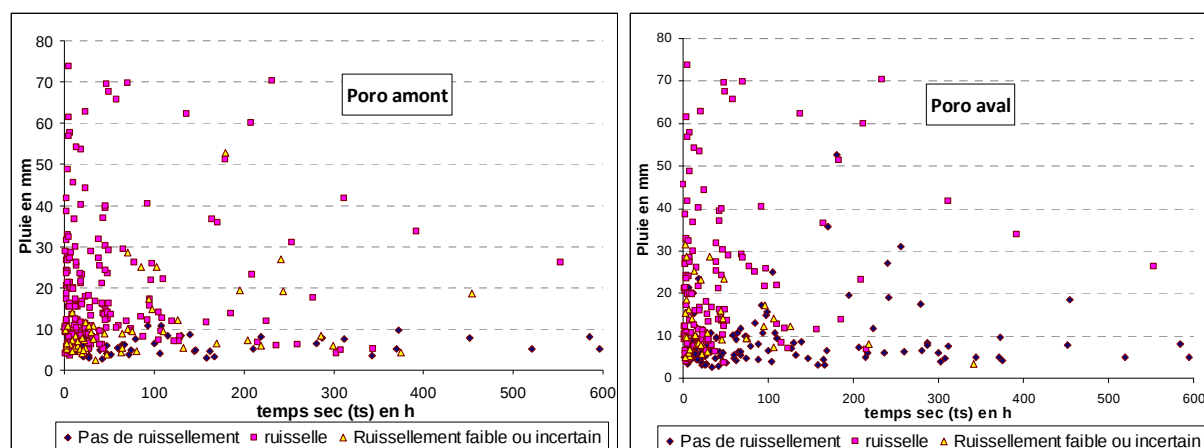


Figure 26 : classe de ruissellement en fonction du temps sec ts et de la pluie

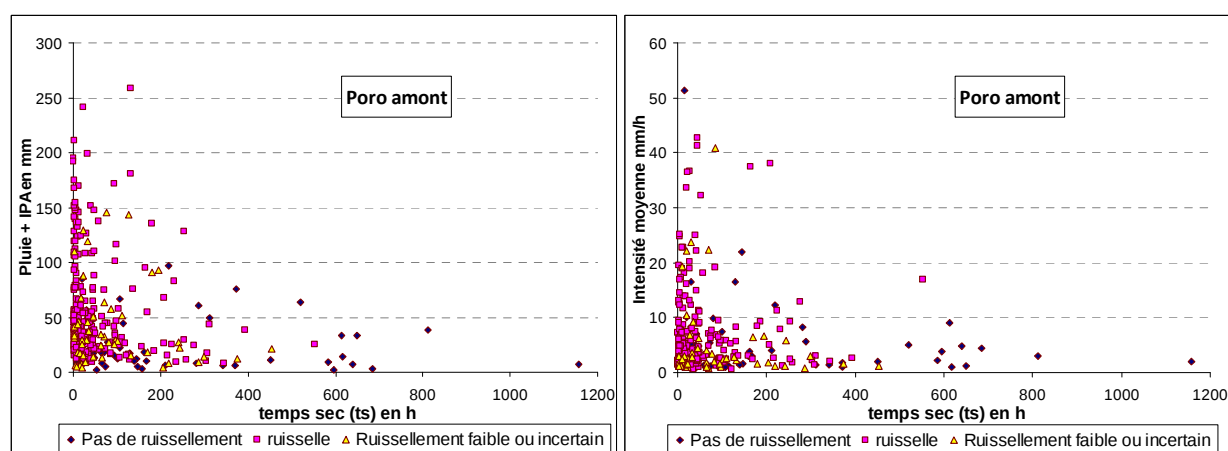


Figure 27 : classe de ruissellement en fonction de ts et P+IPA ou de ts et l'intensité moyenne

3.3 Matrice de corrélation

Pour tous les épisodes répertoriés, un grand nombre de paramètres décrivant la relation pluie-débit, l'état initial des bassins, etc.... ont été déterminés (cf paragraphe 2.3.1). Afin de dégrossir l'analyse des liaisons entre paramètres de forçage et réponse hydrologique, différentes matrices de corrélation ont été établies pour les deux bassins étudiés. Dans cet ensemble d'épisodes, l'épisode de décembre 2011 joue un rôle très particulier puisqu'il est sur de nombreux paramètres bien plus fort que l'ensemble des autres épisodes. Il a donc tendance à "tirer" les corrélations et il nous a semblé pertinent d'examiner les corrélations avec et sans cet épisode. Dans la suite de l'analyse, cet épisode (n° 261) sera généralement exclu et on viendra a posteriori le situer sur les tendances observées sur les épisodes ordinaires.

L'essentiel de ces corrélations est présenté en Annexe 8. Le Tableau 11 présente quelques résultats pour les paramètres hydrologiques de **Poro amont**. On observe que le temps initial t_0 est corrélé négativement avec le temps sec t_s et l'indice des pluies antérieures IPA mais avec des coefficients faibles et non significatifs. **La pluie et surtout la fraction intense des précipitations (htot15) sont les variables qui expliquent le mieux le débit de pointe.** La prépondérance de ces facteurs a également été observée sur de petits bassins versants, anthropisés ou non, de l'île de Tahiti (Wotling, 2000).

La sensibilité des résultats de corrélation à l'échantillonnage a été testée, non seulement en excluant l'épisode 261 mais en répartissant les épisodes en 4 catégories de conditions initiales (4 classes d'IPA). Les tableaux récapitulatifs de l'Annexe 8 synthétisent ces tests.

C'est surtout l'inclusion ou non de l'épisode 261 qui influe sur les valeurs de coefficients de

corrélation. Par exemple, le coefficient de corrélation de Qmax avec la variable pluie tombe de 0.86 à 0.77 quand on retire cet épisode. De même, la corrélation entre la lame ruisselée Lr et la fraction intense des précipitations (htot15), diminue de 0.93 à 0.83. La corrélation entre Lr et la pluie est du même ordre de grandeur (0.95) mais est moins affectée par l'épisode 261 (0.91).

On constate de légères différences selon les catégories d'IPA, mais ces différences restent minimes.

Le Tableau 12 regroupe les mêmes variables pour **Poro aval**, épisode 261 exclu cette fois. On observe des tendances similaires à Poro amont et Poro aval. On note néanmoins qu'à Poro aval, la pluie initiale Po est mieux corrélée à la pluie totale (ou mieux à l'intensité maximale en 24 h). Pour cette relation, la corrélation s'améliore en excluant l'épisode 261 (0.69 contre 0.56, cf Annexe 8)

Tableau 11 : Matrice de corrélation pour quelques paramètres hydrologiques (Poro amont, épisode 261 inclus)

	Pluie	ts	IPA	Imax06	Imax60	htot15	t0	Po	Lr	CE	Qmax
Pluie	1.00	-0.05	-0.01	0.61	0.80	0.94	0.35	0.57	0.95	0.50	0.86
ts		1.00	-0.18	-0.09	-0.09	-0.05	-0.07	-0.07	-0.07	-0.25	-0.11
IPA			1.00	0.08	0.07	0.00	-0.05	0.00	0.01	0.22	0.06
Imax06				1.00	0.84	0.67	0.16	0.46	0.51	0.35	0.62
Imax60					1.00	0.85	0.24	0.51	0.71	0.46	0.83
htot15						1.00	0.23	0.47	0.93	0.43	0.89
t0							1.00	0.71	0.24	0.23	0.27
Po								1.00	0.44	0.29	0.46
Lr									1.00	0.55	0.89
CE										1.00	0.64
Qmax											1.00

Tableau 12 : Matrice de corrélation pour quelques paramètres hydrologiques (Poro aval, épisode 261 exclu)

	Pluie	ts	IPA	Imax06	Imax60	htot15	t0	Po	Lr	CE	Qmax
Pluie	1.00	-0.06	0.01	0.62	0.73	0.93	0.54	0.69	0.87	0.45	0.75
ts		1.00	-0.19	-0.12	-0.10	-0.09	-0.08	-0.04	-0.09	-0.21	-0.11
IPA			1.00	0.05	0.06	0.02	-0.03	-0.04	0.07	0.25	0.09
Imax06				1.00	0.89	0.77	0.25	0.43	0.45	0.40	0.71
Imax60					1.00	0.86	0.35	0.52	0.54	0.42	0.83
htot15						1.00	0.40	0.58	0.79	0.46	0.85
t0							1.00	0.81	0.53	0.31	0.38
Po								1.00	0.61	0.31	0.42
Lr									1.00	0.58	0.69
CE										1.00	0.53
Qmax											1.00

3.4 Lames écoulées et coefficients d'écoulement

Pour chaque épisode du catalogue, le volume écoulé a été calculé en intégrant le débit entre le début et la fin de la crue générée (cf 2.3.1.2). La lame écoulée est obtenue en divisant ce volume par la superficie drainée (en projection horizontale). Ce choix de calcul permet de comparer dans les mêmes unités pluie incidente et lame écoulée.

Lorsqu'on reporte les lames écoulées en fonction de la pluie pour Poro amont (Figure 28), on observe que la relation obtenue est fortement influencée par l'épisode 261 du 24 décembre 2011. Les ajustements linéaires ont été réalisés et sont de bonne qualité pour la totalité des épisodes (courbe et équation en bleu) ou pour les épisodes sauf le 261 (courbe et équation en rose). Si on assimile la pente de la droite de régression à un coefficient d'écoulement moyen, ces deux ajustements donnent une fourchette de 0.55 à 0.67 pour ce CE moyen.

Les points sont beaucoup plus dispersés pour les faibles valeurs de pluie incidente (en orange),

aboutissant à un CE moyen plus faible (0.37). Si on retire les précipitations faibles, inférieures à 20 mm, on améliore les relations obtenues on obtient des valeurs de CE moyen plus fortes, 0.75 ou 0.63 selon que l'on inclut ou non l'épisode 261. Le graphe correspondant est donné en annexe 9 (Figure 90). A l'inverse, si on s'intéresse aux seuls épisodes forts de pluie moyenne supérieure à 85 mm, le coefficient d'écoulement moyen CE s'élève à 0.8 (courbe et équation en vert) mais ce résultat est fortement "tiré" par l'épisode 261. Si on l'exclut, pour les 14 épisodes de pluie comprise entre 85 et 270 mm, le CE moyen est de 0.52.

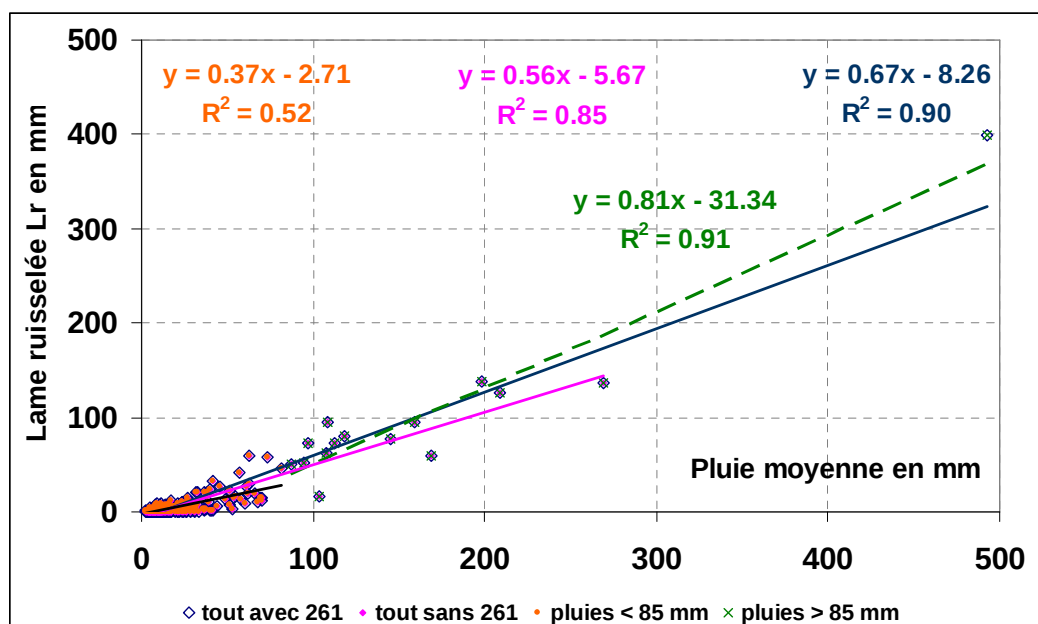


Figure 28 : Relation lame ruisselée / pluie à Poro amont

La même analyse conduite à Poro aval aboutit à des coefficients d'écoulement beaucoup plus faibles, même si on inclut l'épisode 261 (Figure 29). Ecarter les épisodes inférieurs à 20 mm, conduit à des CE légèrement plus élevés (0.45 sans 261 et 0.50 avec).

Les relations représentées sur ces graphes peuvent être mises sous la forme

$$Lr = Ce \times (pluie - pertes\ initiales)$$

Ces résultats sont résumés dans le Tableau 13, qui présente les résultats avec ou sans l'épisode 261.

Comme le montrent les figures, la prise en compte de l'épisode 261 redresse fortement les pentes mais corrélativement augmente les valeurs de pertes initiales dans des proportions qui ne sont pas cohérentes avec les observations de terrain. On constate que des précipitations de l'ordre de 10 à 15 mm provoquent fréquemment un ruissellement. Admettre des pertes initiales de plus de 30 mm n'est donc pas compatible avec le fonctionnement connu du bassin versant.

Tableau 13 : paramètres du modèle $Lr = Ce \times (pluie - pertes\ initiales)$

	Poro amont		Poro aval	
	CE moyen	Pertes initiales en mm	CE moyen	Pertes initiales en mm
Tous épisodes	0.67	12.3	0.47	18.2
Tous sans 261	0.56	10.1	0.41	16.9
Pluie > 85 mm	0.81	38.7	0.59	63.4
Pluie > 85 mm sans 261	0.52	14.3	0.55	57.3

L'effet de l'état initial d'humectation du bassin a été testé en faisant intervenir l'indice des précipitations antérieures. On observe sur la Figure 30, qu'à condition d'exclure l'épisode 261, le CE moyen croît avec l'indice des pluies antérieures.

A Poro aval, les résultats ont également été catégorisés en fonction de l'indice des pluies antérieures

(Figure en Annexe 9). On observe un coefficient d'écoulement légèrement supérieur pour les IPA supérieurs à 60 mm relativement aux IPA inférieurs à 10 mais, dans les classes intermédiaires, les résultats sont dispersés.

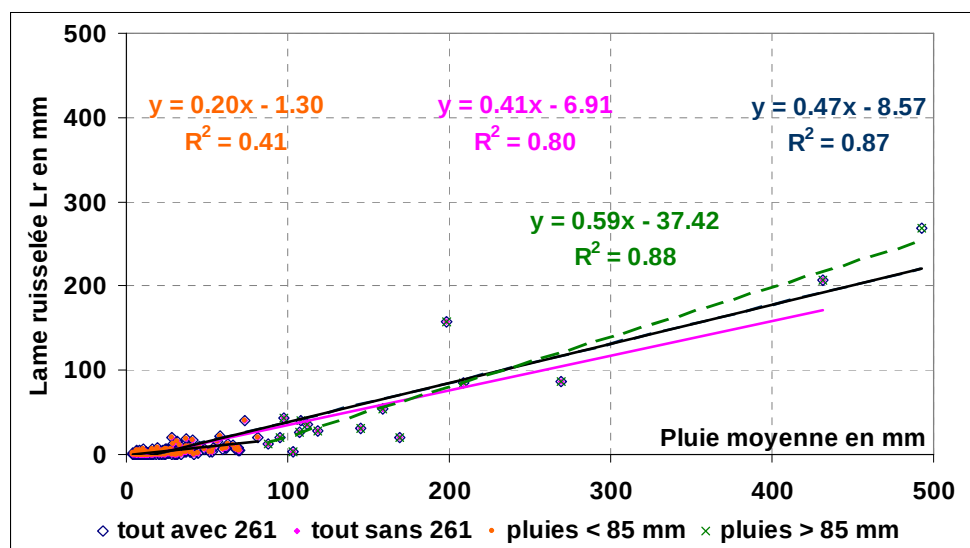


Figure 29 : Relation lame ruisselée / pluie à Poro aval

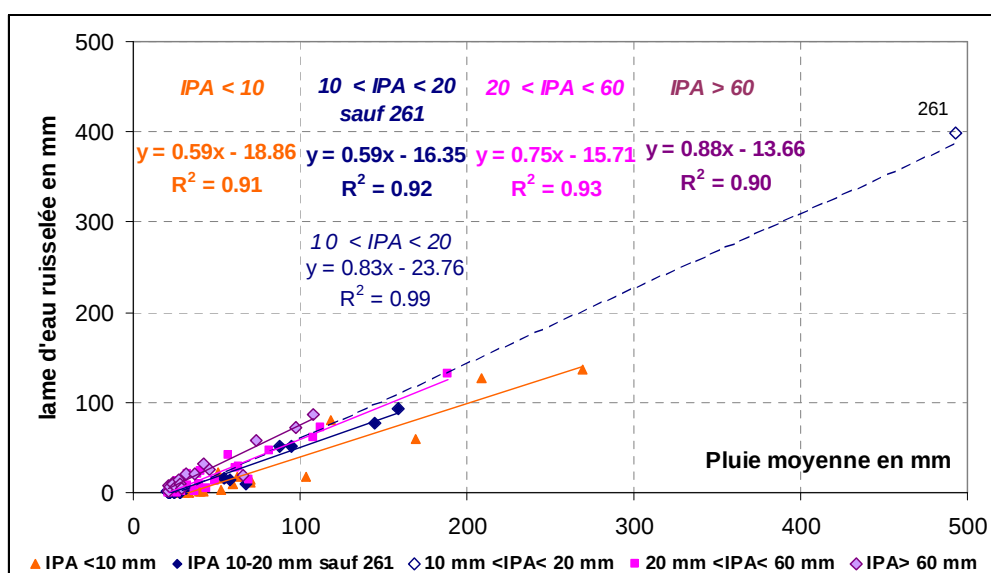


Figure 30 : Relation précipitation ruissellement en fonction de l'indice des pluies antérieures (Poro amont)

Si on met à nouveau les relations obtenues sous la forme $y = a(x-b)$ en assimilant b aux pertes initiales, on obtient les valeurs résumées dans le Tableau 14 qui mettent en évidence une diminution des pertes initiales quand le sol est plus humecté.

Tableau 14 : Estimation des coefficients d'écoulement et pertes initiales en fonction de l'IPA

Classe IPA	Poro amont		Poro aval	
	CE moyen	Pertes initiales en mm	CE moyen	Pertes initiales en mm
IPA < 10 mm	0.59	32.0	0.31	35.2
10 < IPA < 20 mm sans 261	0.59	27.7	0.36	29.5
20 < IPA < 60 mm	0.75	20.9	0.51	26.4
IPA > 60 mm	0.88	15.5	0.44	14.3

La Figure 31 montre qu'il est difficile de trouver une relation entre la lame ruisselée et le cumul Pluie+IPA, sauf pour les fortes valeurs qui montrent une dispersion moins grande dans les réponses.

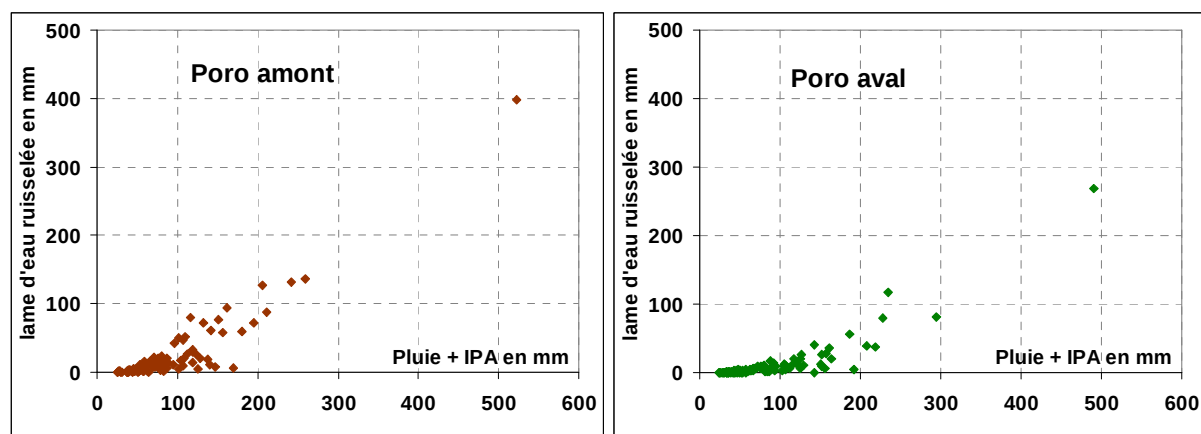


Figure 31 : Relation lame écoulee en fonction de la somme pluie + IPA

On a résumé dans le Tableau 15 les valeurs obtenues si on essaye d'exprimer la lame écoulee sous la forme :

$$\text{Lame écoulee} = \text{Coefficient} \times (\text{Pluie} + \text{IPA} - \text{pertes initiales})$$

On retrouve, comme précédemment, des résultats plus nets pour Poro amont que pour Poro aval. Les coefficients d'écoulement ainsi obtenus sont toujours fortement "tirés" par l'épisode 261. Les coefficients globaux pour Poro amont s'abaissent de 0.67 à 0.51 si on exclut cet épisode. Sur l'échantillon des fortes précipitations (> 85 mm), le coefficient d'écoulement atteint 80% si on prend en compte le plus fort épisode tandis qu'il reste à 55% dans le cas contraire. Les valeurs trouvées sur les pertes initiales qui ne montrent pas de cohérence hydrologique nous conduisent à ne pas retenir ce modèle. A Poro aval, le coefficient d'écoulement plafonne à 64 % (tous épisodes > 85 mm) et s'abaisse à 46 % si on exclut des épisodes forts l'épisode exceptionnel, confirmant le fait que l'épisode majeur de décembre 2011 "tire" les relations écoulement/pluie incidente.

Tableau 15 : paramètres d'écoulement prenant en compte les IPA

Echantillon	Poro amont		Poro aval	
	Coefficient moyen	Pertes initiales en mm	Coefficient moyen	Pertes initiales en mm
Tout	0.67	54.0	0.41	59.2
tout sans 261	0.51	45.6	0.27	50.1
Pluie < 85 mm	0.20	25.6	0.09	23.9
Pluie > 85 mm	0.81	62.5	0.64	106.9
Pluie > 85mm sans 261	0.55	19.3	0.46	86.4

L'obtention permanente de coefficients d'écoulement plus faibles à Poro aval peut s'expliquer par un fonctionnement hydrologique différent : le bassin versant est plus végétalisé, des pertes par infiltration dans un "pseudo-karst" peuvent s'y produire, les bassins de rétention, pour des volumes écoulés modérés à faibles peuvent diminuer le volume total. Cependant, la persistance de cet écart pour les très forts épisodes alimente le doute sur la capacité de la station aval à capter la totalité des écoulements de crue du bassin versant. Ce questionnement sera particulièrement être discuté pour la crue du 24 décembre 2011 (cf 5).

De nombreuses autres tentatives ont été faites pour juger de l'incidence des pluies antérieures sur les caractéristiques des écoulements (débit de pointe, pertes initiales, etc...) sans que des résultats probants soient observés. La Figure 32 par exemple montre qu'à Poro amont la prise en compte de l'IPA n'améliore pas la relation entre débit de pointe et pluie incidente et qu'elle ajoute même une certaine dispersion.

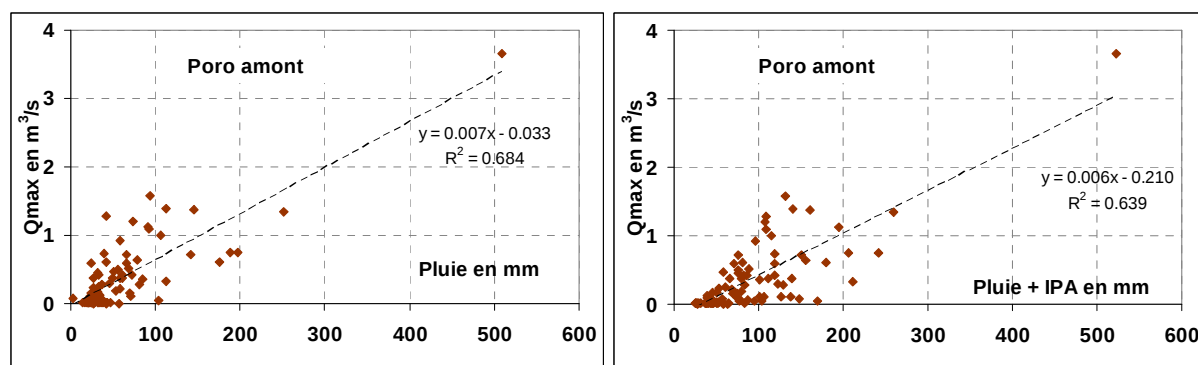
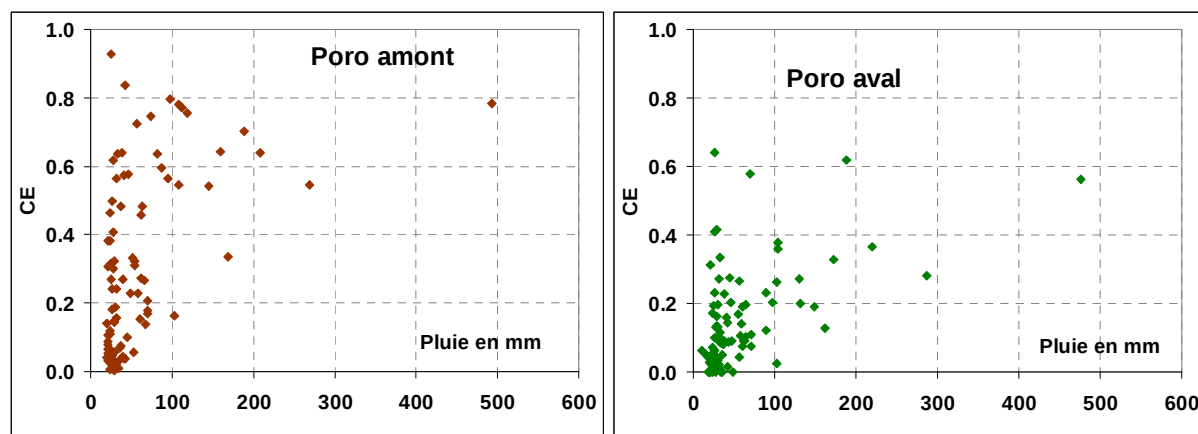


Figure 32 : Relation entre débit de pointe et précipitation sans et avec prise en compte de l'IPA

Pour chaque épisode, le coefficient d'écoulement CE est défini comme le rapport entre la lame ruisselée et la précipitation à l'origine de la crue. Si on reporte sur un graphe (Figure 33) les coefficients d'écoulement CE en fonction de la pluie, on observe une très forte dispersion. Pour les pluies inférieures à 100 mm, les coefficients d'écoulement peuvent prendre quasiment toutes les valeurs entre 0 et 0.9 à Poro amont, 0 et 0.6 à Poro aval. Au-delà de 100 mm, on observe une relation globalement croissante entre CE et pluie mais là encore une forte dispersion. A Poro amont, comme à Poro aval, des pluies de 20 à 30 mm peuvent générer des crues avec des coefficients d'écoulement de plus de 60 %.

L'utilisation du cumul Pluie+IPA réduit quelque peu cette dispersion (Figure 33, ligne du bas) mais on observe encore un écart de 1 à 4 dans la gamme des cumuls inférieurs à 100 mm. On note cependant, que les épisodes avec des cumuls P+IPA inférieurs à 50 mm ont des CE qui restent inférieurs à 0.2, à l'amont comme à l'aval tandis que les P+IPA supérieurs à 200 mm affichent des CE supérieurs à 0.55 à l'amont mais qui peuvent ne pas dépasser 0.4 à l'aval. Ces observations alimentent le doute sur les conditions d'écoulement du bassin aval vers la station de mesure qui seront rediscutées au paragraphe 5.



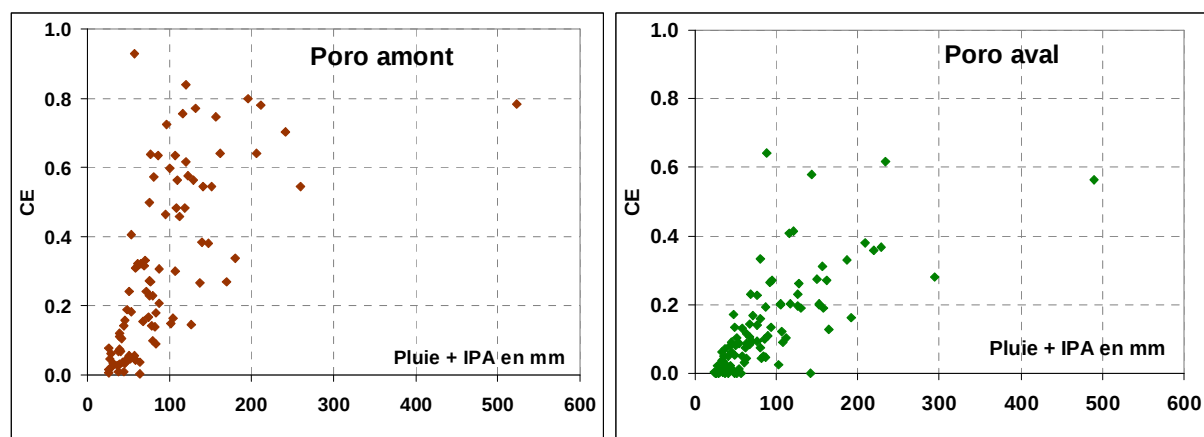


Figure 33 : Coefficients d'écoulement des épisodes de plus de 20 mm

3.5 Temps de concentration

3.5.1 Résultats des méthodes graphiques

Pour chaque épisode de crue recensé dans le catalogue PQ, on dispose du graphe du couple averse – crue. Différentes méthodes graphiques décrites dans la littérature ont été testées, notamment le décalage entre la fin de la pluie et la fin du ruissellement rapide de crue, le décalage entre le centre de gravité du hétérogramme et le centre de gravité de l'hydrogramme, le décalage entre des pics bien individualisés de pluie et de débit. A l'expérience, et sur les recommandations de la DAVAR, c'est la seconde méthode qui a été généralement privilégiée. Pour réaliser cette détermination dans de bonnes conditions, il est nécessaire d'analyser des couples averse/crue-simple ou avec des pointes de crue bien individualisées. Néanmoins, même sur des graphes simples, la détermination des points caractéristiques est sujette à de fortes variations éventuelles selon la personne qui analyse les données et plusieurs solutions peuvent paraître acceptables. C'est pourquoi pour tous les couples passés en revue, une fourchette de temps de concentration a été établie et assortie d'une valeur à l'intérieur de cette fourchette présentée comme la valeur estimée la plus proche de la réalité. La Figure 34 illustre un cas de détermination graphique du temps de concentration. On remarquera que pour Poro aval, les deux modes de détermination donnent des résultats assez différents (13 et 34 min) alors qu'ils sont voisins pour Poro amont (17 et 21 min)

Afin de lever l'indétermination liée à l'opérateur, un calcul automatique des centres de gravité a été entrepris. La difficulté est de sélectionner les épisodes susceptibles d'être ainsi traités et de définir les séquences de l'épisode sur lesquelles le calcul doit être fait. En effet, des reprises de précipitations ou des pics de débits successifs peuvent complètement fausser les calculs.

La Figure 35 illustre un cas où la méthode automatique fonctionne relativement bien. Le Tc ainsi obtenu de 19 min est voisin de celui obtenu avec les méthodes graphiques "manuelles", 16 min (avec une fourchette haute de 21 min). D'autres cas sont beaucoup plus délicats. L'application de la méthode nécessiterait de découper des corps d'averse simples à l'intérieur de l'épisode.

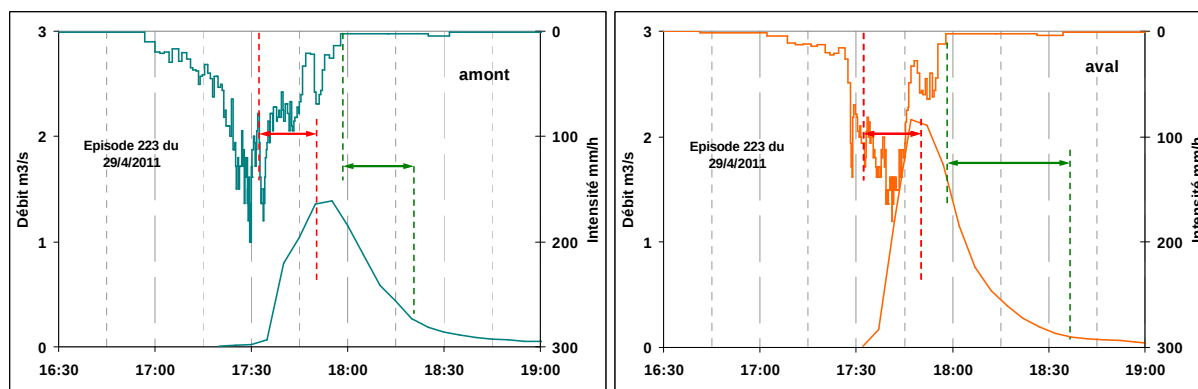


Figure 34 : Exemple de détermination graphique du temps de concentration

Même sur des graphes de crues simples (Figure 36) la méthode automatique peut donner des valeurs qui semblent surévaluées par rapport à une analyse "experte" du graphe. Les temps de concentration obtenus (28 min à l'amont et 38 min à l'aval) sont bien supérieurs à ce qui a été estimé manuellement (14 et 16 min). En effet, dans le cas de l'épisode 219, la présence d'un fort pic d'intensité conduit l'opérateur à déplacer vers ce pic le "centre de gravité des pluies", raccourcissant ainsi fortement T_c , tandis que le calcul prend en compte la totalité de la précipitation.

Globalement, la méthode automatique donne des valeurs de TC nettement supérieures à la méthode graphique "manuelle" ou "experte". Du fait de la complexité de sa mise en œuvre sur des séquences adaptées, elle n'a pas été généralisée.

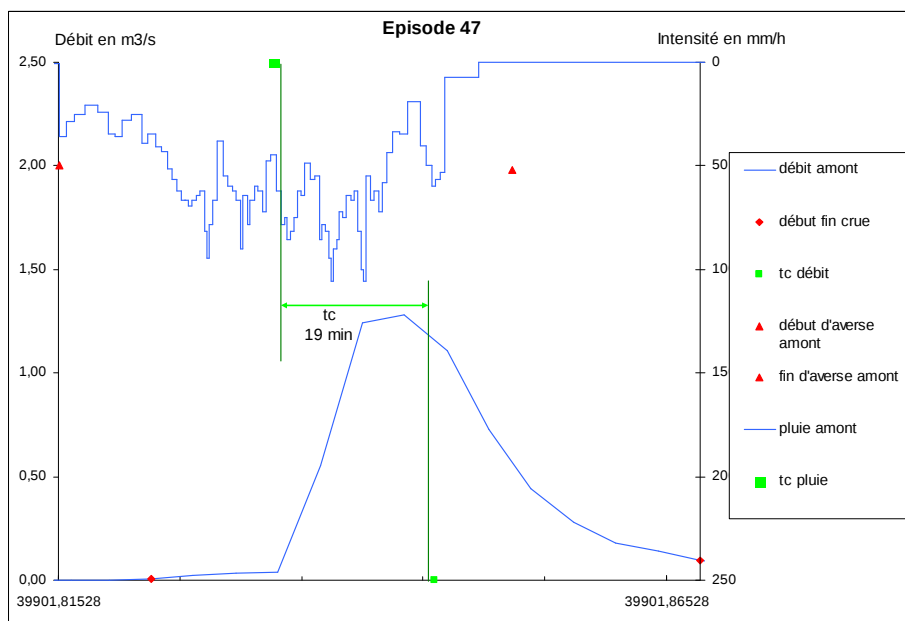


Figure 35 : exemple de calcul automatisé des centres de gravité et de T_c

La variabilité des temps de concentration ainsi obtenus par méthode graphique a été analysée et d'éventuelles relations avec les variables d'intensité des précipitations ou d'état initial du sol ont été recherchées, sans succès. La Figure 37 illustre la dispersion des résultats. On peut cependant constater sur la Figure 38 que la dispersion diminue pour les crues de fort débit de pointe. A l'amont comme à l'aval, les temps de réponse des crues à fort débit de pointe sont compris entre 10 et 20 minutes.

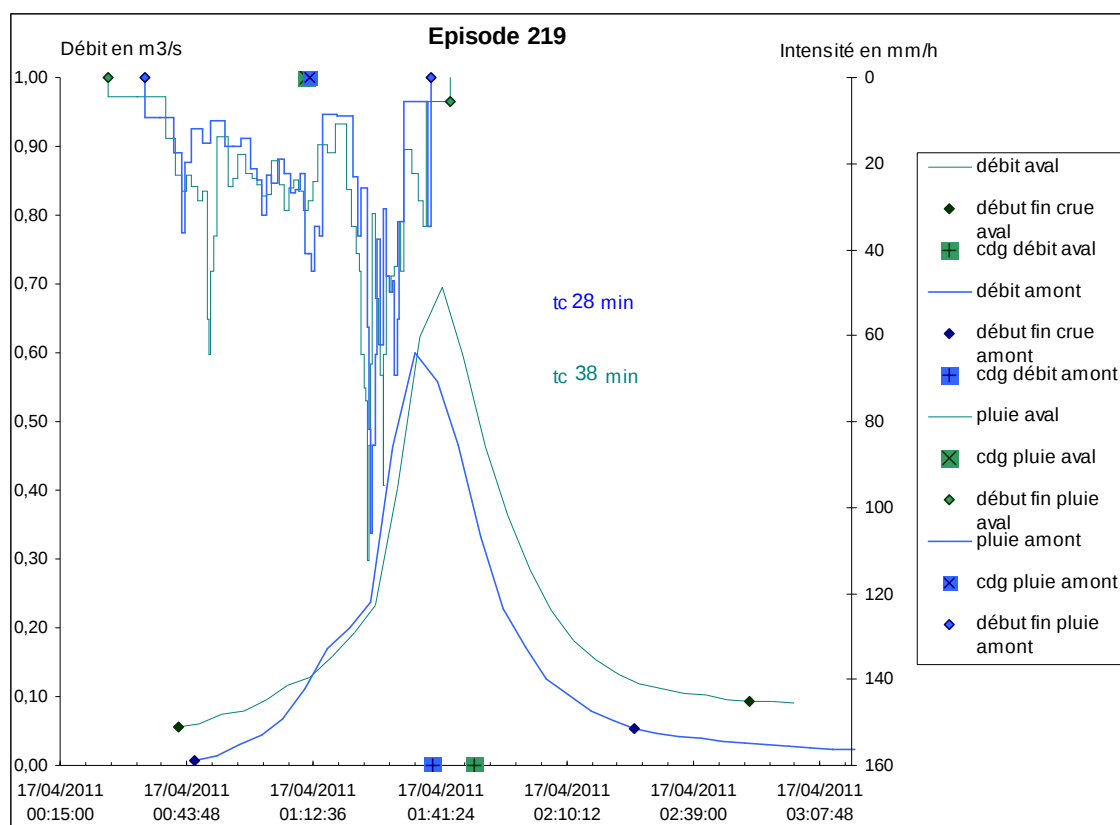


Figure 36 : Exemple de surestimation de Tc par la méthode automatique

Tableau 16 : Comparaison de valeurs de Tc obtenues par méthodes automatiques et manuelles

épisode	Calcul automatique			Méthode graphique "manuelle"				
	amont	aval		amont		Aval		
			min	max	min	max	max	
27	23	28	12	15	37	13	16	22
47	19	26	9	16	20	9	15	23
123	33	28	7	16	29	9	18	34
177	31	30	17	26	43	25	29	30
184	49	51	4	11	32	1	7	11
196	32	33	6	18	25	8	18	21
215	23	22	13	23	38	17	21	25
219	28	38	4	14	21	13	16	24
310	32	33	19	27	36	20	23	35

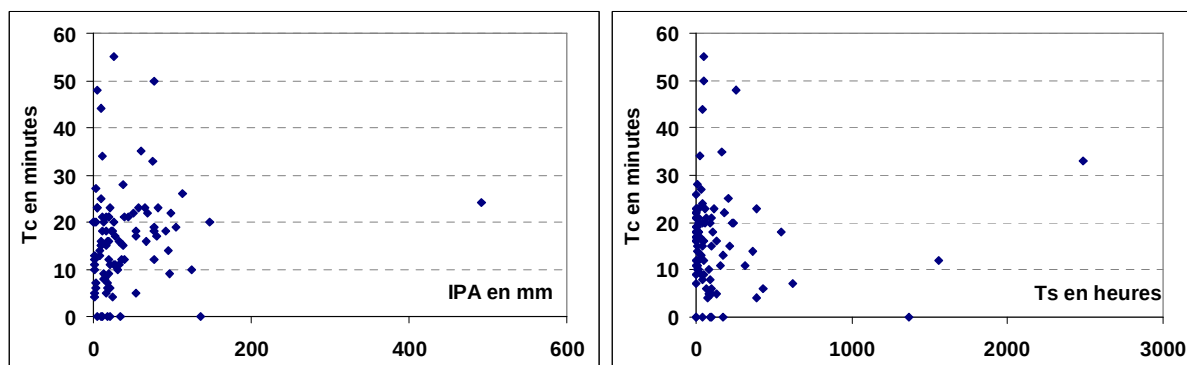


Figure 37 : absence de relation entre TC et les variables descriptives de la précipitation incidente (amont)

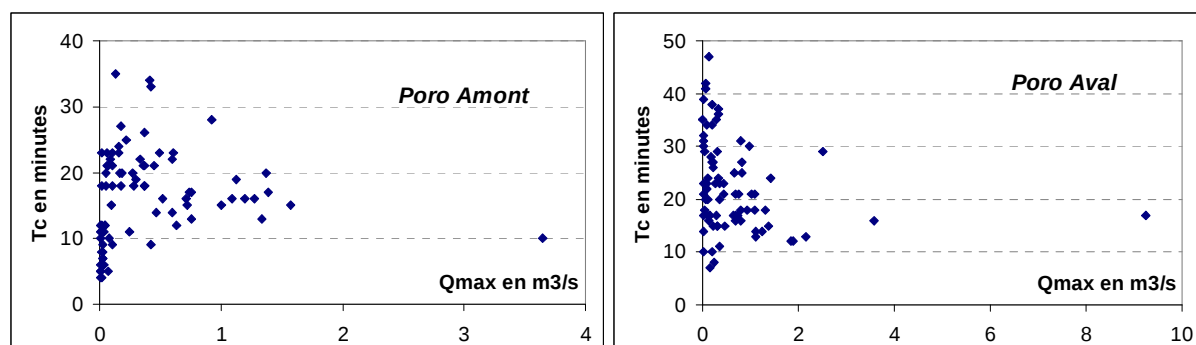


Figure 38 : Relation entre Tc et le débit de pointe

3.5.2 Méthodes de la littérature

Les temps de concentration sur les bassins versant amont et aval ont été calculés à partir de trois formules de la littérature utilisées par les mineurs. L'une d'entre elles a été développée par la SLN. Le Tableau 17 recense les résultats trouvés en fonction des formules utilisées, données en Annexe 10.

Les formules de Kirpich et Johnstone et Cross donnent des résultats non réalistes sur ce type de bassin versant. La formule de la SLN donne des résultats plus proches de la réalité mais plus forts que ceux obtenus par méthode graphique.

Meunier et Mathys (1989) Irstea de Grenoble ont développé, en simplifiant la méthode de Zeller, une formule de calcul de temps de concentration pour les bassins versants naturels ou anthropisés en montagne qui prend en compte la dégradation du bassin. Le bassin versant amont est considéré comme totalement dégradé car il n'y a plus aucun couvert végétal. Le faible couvert végétal du bassin versant aval a été pris en compte et le détail du calcul est présenté en annexe. Le Tableau 17 recense les résultats trouvés en fonction des formules utilisées. Les temps de concentration obtenus sont plus faibles que la moyenne de ceux déterminés graphiquement mais ils sont du même ordre de grandeur ceux de la fourchette basse des estimations graphiques.

La DAVAR a proposé une méthode de calcul, dite méthode des temps de transfert, qui considère une vitesse suivant le drain hydraulique le plus long. On retient 2m/s si la pente du drain est entre 5 et 15% (dans les vallées) 4m/s au-delà (sur les versants) et 1 m/s si la pente est inférieure (dans les plaines). Cette méthode est déjà largement utilisée par les bureaux d'étude calédoniens et donne des résultats très voisins de la méthode précédente.

Tableau 17 : Temps de concentration déterminé graphiquement et calculé avec les formules de la littérature

Nom de la formule ou de son auteur	Méthode graphique	SLN	Kirpich	Johnstone et Cross	Meunier Mathys	DAVAR
Tc amont (min)	16	29	161	158	8	9
Tc aval (min)	21	37	280	220	15	16

3.5.3 Discussion

Les temps de concentration sont parfois difficiles à estimer sur les couples averse-crue car la forte réactivité des bassins donne des réponses souvent complexes aux hyétogrammes de la pluie incidente. Les temps de concentration retenus dans le Tableau 17 sont les moyennes calculées sur 67 couples averse-crue et sont dans l'ordre de grandeur de ceux attendus lorsqu'ils sont calculés par des méthodes adaptées aux petits bassins versants (Meunier-Mathys, DAVAR) :

- Tc = 16 min pour Poro amont et Tc = 21 min pour Poro aval.

Si on souhaite privilégier la sécurité on retiendra la médiane des valeurs observées pour les forts débits de pointe, soit

13 min pour Poro amont et 16 minutes pour Poro aval.

Les valeurs minimales obtenues pour les crues notables ($Q_{max} > 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ à Poro amont et $1 \text{ m}^3/\text{s}$ à

Poro aval) conduiraient à retenir des valeurs encore inférieures : 9 min pour Poro amont et 12 minutes pour Poro aval.

3.6 Résumé et conclusions sur la relation pluie-débit

Au cours des quatre années d'observation (2009 à 2012), la pluviométrie annuelle (de début décembre de l'année n-1 à fin novembre de l'année n) a varié pratiquement du simple au double (1460 mm en 2009 et 2720 mm en 2012). L'année 2012 inclut l'épisode de Noël 2011 qui représente à lui seul 20 % de la pluviométrie moyenne annuelle.

A toutes les échelles de temps, de la pluie annuelle à la pluie journalière ou à l'épisode, les différences entre les deux pluviomètres de Poro amont et Poro aval sont minimales (inférieures ou égales à 6 %).

Pour toute la période 325 épisodes pluvieux de plus de 5 mm ont été répertoriés. Ils ont été répartis en trois classes, 232 épisodes faibles (pluie inférieure à 20 mm), 78 épisodes moyens (pluie comprise entre 20 et 85 mm) et 15 épisodes forts (pluie supérieure ou égale à 85 mm).

Lorsqu'on cherche à déterminer un seuil de pluie, variable en fonction de la durée du temps sec, au-delà duquel on observerait toujours un ruissellement (notion de "pluie limite"), on note qu'à Poro amont, toute pluie supérieure à 15 mm provoque une réaction à l'exutoire et qu'à partir de 55 mm tous les épisodes provoquent une crue notable. A l'aval, toutes les pluies inférieures à 20 mm ne provoquent pas de réaction notable tandis que toutes les pluies supérieures à 35 mm provoquent une crue. La "pluie limite" pour les deux bassins de Poro pourrait donc s'établir à 15-20 mm.

Les débits maximums observés sont de 3.6 m³/s à l'amont et de 9.2 m³/s à l'aval soit respectivement 41 et 30 m³/s/km² (15 m³/s et 46 m³/s/km² à Poro aval après prise en des débordements). Ces valeurs extrêmement élevées comparativement à ce qui s'observe sur les bassins plus grands de la région (DAVAR, 2006) confirment la nécessité de disposer de mesures pour les tous petits bassins afin d'obtenir des règles de dimensionnement adaptées. La pluie et surtout la fraction intense des précipitations sont les variables qui expliquent le mieux le débit de pointe.

A l'échelle de l'épisode pluvieux, les coefficients de ruissellement (ou écoulement rapide de crue) sont extrêmement variables et peuvent s'observer dans une fourchette comprise entre 0.1 et 0.9, à l'amont comme à l'aval. Pour les fortes pluies supérieures à 200 mm, ils sont toujours supérieurs à 0.5 à Poro amont. Les débordements qui s'observent en cas de fortes crues ne permettent pas de conclure sur les coefficients d'écoulement des épisodes forts à Poro aval.

Les coefficients d'écoulement moyens des épisodes supérieurs à 85 mm s'établissent à 0.52 à Poro amont et 0.55 à Poro aval. Les pentes de la relation ruissellement/pluie se redressent à 0.81 et 0.59 respectivement si on inclut l'épisode exceptionnel de décembre 2011.

La dispersion des temps de concentration est forte. On les estime à 9 à 16 mm à Poro amont et 12 à 21 mm à Poro aval selon l'option de sécurité retenue.

4 Résultats sur les flux de sédiments

A l'échelle de l'épisode, les résultats de l'ensemble des crues pour lesquelles on a obtenu au moins un prélèvement d'échantillon seront présentés. On analysera tout d'abord la variabilité des concentrations observées et on recherchera d'éventuels facteurs explicatifs de cette variabilité. Parmi ces facteurs explicatifs, l'intensité de l'activité minière dans les jours qui précèdent la crue sera examinée. La granulométrie des matériaux transportés, qui a été déterminée sur une partie seulement des échantillons, est susceptible également d'améliorer la connaissance sur les matériaux transportés en suspension.

Les méthodes décrites au paragraphe 2.3.2 ont ensuite été utilisées pour calculer le flux exporté pour chaque épisode échantillonné. Des modèles statistiques simples ont été recherchés pour corrélés les

flux obtenus à certaines variables hydrologiques. Ces modèles statistiques ont été ensuite utilisés pour estimer la production des épisodes non échantillonnés. De cette manière, les flux exportés par la totalité des épisodes ont pu être calculés donnant accès aux valeurs saisonnières et annuelles des flux.

4.1 Etude des crues échantillonnées

4.1.1 Concentrations

4.1.1.1 Gammes observées

Au cours des 4 années de mesures 2009-2012, 1004 échantillons ont été prélevés et analysés, soit 634 au seuil amont et 370 au seuil aval. Cela représente 59 crues échantillonnées à l'amont et 52 à l'aval. Certaines crues n'ont fait l'objet que d'un seul prélèvement. Par ailleurs, les crues échantillonnées à l'amont et l'aval ne coïncident pas toujours : soit les conditions d'écoulement ont occasionné un dépassement du seuil de prélèvement sur un seul des deux sites, soit, le plus souvent, l'un des deux appareils n'a pas prélevé, soit parce que les 24 flacons étaient déjà remplis soit parce qu'une panne s'était produite. Le tableau ci-après donne la répartition par année des mesures disponibles. L'année 2012 est arrêtée mi-mai 2012.

Tableau 18 : Répartition par années des prélèvements effectués

	Nombres de prélèvements analysés		Nombres d'épisodes échantillonnés	
	Amont	Aval	Amont	Aval
2009	185	139	16	14
2010	44	22	2	3
2011	254	134	26	23
2012	151	75	15	12
TOTAL	634	370	59	52

Les concentrations mesurées varient entre 0.002 g/l et 28 g/l. Les concentrations sont en moyennes plus faibles à l'aval qu'à l'amont. Le Tableau 19 présente la synthèse des valeurs de concentration. Q1 et Q3 sont les quantiles à 25 % et 75 %.

Tableau 19 : valeurs caractéristiques des concentrations mesurées

C en g/l	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max
Aval	0,002	0,06	0,25	0,96	0,73	21,53
Amont	0,017	0,23	0,69	1,66	1,87	28,36

Le maximum de concentration pour l'aval a été obtenu lors de l'épisode du 24 décembre 2011. La Figure 39 montre la répartition par gamme de concentration. Pour plus de clarté, les limites de classes sont variables. On observe la nette différence entre l'aval et l'amont et la très forte majorité des valeurs se situant dans la gamme] 0 – 0.25] g/l. Cette classe représente 26% des prélèvements à l'amont et 52 % à l'aval. 10 % des prélèvements à l'aval et 22 % à l'amont ont des concentrations supérieures à 2 g/l.

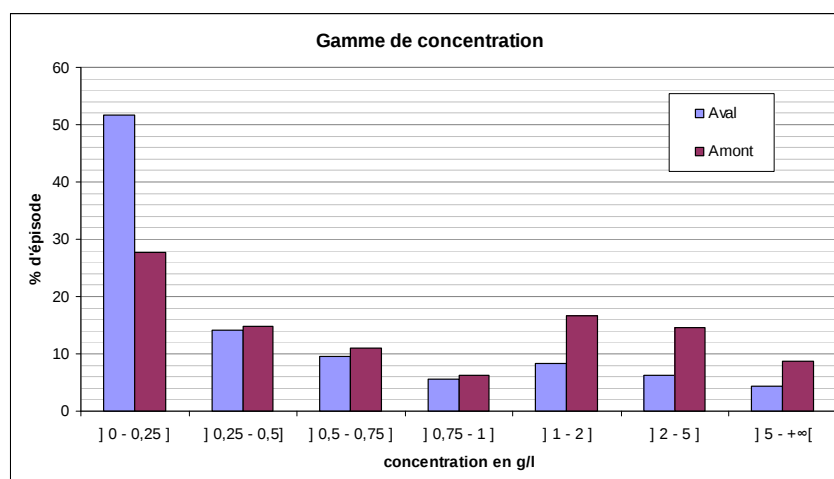


Figure 39 : Gamme de concentration des prélèvements analysés

4.1.1.2 Facteurs explicatifs des concentrations

Les facteurs explicatifs de la variabilité des concentrations ont été recherchés. Pour ce faire, plusieurs questions sur les concentrations ont été soulevées :

- Concentration et débit sont-ils liés ?
- Concentration et moment dans la crue sont-ils liés ?
- Concentration et type de crue sont-ils liés ?
- Concentration et pluies précédant le prélèvement sont-elles liées ?

Afin de répondre à ces différentes interrogations, pour chaque prélèvement ont été déterminés la date et l'heure, la concentration et le débit liquide associé. L'examen des relations concentration-débit et des différences observées sur les pics de crue successifs lors de crues complexes ont conduit à rechercher une caractérisation de la position du prélèvement au cours de la crue : moment dans la crue (montée, pic ou descente), rang du pic de crue et nombre total de pics durant la crue. Le cumul de pluie précédant le prélèvement a également été calculé, sur des pas de temps allant de 5 minutes à 60 minutes.

L'analyse de la variabilité temporelle des concentrations en fonction du pic de crue est importante pour l'interpolation ou l'extrapolation des concentrations nécessaires au calcul des flux. En effet, il est fréquent que tous les pics d'une crue complexe ne soient pas correctement échantillonnés. Si un lien entre concentration et position sur les pics de crue est mis en évidence, il pourra à la fois éclairer le mode de fonctionnement du transport de MES et améliorer l'estimation des flux. Le Tableau 20 montre que peu d'échantillons correspondent à des crues simples et qu'un grand nombre correspond à des épisodes complexes avec au moins 3 pics de crue.

Tableau 20 : Nombre de prélèvements en fonction du nombre de pics total de la crue

	1 Pic	2 Pics	3 Pics	4 Pics	>4 Pics
Amont	136	146	96	86	102
Aval	77	95	29	20	78

Nous avons vu au 2.3.2 que les relations d'hystérésis étaient fréquentes : à débit égal, on observe fréquemment des concentrations différentes en montée en crue et en décrue et les décalages temporels entre pic de débit et pic de crue sont souvent rencontrés. Chaque prélèvement a donc été affecté d'une variable indiquant sa position par rapport au pic (Tableau 34). La période avant le pic de crue a été plus échantillonnée que la période après.

Tableau 34 : Moment dans la crue où a eu lieu le prélèvement

	Début de la montée	Montée	Proche du pic	Pic	Décrue	Fin de la décrue
Amont	49	232	21	22	186	56
Aval	9	172	4	14	77	23

La Figure 40 met en évidence l'absence de relation entre concentration et débit à Poro amont.

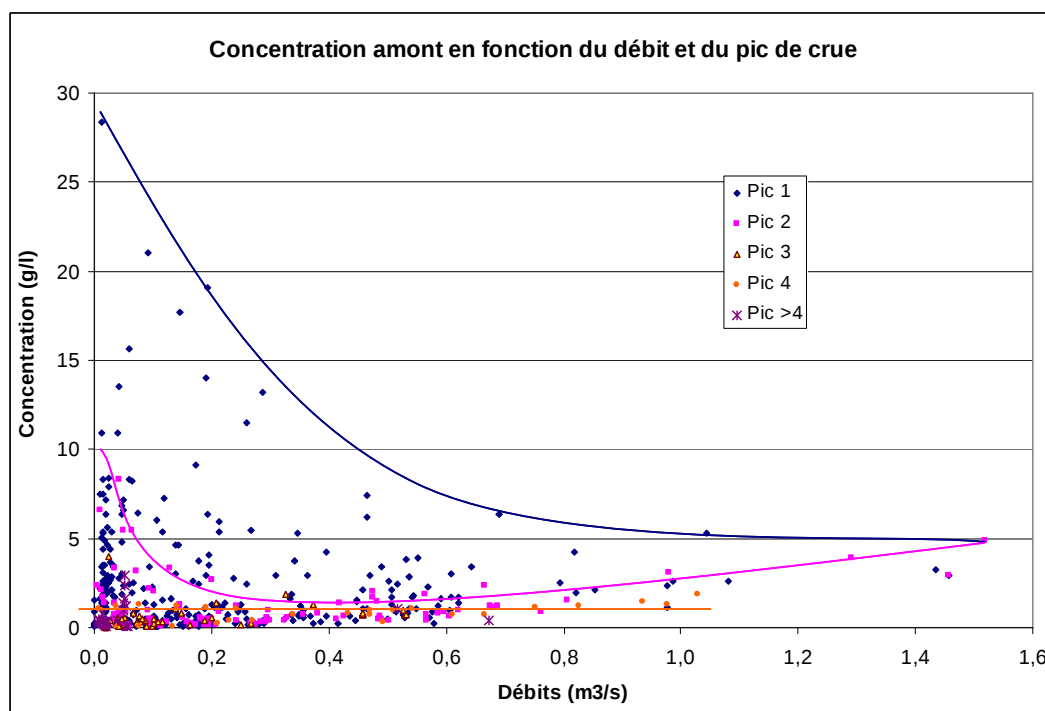


Figure 40 : Relation Concentration-débit pour tous les prélèvements (Poro amont)

On note cependant que les concentrations les plus fortes ($> 8 \text{ g/l}$) sont obtenues pour des débits inférieurs à $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir d'un débit de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, les concentrations restent modérées mais sont toutes supérieures à 1 g/l . On observe aussi que toutes les concentrations élevées sont atteintes lors du premier pic ou pour des crues à un seul pic. Les concentrations maximales atteintes pour chaque pic décroissent avec le rang du pic jusqu'au quatrième pic. Ceci laisserait supposer que le premier pic voit passer un "first flush" des matériaux facilement mobilisables et que les suivants sont plus dilués. On peut tracer une courbe enveloppe du premier pic (trait bleu) et de manière un peu moins nette les courbes enveloppes des autres pics.

La Figure 41 synthétise les mêmes données à Poro aval. Sur ce graphique, un prélèvement lors d'un premier pic enregistre une très forte concentration pour un très faible débit (point entouré en rouge). Celui-ci est très suspect et est fortement remis en question quand on regarde la relation concentration débit de l'épisode. En effet, la concentration au pas de temps suivant est proche de $0,01 \text{ g/l}$. Il a donc été décidé d'écarter cette donnée.

On constate qu'à Poro aval, la concentration est plus fortement liée au débit et les nuages de points s'organisent en fonction du rang du pic de débit auquel ils appartiennent. A débit égal, les concentrations des prélèvements du pic 1 sont plus élevées que celles des autres pics. Toutes les valeurs du pic 3, supérieures à $2 \text{ m}^3/\text{s}$, sont celles dû à l'épisode du 24 décembre 2011. Sans celles-ci les valeurs maximales sont atteintes pour toutes les crues lors du premier pic.

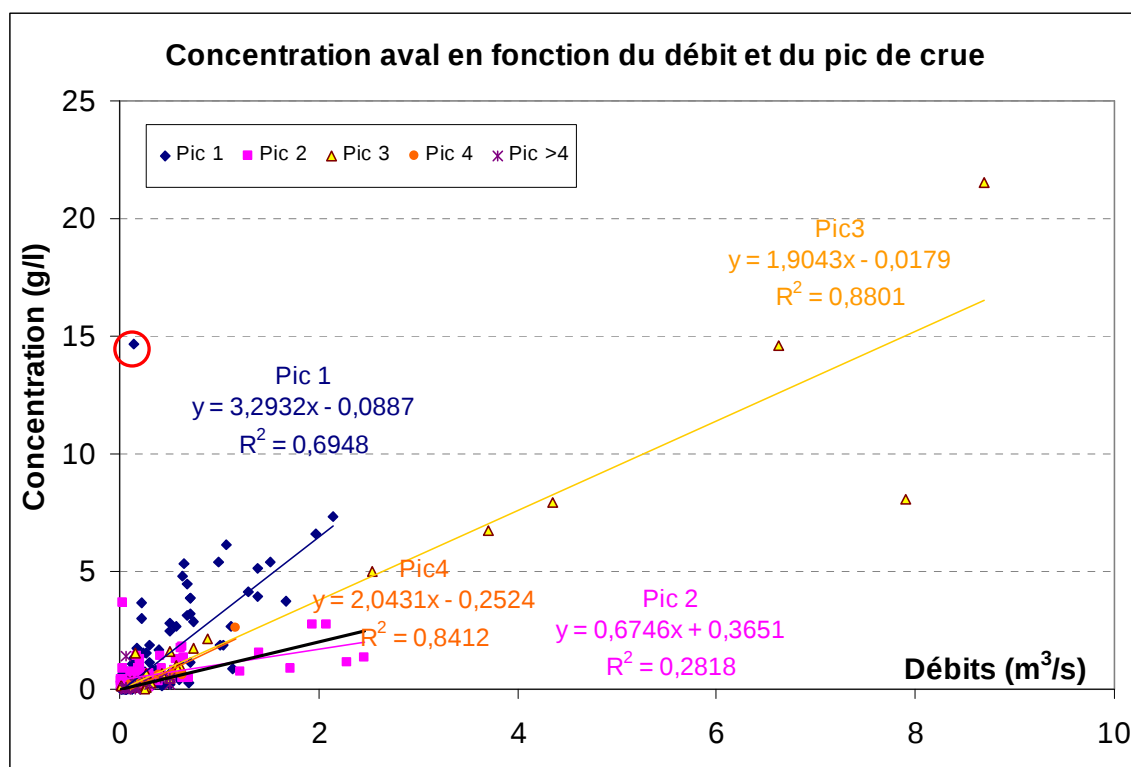


Figure 41 : Relations concentration/débit pour Poro aval

La relation concentration débit est complexe. Pour faciliter les analyses, cette relation est examinée plus en détail pour les crues simples à un seul pic de crue. Sur ces crues, la position du prélèvement au cours de la crue a été déterminée et six catégories de points ont été définies : début de la montée, montée, proche du pic, pic, décrue, fin de la décrue.

A Poro amont, les plus fortes concentrations n'ont pas eu lieu durant les crues à un seul pic. Le maximum pour les crues à un pic est inférieur à 6 g/l. Les prélèvements peuvent être séparés en deux groupes (Figure 42) : le groupe entre les droites rouges, où la concentration augmente globalement avec le débit et le groupe dans le triangle vert avec des fortes concentrations pour des débits faibles. Ce dernier groupe est essentiellement composé de prélèvements en montée en crue mais également de quelques prélèvements en décrue, ou fin de décrue. Tous les prélèvements de ce groupe correspondent à des épisodes différents. Une "bouffée" de matières en suspension aurait été échantillonnée sans que l'on puisse réellement déterminer le motif (effet de chasse ou first flush, libération d'un stock dans un lit, une berge ou un tas de matériaux, etc...).

A Poro aval, les concentrations atteintes pour les crues à un seul pic sont généralement plus fortes qu'à l'amont et ont lieu durant la montée (Figure 43). Une seule famille de points est identifiée et peut être bornée par deux droites (en rouge). Globalement, la concentration augmente avec le débit, mais pour un même débit, l'éventail de concentrations reste très large.

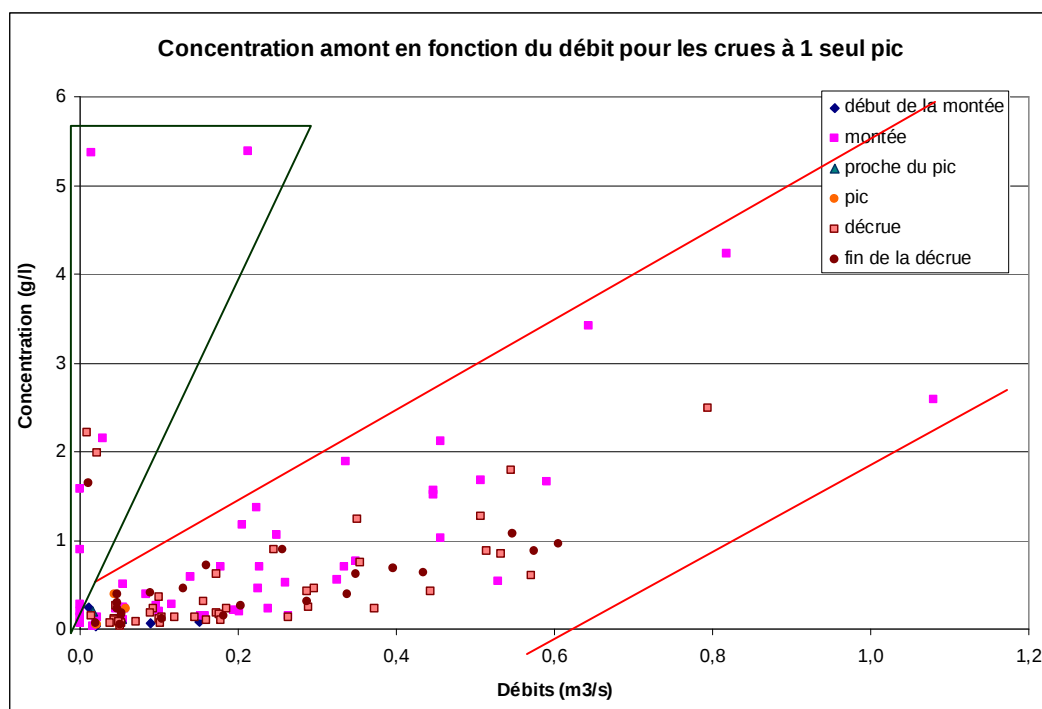


Figure 42 : détail de la relation concentration débit pour les crues à un seul pic (Poro amont)

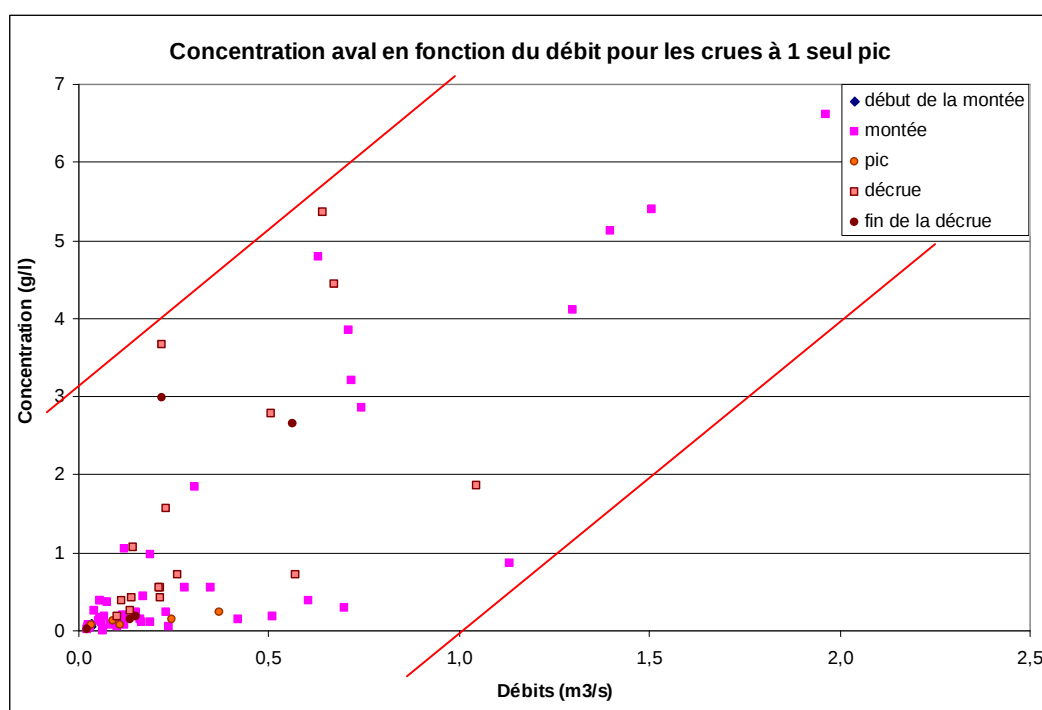


Figure 43 : détail de la relation concentration débit pour les crues à un seul pic (Poro aval)

Les concentrations de MES dans les écoulements résultent de plusieurs phénomènes : arrachement des particules par la pluie, mise en mouvement de sédiments fins par les écoulements, transport dans l'écoulement. Afin d'analyser l'effet de l'arrachement par les gouttes de pluie, l'intensité des précipitations dans les instants précédant le prélèvement a été analysée. Pour cela, pour chaque prélèvement, le cumul de pluie sur les x minutes précédentes a été calculé, pour différents pas de temps x allant de 5 minutes à 60 minutes. Les résultats restent très dispersés et les meilleurs sont obtenus pour un pas de temps de 20 minutes à l'amont et de 25 minutes à l'aval.

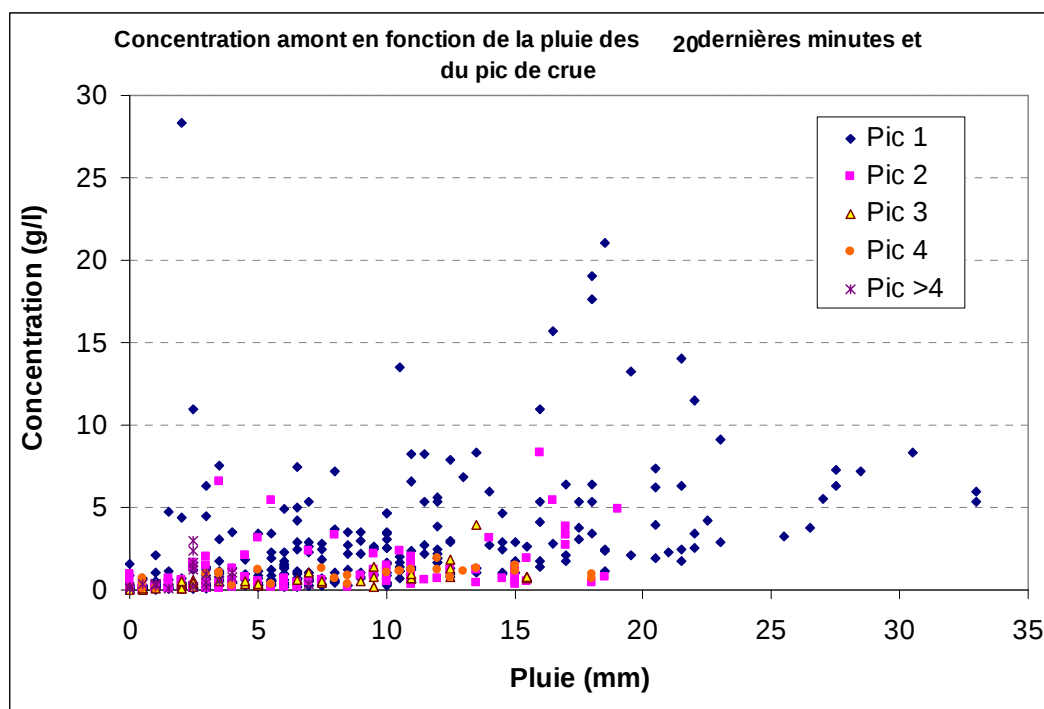


Figure 44 : Relation entre la concentration et la précipitation précédant le prélèvement (Poro amont)

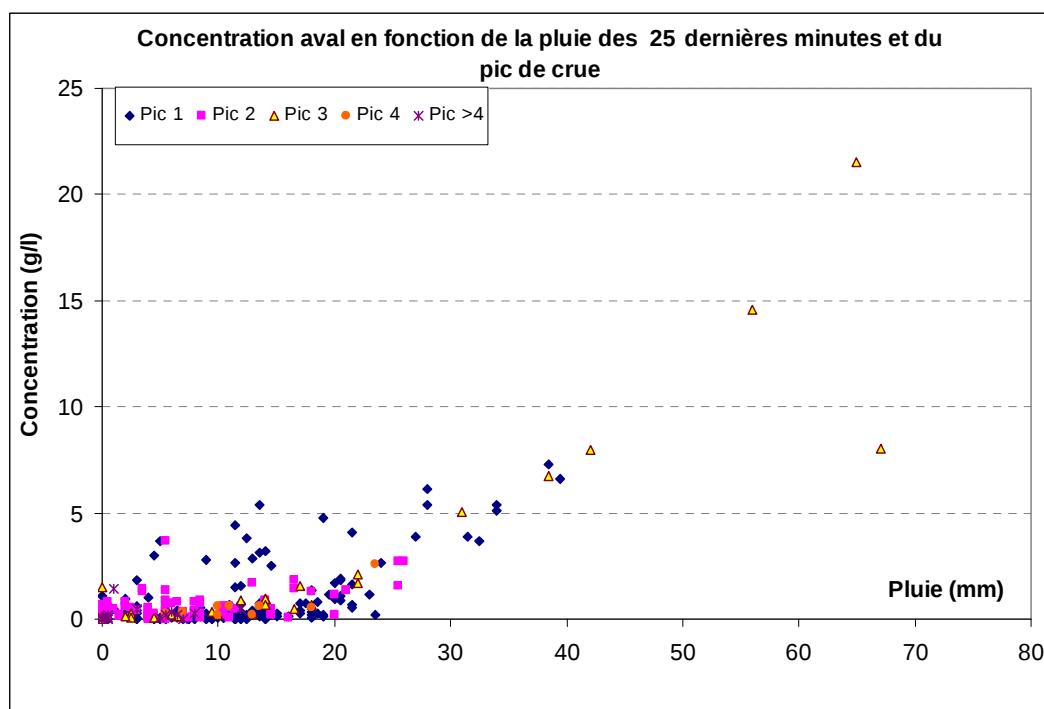


Figure 45 : Relation entre la concentration et la précipitation précédant le prélèvement (Poro aval)

A Poro amont, les plus fortes concentrations n'ont pas été atteintes pour les plus fortes lames d'eau antécédentes (Figure 44). On peut supposer que très fortes intensités ont un fort pouvoir d'arrachement mais que les importants volumes d'eau précipitée ont, en même temps, un effet de dilution. On note cependant que pour des intensités supérieures à 60 mm/hl (plus de 20 mm en 20 min), les concentrations ne sont jamais inférieures à 2.5 g/l. On note également, qu'à deux exceptions près, si l'intensité est inférieure à 30 mm/h, les concentrations n'excèdent pas 8 g/l.

A Poro aval (Figure 45), on note un comportement différent selon l'intensité des précipitations antérieures. En dessous de 60 mm/hl sur les 25 dernières minutes, la concentration ne dépasse pas

5 g/l et la plupart des concentrations supérieures à 2 g/l sont observées au cours du premier pic. Au-delà, de 60 mm/h, on note une relation croissante entre l'intensité et la concentration. Les points les plus élevés correspondent à la crue du 24 décembre 2011.

En conclusion, si nous reprenons les questions posées au début de ce paragraphe, il s'avère que :

- On n'observe pas de relation nette entre concentration et débit à Poro amont et si elle est globalement croissante à Poro aval, la dispersion est très grande.
- Pour un même débit, les concentrations sont généralement plus élevées pour les premiers pics de crue que pour les suivants. A Poro amont, les plus fortes concentrations sont toujours observées sur les premiers pics de crue ou les crues à un seul pic. A Poro aval, une tendance voisine est observée mais l'épisode du 24 décembre 2011 contredit cette tendance.
- Pour les crues simples, les concentrations sont généralement plus élevées dans les prélèvements de montée en crue à Poro amont et dans ceux de décrue à Poro aval, ce que confirme le sens des boucles d'hystérésis généralement observées, mais cas particuliers et exceptions sont nombreux
- L'intensité des précipitations dans les minutes qui précèdent le prélèvement ne permet pas d'expliquer les concentrations des écoulements, sauf pour les valeurs fortes de pluie en 20 ou 25 minutes qui sont toujours à l'origine de fortes charges en MES.

4.1.1.3 Prise en compte de l'activité minière

L'objectif de ce paragraphe est de mettre en évidence un lien entre les concentrations observées aux exutoires des bassins versant et l'activité minière. Pour cela une série de données du CFTMC indiquant les chantiers de destination et d'origine de chaque déplacement de matériaux de la mine de Poro a été étudiée. Les plateformes de stockage Chapeau Chinois, Bordure et Stan ont été isolées car elles sont situées en amont du bassin versant de Poro. Toutes les dates correspondant à des ajouts de matériaux ou des prélèvements de matériaux sur ces plateformes ont été triées. Ces dates, qui couvrent la période janvier/avril 2012, correspondent d'une part à un roulage et d'autre part à du remaniement de matériaux.

Nous avons voulu vérifier si les concentrations parfois particulièrement fortes mesurées lors des crues étaient cohérentes avec une activité minière particulièrement intense. Pour cela la Figure 46 présente la concentration maximale mesurée pour chacune des crues de la période janvier/avril 2012 à Poro amont en fonction du temps.

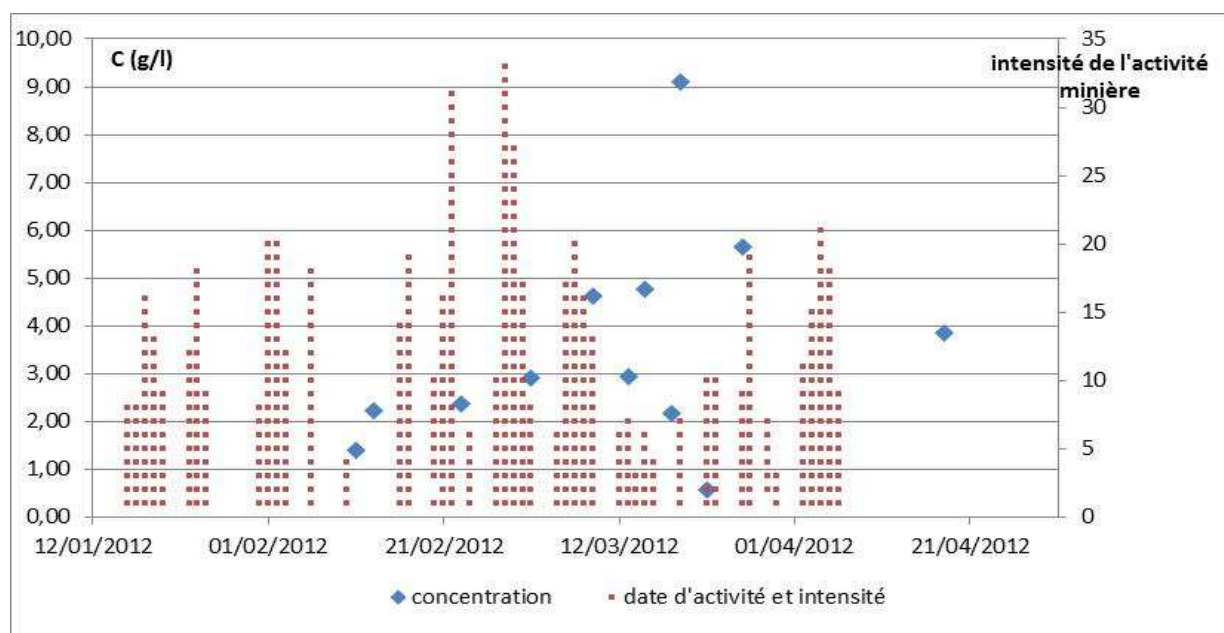


Figure 46 : Concentration maximum mesurée pour chaque crue échantillonnée entre janvier et avril 2012 en fonction du temps et de l'activité minière

Une barre verticale correspond à un jour où il y a eu une activité minière sur Chapeau Chinois, Bordure ou Stan. Le nombre de points par barre verticale correspond à l'intensité de l'activité ce jour-là (plusieurs chantiers en même temps ou plusieurs allers-retours). On remarque que la concentration la plus élevée ne correspond pas à la période d'activité la plus intense.

A ce stade, avec les données disponibles, il n'est pas possible de mettre en évidence une relation entre la variabilité des concentrations et l'activité minière. Des critères plus fins prenant en compte les volumes de latérite sur Chapeau Chinois devraient être recherchés. De même, plus que la concentration maximale, une variable exprimant l'écart entre concentration maximale observée et concentration attendue du fait des paramètres hydrologiques pourrait être recherchée. Par ailleurs, un mode de relevé de l'activité minière plus adapté aux besoins de l'hydrologie pourrait être discuté avec le CFTMC.

4.1.2 Granulométrie

La caractérisation granulométrique des matières en suspension n'était pas explicitement prévue dans le programme Hydromine. Néanmoins, la taille des particules est déterminante pour leur capacité à être transportées en suspension et à sédimenter. Étudier leur évolution au cours d'une crue peut renseigner sur les processus d'arrachement et de transport. C'est pourquoi, cet aspect a été abordé au cours des campagnes 2011 et 2012. La plupart du temps, les échantillons mesurés sont sélectionnés en fonction de leur position au sein de la crue (montée de crue, maximum de crue et décrue). D'autres tests ont été effectués pour tester la variabilité des tailles de particules dans la tranche d'eau ou la représentativité granulométrique des échantillons ISCO. Les résultats détaillés de ces travaux sont présentés dans les rapports de campagne 2011 et 2012. Quelques résultats seront rappelés ci-dessous.

4.1.2.1 Taille des particules à différents niveaux dans la section d'écoulement

Dans l'objectif de déterminer s'il y avait ou non ségrégation des particules sur une même verticale, plusieurs prélèvements manuels ont été réalisés sur une tranche d'eau pendant la crue du 15/04/11. Trois échantillons ont été prélevés, à 50 mm du fond du canal (AMONT_ISCO2_1), à 120 mm du fond (AMONT_ISCO2_2) et à 200 mm du fond (AMONT_ISCO2_3).

L'examen de la Figure 47 permet de vérifier qu'il y a peu de différence sur la verticale pour les particules les plus fines ($D_{10}=1,5 \mu\text{m}$; $D_{50}=5,0 \mu\text{m}$).

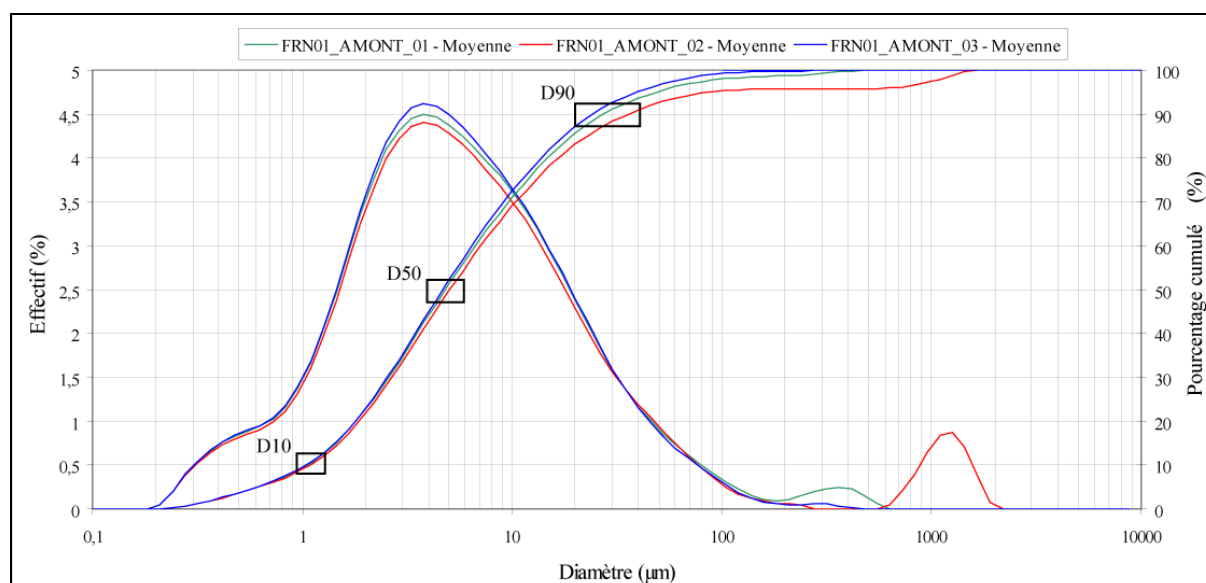


Figure 47 : Distribution granulométrique sur une même verticale, crue du 15/04/11

Le D90 est plus variable et compris dans une plage de 22,9 à 34,7 μm. Mais l'examen de la courbe

non cumulée montre que le résultat est fortement influencé par quelques particules grossières (second mode sur la courbe rouge). On peut donc admettre que la ségrégation des particules dans la tranche d'eau est faible même si en surface la taille des particules est légèrement plus fine.

4.1.2.2 Granulométrie entre prélèvement automatique et manuel

On peut se demander si la pompe péristaltique du préleveur ISCO ou la géométrie et la position de la crépine n'entraînent pas une ségrégation des particules au cours de prélèvement. Deux échantillons ont été prélevés en même temps le 02/03/11 à 15h51. Le premier est échantillonné par le préleveur automatique et le second de façon manuelle par l'opérateur à l'aplomb du préleveur et au milieu de la tranche d'eau. Les concentrations calculées, 1,033 g/l pour l'échantillon automatique et 1,193 g/l pour l'échantillon manuel montrent une différence de 13% entre les deux échantillons, ce qui reste satisfaisant compte tenu des incertitudes créées lors de l'échantillonnage, de la pesée des filtres et de la filtration. L'analyse granulométrique montre, elle, une différence notable entre les échantillons (Figure 48). L'échantillon prélevé manuellement présente une distribution granulométrique plus fine que l'échantillon automatique, alors que les prélèvements ont été effectués simultanément à l'aplomb du préleveur. La crépine n'est pas fixe au fond du canal. Une certaine liberté a été laissée par les fixations dans la paroi pour lui permettre de ne pas rester complètement au fond quand le niveau monte. La différence de taille des grains pourrait être due à la capacité de pompage du préleveur. Cependant, des tests effectués avec le même matériel sur le site de Draix et au laboratoire (Mathys et al., 1999) ont montré que l'ensemble crépine, tuyau et pompe péristaltique était capable de prélever des concentrations de plusieurs centaines de g/l et des diamètres de quelques millimètres. On doit donc en conclure que la décrue du 02/03/11 montre une ségrégation en fonction de la taille des particules de MES malgré une concentration relativement constante au sein de la colonne d'eau. Des campagnes complémentaires de prélèvement et d'analyse ciblées sur cette question de la ségrégation verticale des particules seraient souhaitables.

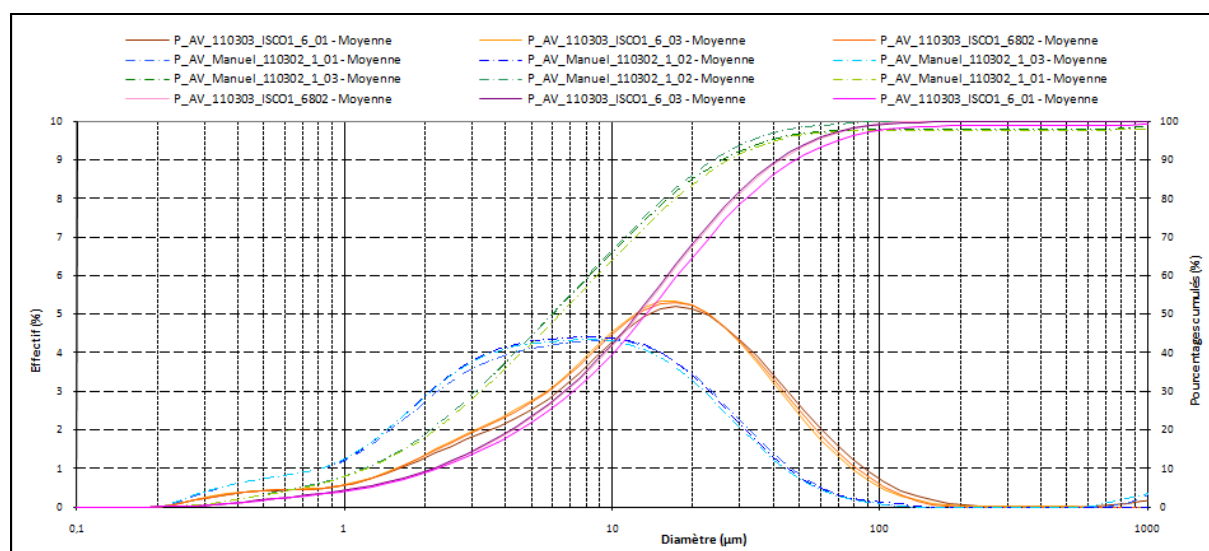


Figure 48 : Distribution granulométrique des MES de la crue du 02/03/11 pour deux prélèvements, automatique et manuel

4.1.2.3 Granulométrie des échantillons prélevés au cours des crues.

Au cours des campagnes 2011 et 2012, 62 échantillons de préleveurs ont été analysés au PPME avec le granulomètre laser Malvern. Pour chacun de ces échantillons plusieurs réplicats ont été analysés ce qui représente un grand nombre de passages dans l'appareil.

Les matériaux en suspension sont très fins avec des diamètres médians (D50) s'étageant, entre 4 et 13 µm à l'amont, 5 et 30 µm à l'aval (Figure 49)

Pour la saison 2011, à Poro amont, on remarque que les crues avec les particules les plus grossières

correspondent aux crues avec les flux de sédiments les plus importants. A Poro aval, pour certaines crues, on observe une variabilité de la taille des grains en cours d'épisode, avec des diamètres en montée de crue plus élevés qu'en décrue.

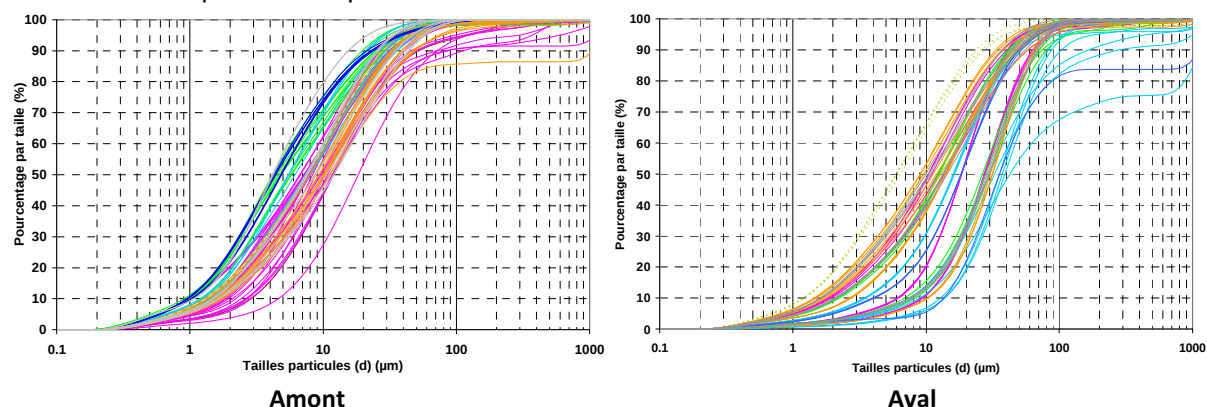


Figure 49 : Distribution granulométrique des prélèvements en cours de crue (campagne 2011)

Pour la saison 2012, les échantillons analysés ont été classés en fonction de leur position dans la crue et l'ensemble des courbes est rassemblé sur la Figure 50. Les trois courbes en noir, repérées par le trait vertical rouge, correspondent à l'analyse de l'échantillon de la crue du 24 décembre en début de montée en crue, à l'aval. Elles montrent une granulométrie plus grossière mais qui est entachée d'une forte incertitude car la cellule du granulomètre nécessitait un nettoyage. Faute de matériel disponible, un second essai pour vérification n'a pas été possible. Parmi les autres courbes deux lots se distinguent, signalés par un trait bleu ou vert sur le graphique. Les courbes sous le trait bleu représentent la majorité des échantillons pour lesquels le D50 des particules s'échelonne entre 9 et 15 μ . Le lot sous le trait vert correspond à l'analyse des prélèvements aval de la crue n° 296 du 9 mars 2012 (après le pic de crue) et de la crue 315 du 18 avril 2012 (au début de la montée en crue). Cet ensemble présente une granulométrie plus grossière avec un D50 compris entre 28 et 35 μ . Ces deux prélèvements correspondent à des débits modestes (environ 0.2 m³/s) et des concentrations inférieures à 1 g/l. La proportion de fines est particulièrement faible dans cet échantillon : si on prend comme référence 12 μ , le diamètre moyen du faisceau principal, seulement 10 à 17 % des particules sont inférieures à ce diamètre dans ces prélèvements particuliers. Ce comportement "atypique" n'a pu être expliqué par les variables descriptives de l'épisode.

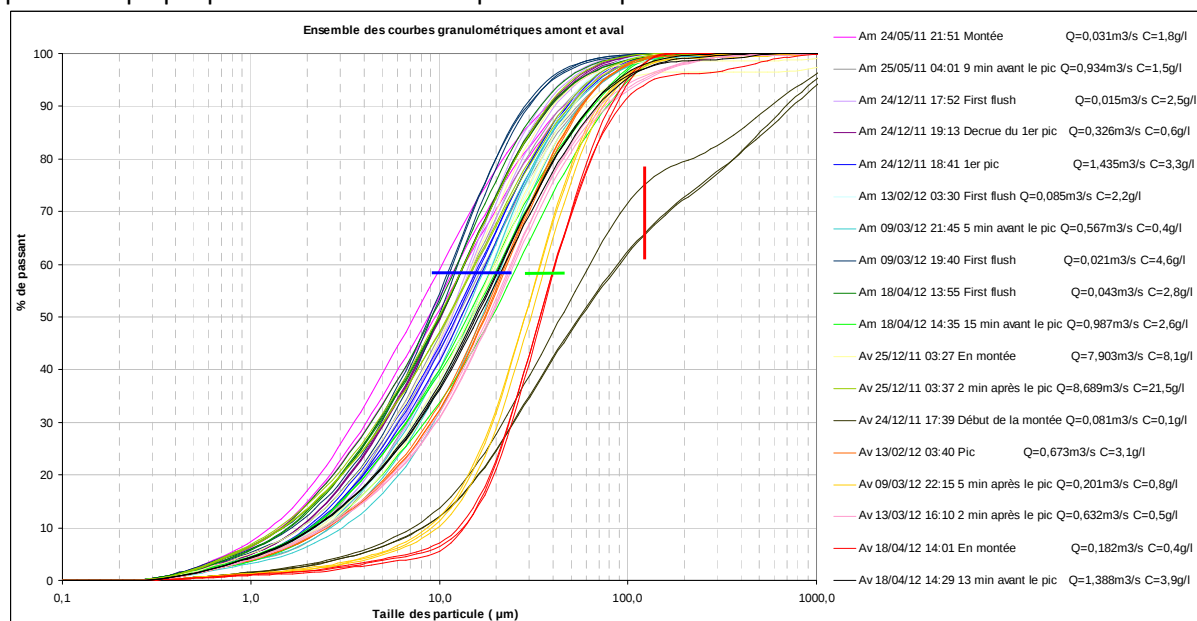


Figure 50 : Distribution granulométrique des échantillons de crue

La Figure 51 montre qu'à l'amont on peut globalement trouver une relation croissante entre

concentration et taille des grains : les échantillons les plus concentrés ont un diamètre plus élevé. A l'aval, au-delà de 0.6 g/l, les échantillons sont constitués de particules plus fines avec des D50 ne dépassant pas 15 μ , tandis que les échantillons plus faiblement concentrés contiennent des particules plus grossières.

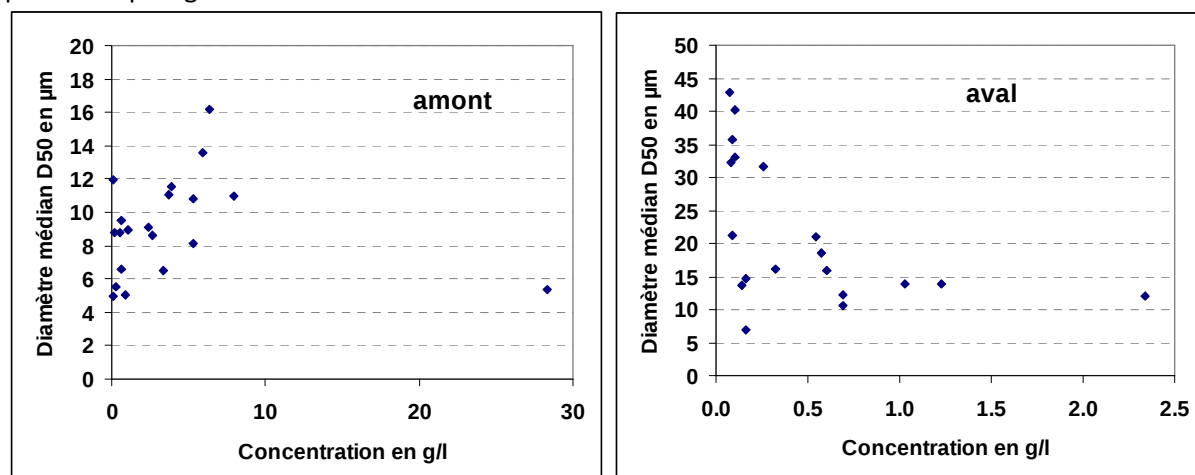


Figure 51 : Relation concentration diamètre D50 des particules de MES (campagne 2011)

Quelques exemples d'évolution des courbes granulométriques en cours de crue sont donnés en Annexe 11. On note par exemple pour la crue du 29 avril 2011 des courbes d'hystérésis dans la relation débit-taille des particules. A l'amont, les deux courbes concentration-débit et D50-débit sont de sens horaire : les échantillons sont plus concentrés et plus grossiers à la montée en crue qu'à la décrue. A l'aval, les échantillons sont légèrement plus concentrés à la décrue mais avec un matériau plus fin qu'à la montée en crue. Les deux premiers prélèvements, faiblement chargés sont nettement plus grossiers. Ceci pourrait correspondre à la mobilisation de matériaux déposés dans le lit dans les derniers tronçons avant la station de mesure. Les fines piégées dans les lits et libérées par le transport feraient partie des particules les plus grossières des fins de crue précédentes qui se seraient déposées. La Figure 52 compare les tailles de particules aux deux stations au cours de la montée de crue du 18 avril 2012.

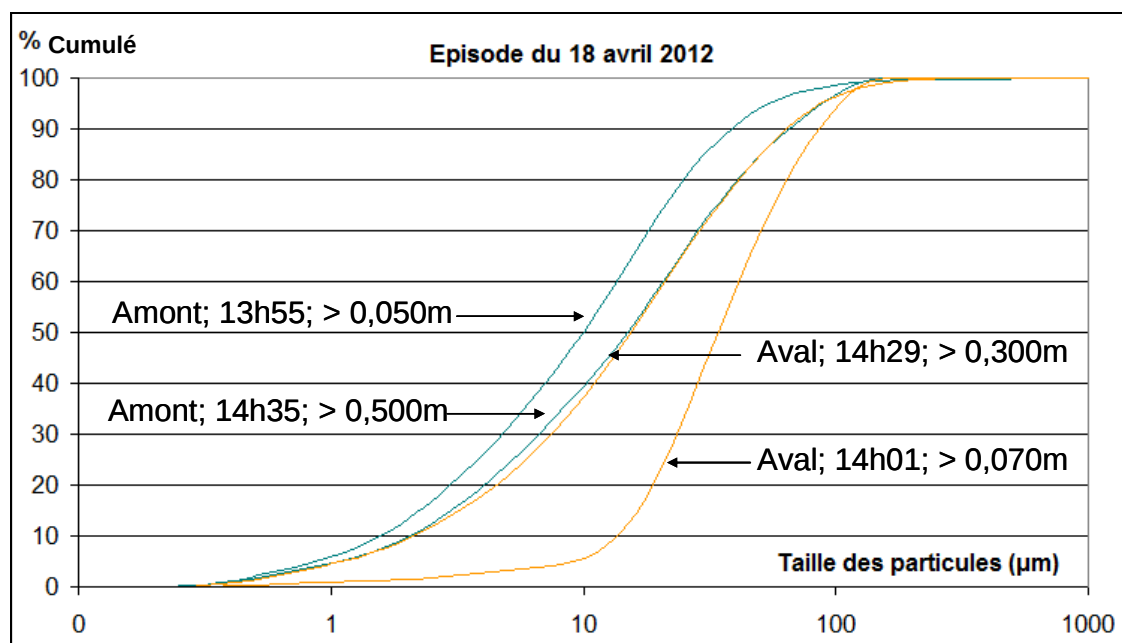


Figure 52 : courbe granulométrique de la crue de 18 avril 2012

Au début de la crue, le matériau est nettement plus grossier à l'aval qu'à l'amont. A l'amont transiteraient des particules arrachées par la pluie et par le transport tandis qu'à l'aval, comme

précédemment on commencerait par remettre en suspension des particules des dépôts du lit. Au voisinage de la pointe de crue, on serait dans une phase de transport rapide des MES dans l'écoulement ("wash load") et il n'y aurait plus de différence entre les matériaux transportés à l'amont et à l'aval. Ce type d'analyse devrait être poursuivi sur d'autres crues mais devra bénéficier de protocoles spécifiques dédiés à cette question.

4.1.2.4 Résumé et conclusion sur la granulométrie

Les matériaux transportés en suspension sont particulièrement fins, avec des diamètres médians D50 de 4 à 13 μ à l'amont et 5 à 30 μ à l'aval. Les premiers tests ne mettent pas en évidence de ségrégation dans la verticale. Cependant, un autre test a montré des tailles de grains supérieures dans les prélèvements manuels (à l'aplomb de la crépine, mais plus en surface) que dans les prélèvements ISCO concomitants. Il conviendra donc de définir des protocoles de tests à mettre en œuvre lorsqu'un opérateur est sur place en cours de crue.

A Poro amont, la granulométrie semble plus grossière lorsque la concentration est plus élevée, tandis qu'à Poro aval, on note une stabilisation du D50 autour de 10-15 μ pour les plus fortes concentrations. On a également pu observer qu'au cours d'une même crue, au voisinage du pic, la suspension bien établie était identique sur les deux stations, aux alentours de 10 μ .

La variabilité des tailles des grains en cours de crue montre une mobilisation de matériaux un peu plus grossiers, probablement des dépôts dans le lit de la crue précédente, en début de crue, puis un transport (wash load) de matériaux un peu plus fins au voisinage du pic.

La finesse des suspensions est un facteur défavorable pour l'obtention d'une décantation efficace dans les décanteurs (cf 6).

4.1.3 Flux

La méthode utilisée pour les calculs des flux de chaque épisode a été explicitée au 2.3.2. Une analyse détaillée des épisodes bien échantillonnés a tout d'abord été conduite afin de permettre l'interpolation des concentrations et les calculs de flux des épisodes moins bien échantillonnés. Au total, sur la période 2009-2012, 71 épisodes sont échantillonnés au moins à l'une des deux stations, 11 épisodes non échantillonnés à l'amont le sont à l'aval, 19 épisodes non échantillonnés à l'aval le sont à l'amont et 41 épisodes sont échantillonnés aux deux stations. La Figure 53 résume les résultats des calculs de flux pour ces épisodes. Afin de rendre le graphique lisible, l'épisode 261 du 24 décembre 2012 n'a pas été reporté sur le graphe. En effet, alors que le flux maximal à l'aval était de 18 t à l'amont et 27 t à l'aval, l'épisode 261 a produit 100 t à l'amont et 505 t à l'aval. Le cumul des flux des épisodes échantillonnés, sans le 261, atteint pour la période 138 t à l'amont et 169 t à l'aval.

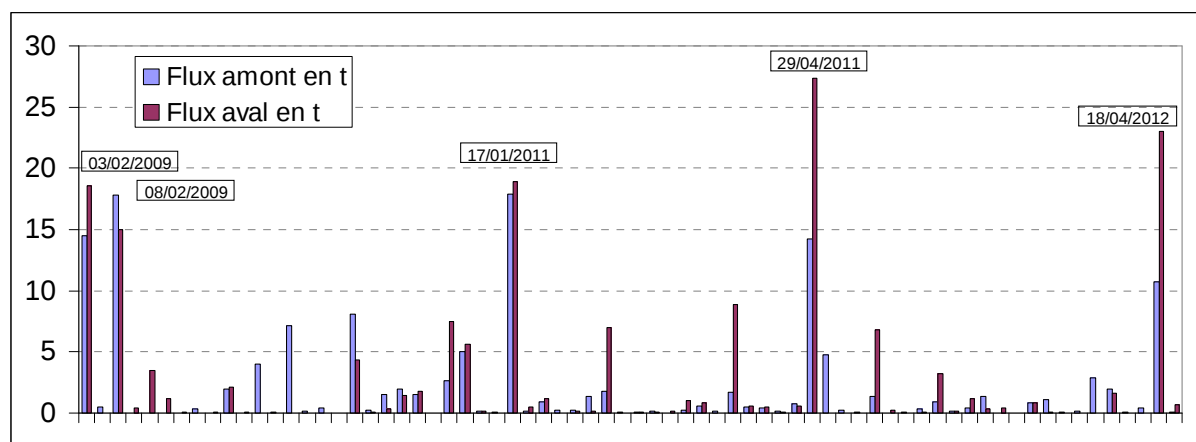


Figure 53 : flux en tonnes des épisodes échantillonnés à l'amont et à l'aval à l'exclusion de l'épisode 261 soit 70 épisodes classés par ordre chronologique (abscisse = rang de l'épisode dans la série)

L'examen des épisodes bien échantillonnés a permis de dégager un certain nombre de tendances

dans les relations concentration-débit pour faciliter les interpolations et extrapolations.

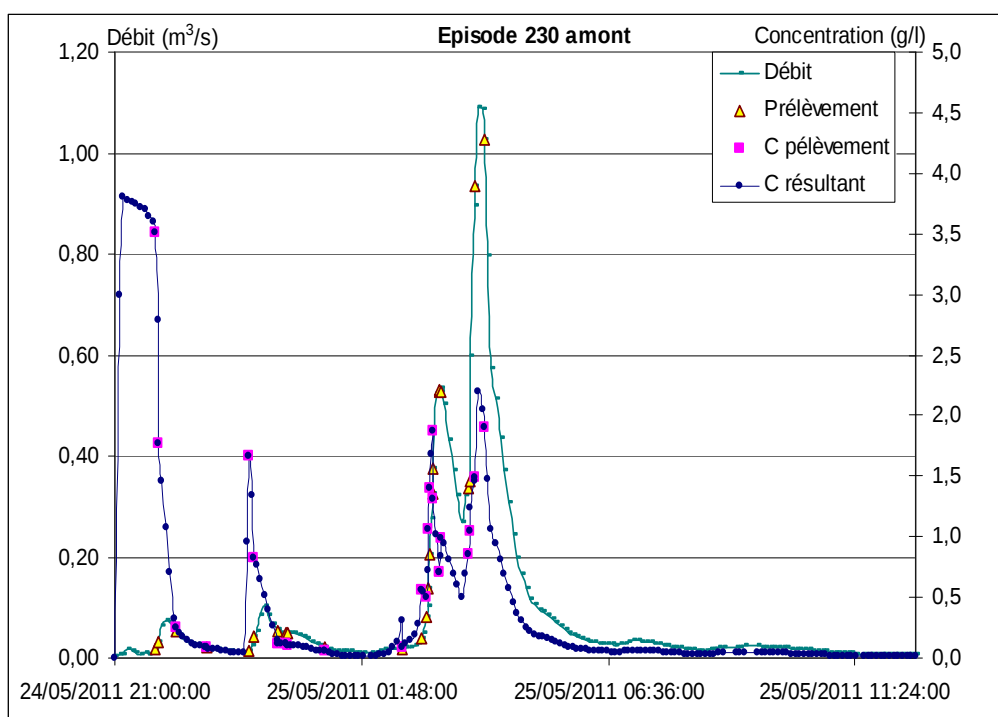


Figure 54 : exemple d'évolution des concentrations (Poro amont)

A l'amont, la relation concentration débit a une forme d'hystérésis tournant dans le sens horaire. Les concentrations sont très fortes en début de crue, elles diminuent ensuite rapidement jusqu'à la pointe de débit, puis continuent à décroître mais plus lentement pendant la décrue. Les épisodes 93, 230, 261, 295, 296, 300, 301, 303, 304 illustrent ces modes de fonctionnement (exemple Figure 54). S'il y a plusieurs montées de débit, la concentration est, en général, plus forte pour le premier pic (exemples : épisodes 93, 230, 263; exception : 295, 296, 300, 303, 304). L'épisode 230 de la Figure 54 illustre également cette situation.

A l'aval, la relation concentration débit a une forme d'hystérésis tournant dans le sens anti-horaire et la concentration est mieux corrélée au débit. Pour les crues à plusieurs pics, on observe des comportements qui peuvent être assez différents. Lorsqu'un second, troisième pic de débit survient, la concentration augmente de nouveau avec l'augmentation du débit mais dans des proportions moindres que pour les pics précédents. (exemples : épisodes 295, 296, 298, 300). Cependant, pour certains épisodes, à pics multiples, plus le pic de débit est grand plus la concentration est forte, quel que soit l'ordre des pics de débits (exemples : épisodes 287, 300 Figure 55).

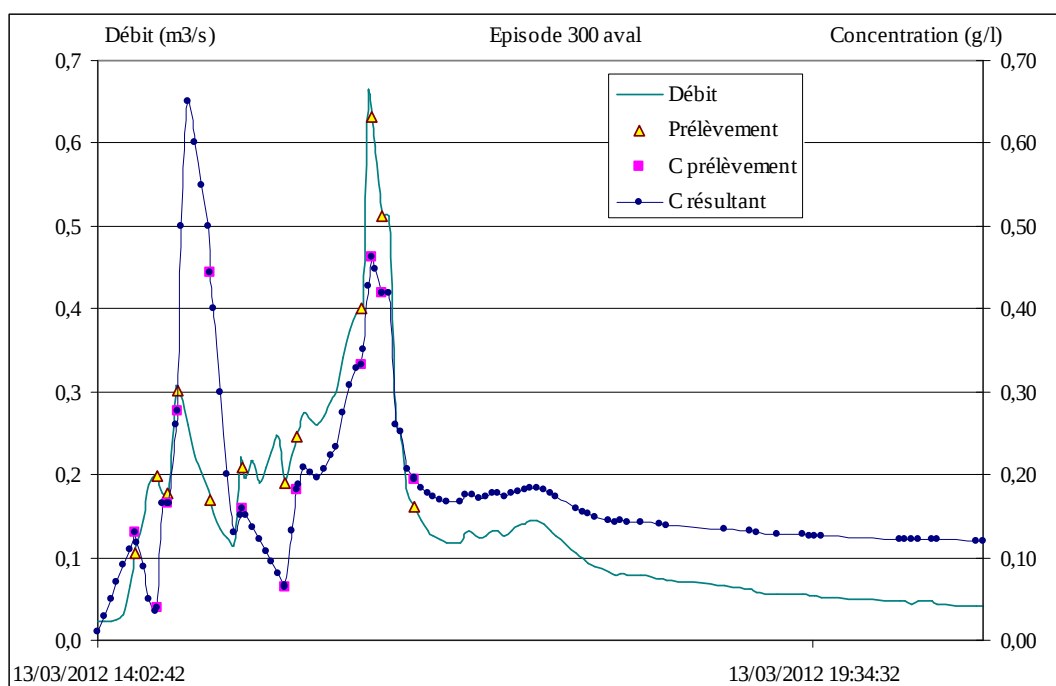
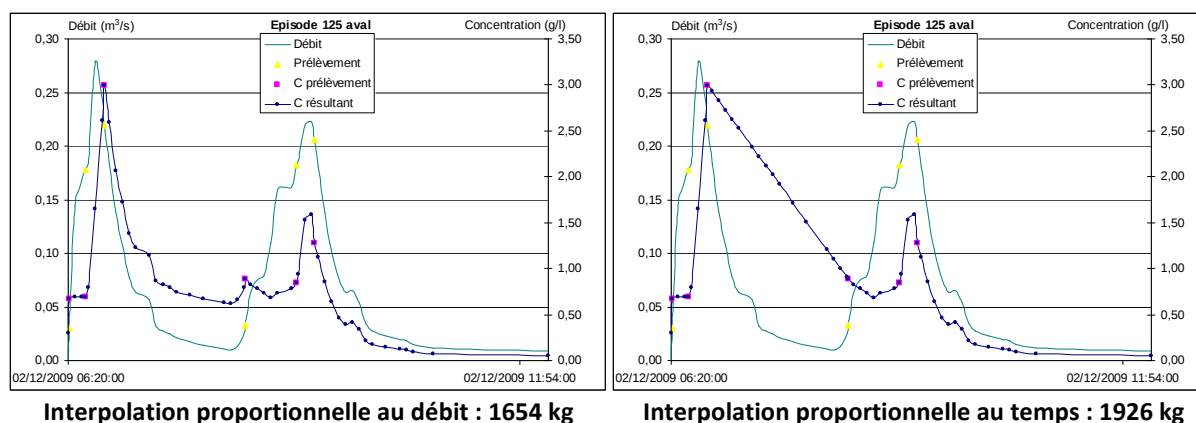
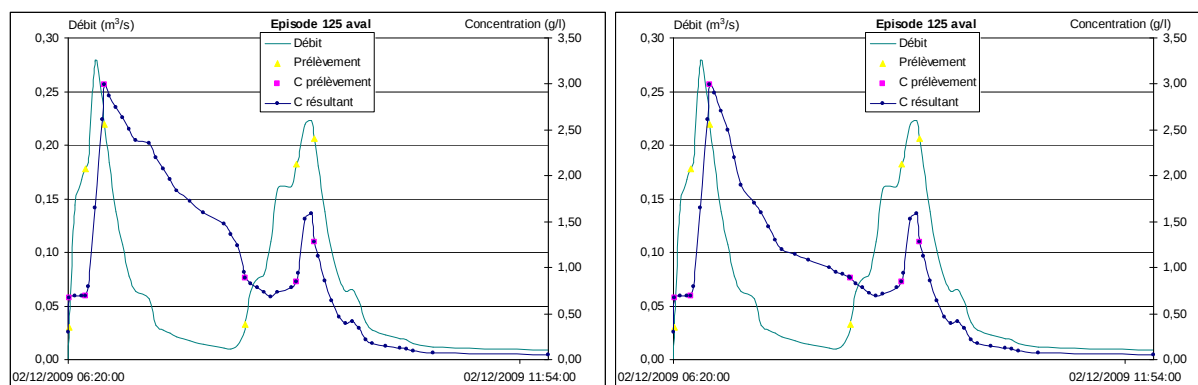


Figure 55 : Evolution des concentrations au cours de l'épisode 300 (Poro aval)

On observe parfois, mais pas dans tous les cas, que les concentrations, associées aux débits des pics suivants le premier pic, sont plus faibles que celles associées au même débit sur le premier pic (exemples : épisodes : 93, 263; exceptions : 295 et 301). Si les pics sont très rapprochés, les concentrations sont plus fortes pour le second pic (exemples épisodes : 298, 301). Certaines fois le premier pic a des concentrations très faibles en comparaison avec les autres pics (exemples : épisodes 295, 298, 301). Assez généralement, on observe que la concentration maximale arrive légèrement après le pic de débit (exemples : épisodes 93, 261, 287, 300, 301) mais peu d'épisodes ont des prélèvements suffisamment bien situés pour analyser cela. Globalement, les concentrations sont moins fortes en tout début de crue qu'à l'amont et on n'observe pas d'effet first flush à Poro aval alors qu'ils sont très fréquents à Poro amont.

Néanmoins, malgré ces observations, l'interpolation des concentrations reste une opération délicate qui nécessite une analyse experte de chaque crue. Les différentes options possibles dans le choix de l'interpolation ont des effets notables sur le résultat final du calcul de flux. La Figure 56 illustre des options différentes d'interpolation sur l'épisode 93. L'incertitude sur le résultat final est d'environ 15 %.





Interpolation "à la main" : 1913 kg
Seconde interpolation "à la main" : 1821 kg
Figure 56 : Effets des interpolations sur le calcul de flux (épisode 93 – et non 125 – Poro aval)

4.2 Elaboration d'un modèle prédictif des concentrations et des flux

Les analyses statistiques conduites sur les relations entre les concentrations ou les flux et des paramètres descriptifs des épisodes ont deux objectifs :

- Déterminer quels sont les facteurs explicatifs de la variabilité des réponses sédimentaires
- Permettre l'estimation des flux des épisodes non échantillonnés pour calculer des flux saisonniers et annuels

4.2.1 Modèle d'estimation des flux par estimation des concentrations à chaque pas de temps

Une première tentative a été faite à Poro aval de détermination des flux à partir de l'estimation, à chaque pas de temps de débit, de la concentration. Pour déterminer la concentration, les équations, concentration-débit, obtenues pour chaque pic sont utilisées (cf. 4.1.1.2). Les équations sont les suivantes :

- 1^{er} pic de crue : $C = 3.2932 \cdot Q - 0.0887$
- 2nd pic de crue : $C = 0.6746 \cdot Q + 0.3651$
- 3^{ème} pic de crue : $C = 1.9043 \cdot Q - 0.0179$
- 4^{ème} et plus pic de crue : $C = 2.0431 \cdot Q - 0.2524$

La concentration obtenue est en g/l. Pour les pics 1, 3, 4 et plus, pour certains débits, ces équations peuvent donner des concentrations associées négatives qui sont alors remplacées par 0. Le modèle a été testé sur 10 épisodes échantillonnés de pluie faible à très forte. Les résultats numériques et graphiques sont présentés dans le Tableau 21 et la Figure 57.

Tableau 21 : Estimation des flux aval par le modèle d'estimation des concentrations à chaque pas de temps

N°	Flux en kg		
	Observé	Prévu avec -	Prév sans -
15	18585	19537	19842
19	14988	17671	17671
22	428	1151	1151
41	2096	4387	4387
126	5586	6987	7016
178	1231	-138	193
205	812	2533	2533
215	8826	4800	4800
257	225	190	202
315	23043	23120	23120

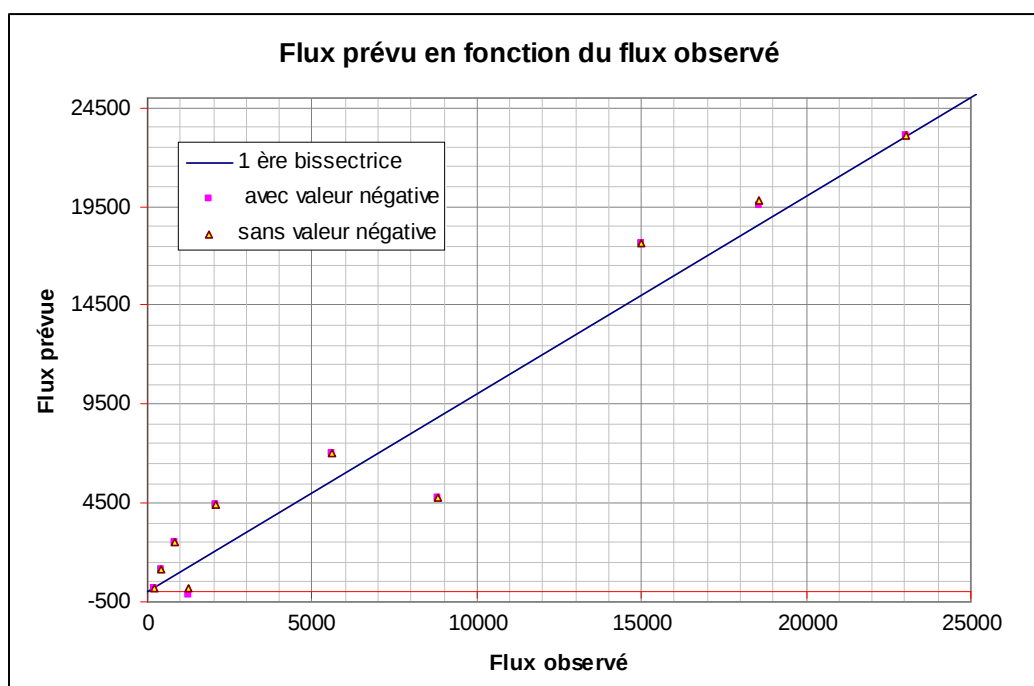


Figure 57 : Estimation des flux aval par le modèle d'estimation des concentrations à chaque pas de temps

Les flux prévus par ce modèle seraient à 70% sur-évalués. Cependant, les flux observés de plus de 10 t présentent un écart relatif inférieur à 20% tandis que les flux observés de moins de 1 t seraient prévus avec un écart relatif inférieur à 100%. Cette méthode semble donc assez efficace pour estimer les flux importants mais moins fiable pour les flux moyens à faibles. De plus, elle ne serait pas applicable à Poro amont car de telles relations Concentration-Débit n'ont pu y être établies.

4.2.2 Modèles simples de prédiction des flux à partir du débit de pointe

Les tableaux de corrélation fournis en Annexe 8 ont montré qu'il existait une bonne corrélation entre le flux et le Qmax. Certes, cette bonne corrélation est un peu surfaite puisque le calcul du flux est la somme de produits concentration-débit, ou le produit du volume écoulé par la concentration moyenne. Le débit de pointe est fortement lié au volume écoulé, d'autant plus qu'à Poro les hydrogrammes sont globalement triangulaires. L'élaboration d'un modèle de prédiction à partir des débits est néanmoins une démarche fructueuse car le débit de pointe est une variable facilement accessible à l'échelle de l'épisode. Les modèles qui suivent ont été élaborés directement dans un tableur (Excel) à partir des graphes flux-débit.

Le graphique de la Figure 58 donne la relation entre le flux et le débit maximal à l'amont avec et sans l'épisode 261. Pour plus de lisibilité sur le graphique, le point correspondant à l'épisode 261 n'est pas visible. Les deux courbes de tendances sont quasiment confondues pour l'ensemble des épisodes sauf le 261. Par contre le coefficient de corrélation est nettement meilleur dans le cas où l'épisode 261 est pris en compte. En effet cet épisode a tendance à tirer vers le haut le coefficient de corrélation du fait de ses très fortes valeurs.

Le graphique de la Figure 92 en Annexe 12 présente la même analyse en séparant les épisodes forts des épisodes moyens à faibles (seuil de 85 mm). Les résultats ne montrent pas d'amélioration par rapport au modèle précédent.

Plusieurs autres essais de catégorisation ont été menés et sont présentés également en Annexe 12 :

- plus ou moins de 40 mm
- plus ou moins de 35 mm
- moins de 20 mm, entre 20 et 85 mm, plus de 85 mm
- moins de 20 mm, entre 20 et 40 mm, plus de 40 mm

Parmi les méthodes prenant en compte une catégorisation de la pluie, la méthode séparant l'échantillon au seuil de 40 mm donne les meilleurs résultats.

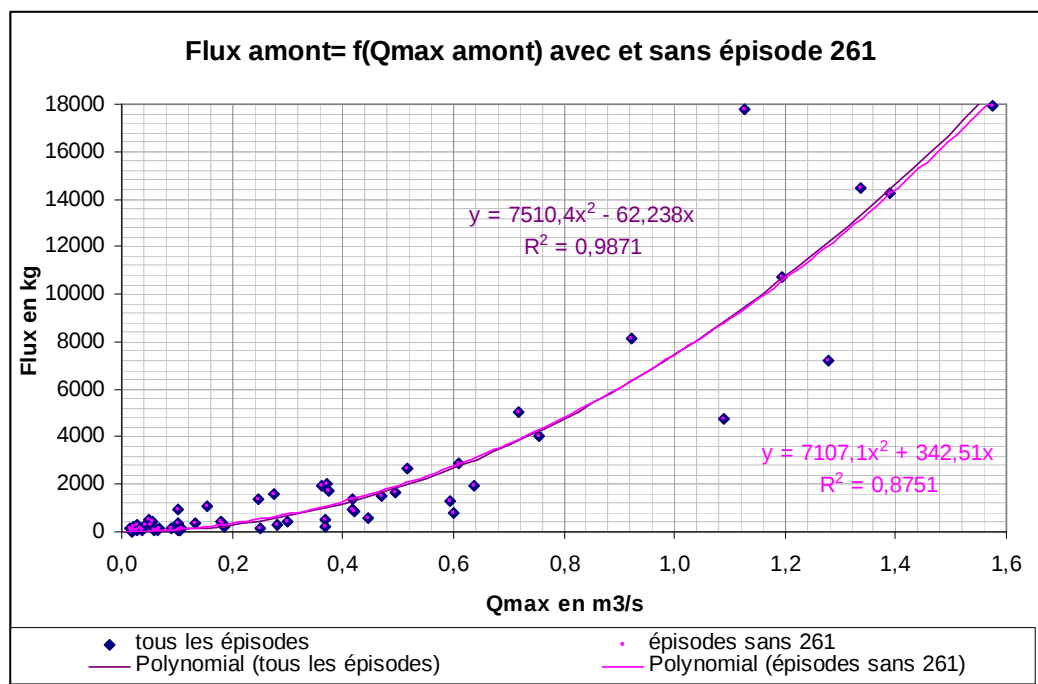


Figure 58 : Relation Flux-débit à Poro amont

4.2.3 Modèles de régression simple ou multiple

A l'aide du logiciel Statistica plusieurs modèles de prédiction des flux ont été testés. L'épisode 261 est éliminé de l'élaboration des modèles mais, pour chaque modèle testé, le calcul du flux de cet épisode est testé.

4.2.3.1 Poro amont

Un extrait de la matrice de corrélation amont est donné dans le Tableau 22. Cette matrice a aidé au choix des variables prédictives.

Tableau 22 : Matrice de corrélation des variables explicatives des concentrations et des flux

	Nom	pluie	durée	Ts	P+IPA M2;0,7	lmax 15	lmax 60	lmax 120	lmax 1440	htot15	htot40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Qmax
Cmax	tout	0,29	0,10	0,12	0,13	0,51	0,38	0,29	0,25	0,29	0,27	0,08	0,12	0,36	0,22	0,02	0,31
	-261	0,36	0,09	0,12	0,10	0,58	0,45	0,37	0,34	0,49	0,59	0,06	0,12	0,35	0,28	0,00	0,36
Cmoy	tout	0,14	-0,13	0,04	0,11	0,32	0,32	0,26	0,17	0,23	0,26	-0,22	0,09	0,19	0,14	-0,23	0,27
	-261	-0,03	-0,18	0,05	0,01	0,26	0,26	0,18	-0,01	0,12	0,23	-0,28	0,08	0,16	-0,06	-0,29	0,18
Flux	tout	0,87	0,29	-0,02	0,53	0,73	0,80	0,89	0,92	0,96	0,98	0,28	0,10	0,30	0,93	0,40	0,88
	-261	0,65	0,29	-0,05	0,22	0,57	0,59	0,66	0,66	0,74	0,77	0,26	0,12	0,32	0,72	0,55	0,89

Les modèles testés sont des modèles de types puissance. Sous Statistica, l'élaboration de ces modèles part d'un modèle logarithmique. Une fois les variables du modèle choisies, l'élaboration du modèle se fait par la construction d'un modèle de régression linéaire sur les logarithmes des variables. Cette étape permet de disposer d'un premier jeu de paramètres pour l'initialisation du modèle non linéaire sur les variables non transformées.

Les différents tests menés étaient les suivants :

- Test de modèles avec des variables bien corrélées au flux ayant déjà été utilisés lors de tests précédents

- Réalisation de régression pas à pas ascendante pour le choix des variables des modèles ultérieurs
- Test de modèles avec variables ressorties lors des régressions pas à pas ascendantes
- Test de modèles avec une seule variable prédictive

Une fois le modèle obtenu, on teste ses performances sur l'épisode 261. Les résultats du modèle sur les épisodes "ordinaires" et sur l'épisode 261 permettent de discuter son adéquation pour la prédiction des flux.

Modèle 1 fonction de la Pluie moyenne Pmoy, de la lame ruisselée Lr et de la pluie avec seuil Htot15

Les équations des modèles logarithme et puissance sont les suivantes :

$$\begin{aligned}\ln(\text{flux}) &= 1.553 + 0.276 * \ln(\text{Pmoy}) + 0.322 * \ln(\text{Htot15}) + 0.403 * \ln(\text{Lr}) \\ \text{Flux} &= 85.89 * \text{Pmoy}^{-3.38} * \text{Htot15}^{2.68} * \text{Lr}^{2.17}\end{aligned}$$

Les résultats montrent de grands écarts entre les flux observés et les flux prévus. Les flux prévus sont majoritairement sous évalués. L'épisode 261 aurait un flux de 2086 kg avec le modèle logarithmique et de 385896 avec le modèle puissance. Le flux observé de cet épisode est de 100 076 kg. Les deux modèles évaluent très mal ce flux. L'un le sous-estime énormément, lui donnant une valeur de flux fréquemment rencontré, l'autre le surestime grandement.

Modèle 2 fonction de Htot15, Qmax et Imax60

A la suite d'une régression linéaire pas à pas ascendante sur les logarithmes, les variables Qmax et Htot15, seulement, sont sélectionnées. L'équation est la suivante :

$$\ln(\text{flux}) = 6.69 + 0.686 * \ln(\text{Qmax}) + 0.257 * \ln(\text{Htot15})$$

L'équation du modèle puissance est la suivante :

$$\text{Flux} = 2299 * \text{Qmax}^{1.718} * \text{Htot15}^{0.289}$$

Les flux dans le cas du modèle puissance sont bien répartis autour de la première bissectrice, surtout pour les flux de moins de 2 t (Figure 59). Un seul épisode est assez éloigné de la droite (n°19). Trois autres épisodes sont également un peu éloignés de la droite : le 47, le 60 et le 230. Les autres épisodes ont une bonne réponse des flux prévus. Pour les flux de moins de 4 t, les écarts entre flux prévus et flux observés peuvent être assez importants. Certains de ces écarts sont de plus de 300 %. Même si les écarts sont importants, il y a une assez bonne répartition des épisodes autour de la première bissectrice. Les flux prévus de moins de 100 kg sont tous sous évalués.

Avec, ces variables le flux de l'épisode 261 est de 9387 kg avec l'estimation logarithmique et de 124373 kg avec l'estimation puissance. Le flux prédit par le modèle puissance est assez proche de la réalité.

Modèle 3 fonction de Htot15, Imax1440 et Imax60

Ce modèle a été créé de façon à ne prendre en compte que des paramètres liés à la pluie. A la suite d'une régression linéaire pas à pas ascendante, les variables retenues sont Imax1440 et Imax60. La troisième variable d'entrée proposée, Htot15, n'a pas été sélectionnée. Les équations obtenues sont les suivantes :

$$\begin{aligned}\ln(\text{flux}) &= 3.291 + 0.587 * \ln(\text{Imax1440}) + 0.324 * \ln(\text{Imax60}) \\ \text{Flux} &= 14.65 * \text{Imax1440}^{1.269} * \text{Imax60}^{1.230}\end{aligned}$$

Les flux prévus par le modèle puissance sont, pour beaucoup, très éloignés des flux observés. Certains sont extrêmement sous évalués, d'autres extrêmement sur évalués. Un modèle uniquement sur ces deux paramètres ne paraît pas judicieux. Le flux prévu pour l'épisode 261 est de 240 t soit une surévaluation de plus de 200%.

Modèle 4 fonction de Htot15

Le modèle puissance établi est le suivant :

$$\text{Flux} = 14.558 * \text{Htot15}^{1.444}$$

Ce modèle avait pour but de voir les résultats que donnerait un modèle à une seule variable de pluie. Htot15 a été pris pour sa bonne corrélation avec le flux. Le flux de l'épisode 261 serait de 98.7 t, donc très proche du flux observé. Cependant les flux de moins de 4 t sont majoritairement sur évalués.

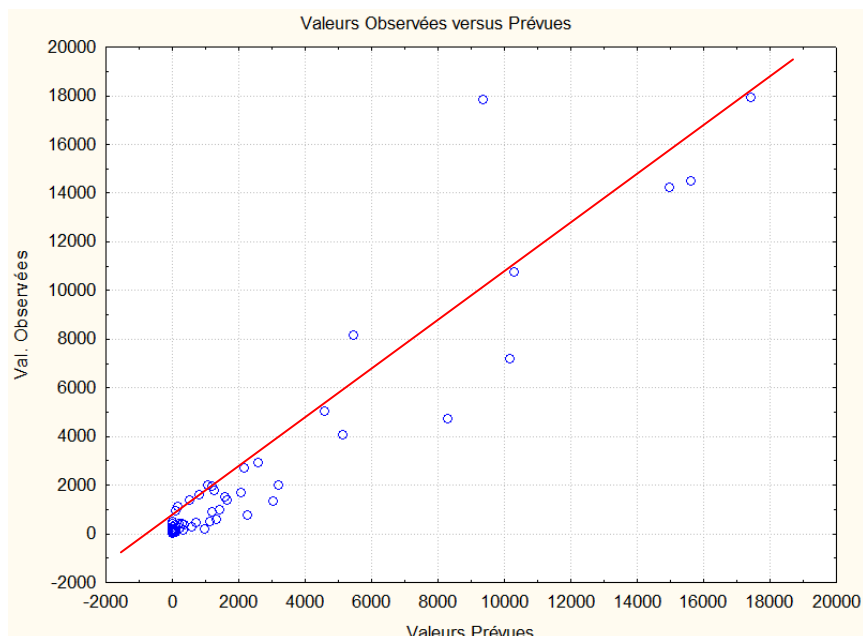


Figure 59 : Résultats du modèle en fonction de Qmax et Htot15

Modèle 5 fonction de Qmax

L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 7490.36 * \text{Qmax}^{1.941}$$

Cette méthode prend en compte une unique variable de débit, qui est le débit de pointe. Cette variable est la mieux corrélée aux flux. Les résultats sont très proches des résultats du modèle puissance prenant en compte Qmax et Htot15 (Figure 60). Le flux de l'épisode 261 serait de 93 t. Ce flux est très proche du flux observé (moins de 10% d'erreur).

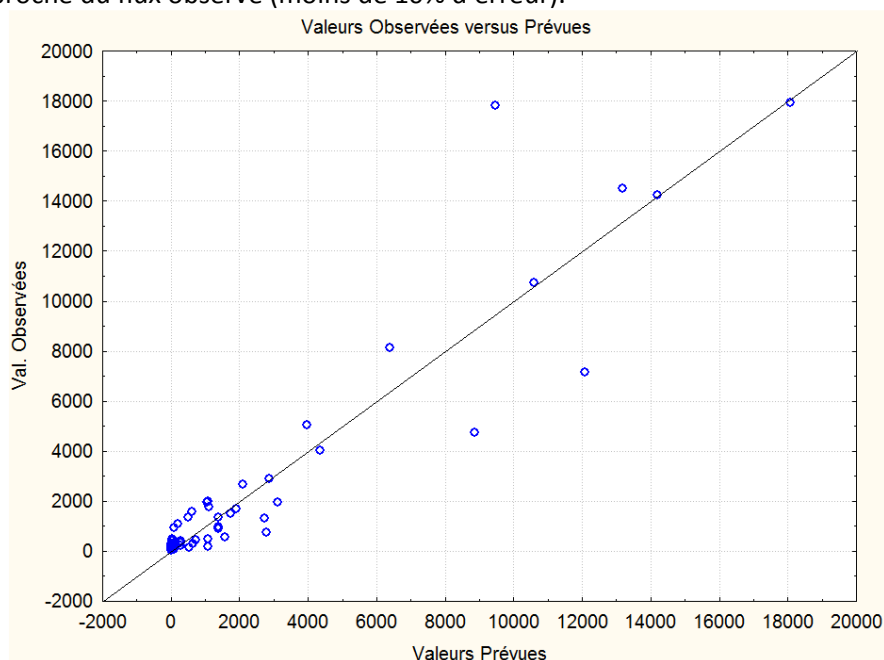


Figure 60 : Résultats du modèle puissance avec le Qmax (Poro amont)

4.2.3.2 Poro aval

Une partie des modèles aval s'appuieront sur les choix de variables issues des calages des modèles amont.

Modèle 1 fonction de Htot15 Imax60 et Qmax

L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 52.97 * Q_{\text{max}}^{0.926} * H_{\text{tot15}}^{0.561} * I_{\text{max60}}^{0.698}$$

Autant pour les fortes valeurs que pour les faibles, les flux calculés sont assez éloignés des valeurs observées. Le flux prévu de l'épisode 261 serait de 336 t. Le flux observé de cet épisode est de 500 t. Soit un écart de moins de 50 %. Parmi tous les modèles testés actuellement à l'aval, c'est celui qui donne un flux prévu pour l'épisode 261 le plus proche du flux observé.

Modèle 2 fonction de Htot15 et Qmax

L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 516.66 * Q_{\text{max}}^{1.147} * H_{\text{tot15}}^{0.624}$$

Ce modèle était celui qui donnait de bons résultats pour l'amont. A l'aval, certains flux prévus sont assez éloignés des flux observés. Le flux de l'épisode 261 serait de 284t avec ce modèle soit presque 50% d'erreur.

Modèle 3 fonction de Htot15

L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 32.986 * H_{\text{tot15}}^{1.302}$$

Les flux prévus par ce modèle ont tendances à être assez éloignés des flux observés. Les écarts entre flux prévus et flux observés sont importants et sont fréquemment supérieurs à 80%. Pour les faibles flux observés, les flux prévus sont en majorités surestimés. Avec ce modèle le flux de l'épisode 261 est très sous estimé : 85 t .

Modèle 4 fonction de Qmax

L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 6599 * Q_{\text{max}}^{1.469}$$

Ce modèle prévoit pour l'épisode 261 un flux de 172 t, soit plus de 65% d'écarts avec le flux observé. Dans ce modèle également les écarts flux observés et flux prévus sont importants.

Modèle 5 fonction de Imax60 et Imax1440

L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 3.675 * I_{\text{max60}}^{1.725} * I_{\text{max1440}}^{1.056}$$

Ce modèle fait partie des meilleurs modèles de l'évaluation du flux de l'épisode 261. Le flux prévu est de 307 t, soit un écart de moins de 40%. Cependant pour les autres épisodes les écarts sont également importants pour des flux habituels.

Modèle6 fonction de Pmoy P+IPA Imax60 Htot15 Qmax

A la suite d'une régression multiple ascendante pas à pas sur les logarithmes d'un jeu de variables (Pmoy P+IPA Imax60 Htot15 Qmax mais aussi Lr, Imax15, Imax120, Imax1440, Htot40), un premier lot de variables a été retenu par cette méthode. Le modèle puissance a alors été calé sur ces variables. L'équation du modèle puissance est :

$$\text{Flux} = 0.115 * P_{\text{moy}}^{2.277} * P+IPA^{-0.056} * Q_{\text{max}}^{0.941} * H_{\text{tot15}}^{-1.786} * I_{\text{max60}}^{2.302}$$

Les écarts entre les valeurs observées et les valeurs prévues sont moindres que dans les autres modèles (Figure 61). Le flux prévus pour l'épisode 261 est énormément surestimé avec une erreur supérieure à 100%. Le flux prévu est de 1189 t.

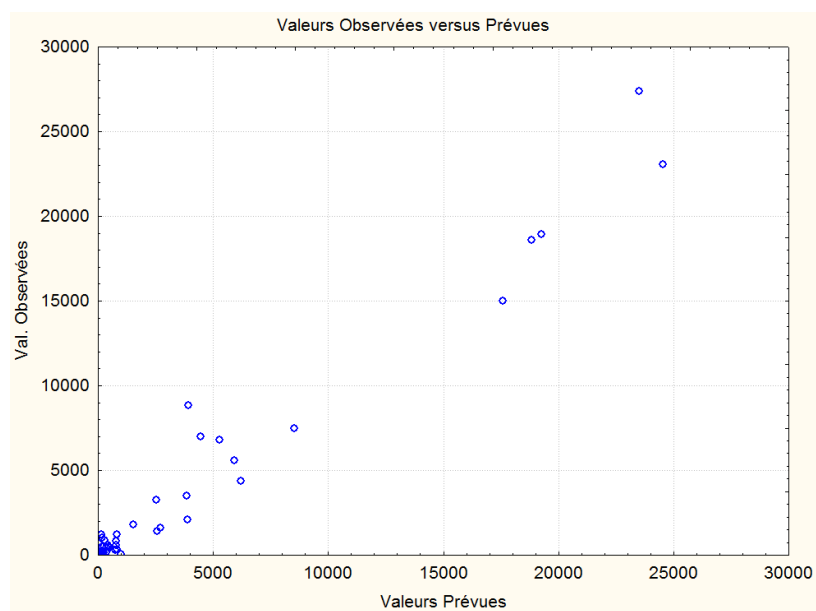


Figure 61 : performance du modèle puissance avec les paramètres de pluie (Poro aval)

4.2.3.3 Bilan sur les modèles de régression

De nombreuses variables ont été testées pour établir ces modèles de régression. Les seules variables pertinentes sont le débit de pointe Q_{max} et les variables décrivant le cumul et/ou l'intensité de la pluie. Parmi celles-ci, la variable H_{tot15} donnant le cumul de pluie au dessus du seuil d'intensité 15 mm/hl est pertinente et aisée à calculer. Ces résultats sont voisins de ce qui a pu être observé sur les bassins de Tahiti (Wotling et Bouvier, 2002) où le débit de pointe et la durée de dépassement du seuil d'intensité (donc fortement liée au cumul au dessus de ce seuil) étaient les variables des modèles de prédiction. Dans un contexte différent, avec un transport solide très intense, les modèles calés sur les bassins de Draix dans les Alpes du Sud retenaient également ces variables Q_{max} et H_{tot15} (Mathys, 2006).

A Poro amont, trois modèles ont des performances voisines, faisant intervenir Q_{max} seul, H_{tot15} seule, ou une combinaison de ces deux paramètres. Les résultats sont moins satisfaisants à Poro aval.

Le modèle réunissant H_{tot15} et Q_{max} sous-estime fortement les flux de l'épisode 261. Le modèle 6 à cinq variables donne de meilleurs résultats sur l'ensemble de la série tout en surestimant fortement la production de l'épisode 261. Mais le flux de cet épisode risquant d'être sous-estimé du fait des écoulements dérivés (cf. 5.3.3) et il est donc judicieux de privilégier ce modèle qui surestime le flux de l'épisode 261. Son inconvénient est de nécessiter cinq paramètres.

4.2.4 Modèle à partir de l'arbre décisionnel

L'esprit de cette méthode est de déterminer le flux d'un épisode non échantillonné à l'aide d'une méthode de classification. Les épisodes sont classés en différentes catégories en fonction de la valeur du flux. On essaie ensuite de caractériser chacune de ces catégories au regard des valeurs qu'y prennent un certain nombre de variables explicatives. On pourrait dire que ces variables doivent être discriminantes pour les catégories. On établit ensuite une hiérarchie entre les paramètres explicatifs qui permettront de progresser dans l'arbre décisionnel. Par étape successives, un épisode non classé va se classer dans des groupes de catégories de plus en plus précis pour finir par se voir attribuer une catégorie donc une fourchette de valeurs de flux.

Les flux ont été découpés en 9 catégories :

- Catégorie 1 : flux supérieur à 23 t
- Catégorie 2 : flux compris entre 14 t et 19 t
- Catégorie 3 : flux compris entre 5 t et 11 t

- Catégorie 4 : flux compris entre 2 t et 5 t
- Catégorie 5 : flux compris entre 1 t et 2 t
- Catégorie 6 : flux compris entre 0.5 t et 1 t
- Catégorie 7 : flux compris entre 0.2 t et 0.5 t
- Catégorie 8 : flux compris entre 0.1 t et 0.2 t
- Catégorie 9 : flux inférieur à 0.1 t

Les catégories sont identiques à l'amont et à l'aval, seul l'effectif de chaque catégorie est différent

4.2.4.1 Poro Aval

Les variables qui servent de critères de décisions sont : Q_{max} , I_{max15} , P_{moy} , CE , I_{max120} , L_r , D_c et T_s . Le tableau de l'Annexe 13 présente pour chaque catégorie de flux la valeur minimum (en blanc) et la valeur maximum (en gris) de différents paramètres. Les épisodes ayant un débit supérieur à $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$, et seulement ceux-là, ont un flux supérieur à 14 t. Parmi ces épisodes, ceux ayant une intensité maximale sur 15 min de plus de 110 mm/hl ont un flux supérieur à 23 t.

Ces deux critères permettent de classer facilement les épisodes en catégories 1 et 2. Pour les autres épisodes il est plus difficile de donner des critères précis, valables tout le temps, de façon à déterminer le flux en fonction de tel ou tel paramètre. Toutefois les épisodes n'étant pas compris dans les catégories 1 et 2 et ayant une intensité sur 15 min de plus de 80 mm/hl ont un flux entre 5 t et 11 t. Les épisodes ayant un débit inférieur à $0.697 \text{ m}^3/\text{s}$ ont un flux de moins de 2 t. Cependant certains épisodes ont un flux de moins de 2 t sans pour autant avoir un débit inférieur à $0.697 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2.4.2 Poro amont

Le second tableau de l'Annexe 13 présente pour chaque catégorie de flux la valeur minimum (en blanc) et la valeur maximum (en gris) des différents paramètres. Tous les épisodes ayant un H_{tot40} supérieur à 44 ont un flux supérieur à 14 t et seulement ces épisodes. Tous les épisodes ayant une pluie moyenne ou une pluie au pluviomètre amont de moins de 24 mm ont un flux inférieur à 0.5 t. Tous les épisodes ayant un débit inférieur à $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ont un flux de moins de 5 t. Ceux ayant un débit de moins de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ ont un flux de moins de 1 t. Enfin ceux ayant un débit de plus de $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ont un flux de plus de 1 t. Tous les épisodes ayant une intensité maximale sur 15 min de plus de 80 mm/hl ont un flux de plus de 1 t tandis que ceux ayant une intensité maximale sur 15 min de moins de 28 mm/hl ont un flux de moins de 2 t.

4.3 Reconstitution des flux des épisodes non échantillonnés et calcul des flux annuels

A partir des différents modèles puissances amont et aval, le flux des épisodes non échantillonnés a été calculé. Les résultats en fonction des années, de la pluie et des différents modèles sont donnés dans les tableaux suivants (Tableau 23 et Tableau 24)

Dans ces tableaux, les cumuls annuels correspondent aux valeurs mesurées pour les épisodes échantillonnés et aux valeurs estimées par les modèles pour les autres.

Le flux des épisodes échantillonnés représente plus de 75 % du flux calculé total à l'amont (85 % en prenant en compte l'épisode 261) et 60% du flux calculé total à l'aval (85% en prenant en compte l'épisode 261). On peut donc admettre que les estimations de flux annuels par ces méthodes sont assez fiables.

A l'amont les modèles qui donnent pour les épisodes échantillonnés les meilleurs résultats sont le numéro 2 (Q_{max} et $htot15$) et le numéro 5 (Q_{max}). A l'amont les résultats annuels obtenus pour les modèles 2 et 5 sont très proches.

A l'aval, ce sont les modèles numéro 2 (Q_{max} et $htot15$), numéro 6 (P_{moy} , $P+IPA$, Q_{max} , $htot15$, I_{max60}) et le numéro 7 (variable arbre décisionnel) qui donnent les meilleurs résultats pour les

épisodes échantillonnés. Les résultats annuels obtenus pour les modèles 2, 6 et 7 sont voisins.

Tableau 23 : comparaison des flux annuels estimés en fonction du modèle de reconstitution (Poro amont)

Flux amont en tonnes	Nb épisodes échantillonnés	Effectif	1	2	3	4	5	6
Total	60	252	276	281	269	325	281	247
Total sans 261	59	251	176	181	169	225	181	147
2009	16	81	71	77	69	82	79	66
2010	2	48	14	12	14	36	11	8
2011	26	75	152	150	157	166	150	149
2011 sans 261	25	74	52	50	57	66	50	49
2012	16	48	38	42	30	46	40	24
<20mm	10	160	8	4	16	25	5	2
20-85mm	40	77	61	65	68	82	66	61
>85mm	10	15	207	212	184	218	210	184
>85mm sans 261	9	14	107	112	84	118	110	83

Tableau 24 : comparaison des flux annuels estimés en fonction du modèle de reconstitution (Poro aval)

Flux aval en tonnes	Nb épisode échantillonné	Effectif	1	2	3	4	5	6	7
Total	52	154	780	790	799	801	787	812	789
Total sans 261	51	153	274	284	293	296	281	307	283
2009	14	35	70	76	80	86	67	73	69
2010	3	23	30	29	45	28	44	37	42
2011	23	65	593	594	609	597	598	594	594
2011 sans 261	22	64	87	88	103	91	92	88	88
2012	12	31	89	93	74	92	82	109	87
<20mm	7	70	6	7	23	14	7	3	5
20-85mm	37	69	100	103	116	116	101	98	106
>85mm	8	15	674	679	660	672	679	711	678
>85mm sans 261	7	14	169	174	154	166	174	206	172

Le flux de l'ensemble de la période étudiée sans l'épisode 261 varie en fonction des modèles entre 147 t et 225 t pour l'amont et entre 274 t et 307 t pour l'aval. Pour les modèles pré retenus le flux de la période d'étude est de 181 t à l'amont et varie entre 283 t et 307 t à l'aval. Le modèle en fonction du débit maximal et de $htot15 (n^2)$ estime un flux sur la période de 181 t à l'amont et de 284 t à l'aval.

Pour l'année 2009, le flux amont est légèrement plus important que le flux aval, ce qui n'est pas vrai les autres années. Pour 2010, 2011 et 2012 le flux aval est nettement plus élevé que le flux amont. En 2009 il y a eu seulement 35 épisodes qui ont ruisselé à l'aval contre 81 à l'amont.

Les épisodes de moins de 20 mm, bien qu'en nombre important, participent peu au flux global. Les plus gros contributeurs du flux sont les épisodes de plus de 85 mm et cela même sans l'épisode 261, et malgré leur faible nombre

Le flux de l'épisode 261 représente à l'amont 1/3 du flux global de la période. A l'aval il représente 7/10 du flux global. Ce seul épisode a donc exporté en quelques heures deux fois plus de matières en suspension que toutes les crues des quatre années d'observation. La contribution dominante de quelques épisodes exceptionnels dans les flux solides est un phénomène identifié sur d'autres bassins en érosion active. A Tahiti, Wotling et Bouvier (2002) ont ainsi noté qu'en quelques heures un seul événement extrême pouvait générer un flux équivalent à plusieurs années hydrologiques moyennes.

Le flux moyen spécifique interannuel exporté à Poro aval, pour la période 2009-2012, atteint 234 t/km²/an sans l'épisode du 24 décembre 2011 et dépasse 645 t/km²/an avec cet épisode. Sur trois années d'observation, les flux solides mesurés sur un petit bassin de Tahiti soumis à des travaux de terrassement intenses s'élevaient à 700 t/km²/an. L'absence de données disponibles sur d'autres bassins miniers sur ce type de sol et sous climat tropical permet difficilement de situer le niveau des flux mesurés à Poro.

4.4 Résumé et conclusion sur les flux de sédiments

Au cours des 4 années de mesures 2009-2012, 71 crues ont été échantillonnées à l'une au moins des deux stations de Poro dont 41 simultanément aux deux stations. Ceci représente un millier d'échantillons qui ont été prélevés, transportés à Nouméa et analysés au PPME. L'absence d'échantillons en cours de crue est due dans la plupart des cas au fait que les 24 flacons disponibles étaient déjà pleins. Les défauts de prélèvements par panne du matériel sont rares. Ceci confirme la fiabilité du matériel mis en place mais aussi la nécessité d'associer des personnels du CFTMC sur place à Poro pour améliorer la gestion des relevés de préleveurs.

Les concentrations mesurées varient entre 0.002 g/l et 28 g/l. Les concentrations sont en moyennes plus faibles à l'aval qu'à l'amont, sauf pour la crue du 25 décembre 2011. Seulement 10 % des prélèvements à l'aval et 22 % à l'amont ont des concentrations supérieures à 2 g/l.

On n'observe pas de relation claire entre concentration et débit sur l'ensemble des échantillons de chaque station. Néanmoins, à l'échelle d'un épisode, on observe fréquemment les classiques courbes d'hystérésis : à Poro amont, les crues sont généralement plus chargées en montée qu'en décrue. La situation inverse s'observe à Poro aval. Ceci indiquerait qu'à Poro amont on mesure des charges en sédiments récemment arrachés par les précipitations auxquelles s'ajoute fréquemment la reprise par un effet de chasse de matériaux déposés sur les pistes, dans les fossés ou sur les plateformes de stockage. Les phénomènes d'arrachement dominant à Poro amont, ceux de transport dominant à Poro aval.

Les matériaux en suspension sont très fins avec des diamètres médians (D50) s'étageant, entre 4 et 13 µ à l'amont, 5 et 30 µ à l'aval.

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

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

Les variables les plus pertinentes pour estimer le flux solide d'un épisode pluvieux sont le débit maximal de l'épisode et la fraction intense des précipitations de cet épisode. En l'absence de données de débit, une estimation reste possible à partir de l'intensité maximale en 1 et 24 heures.

Le flux moyen spécifique interannuel exporté à Poro aval, pour la période 2009-2012, atteint 234 t/km²/an sans l'épisode du 24 décembre 2011 et dépasse 645 t/km²/an avec cet épisode. On retrouve ici des ordres de grandeur voisins de ce qui a été observé à Tahiti sur un bassin soumis à d'intenses travaux de terrassement. La prédominance d'un épisode exceptionnel y avait également été mise en évidence.

5 L'épisode exceptionnel du 24 décembre 2011

Le 24 décembre 2011, à la suite au passage de l'ex dépression tropicale Fina au sud-ouest de la Nouvelle Calédonie, un phénomène de blocage et d'accumulation des nuages s'est produit sur la côte Est donnant des précipitations exceptionnelles. En conséquence, de fortes averses se sont déversées toute la nuit et une partie de la journée de Noël sur le relief et la façade Est. Ces pluies ont touché l'ensemble du pays mais ont été particulièrement intenses de Houaïlou à l'extrême Sud. A Houaïlou, cet épisode constitue un record avec 530 mm du samedi 24 après midi, au jour de Noël en soirée. Jamais un épisode aussi important n'a été mesuré à Houaïlou depuis le début des mesures en 1952. En 24 heures, il est tombé l'équivalent de plus de 3 fois la quantité de pluies qui tombe habituellement au cours du mois de décembre, ou encore l'équivalent de plus d'un quart de la quantité annuelle moyenne de précipitations à Houaïlou (source météo-France). Cet événement a fait de gros dégâts dans la région de Houaïlou et la mine de Poro a été particulièrement touchée..

5.1 Précipitations et débits liquides au cours de l'épisode

Le site minier de Poro étant situé à quelques kilomètres au Sud de Houaïlou a été particulièrement touché par les précipitations intenses de l'ex-dépression tropicale Fina. Le Tableau 25 résume la pluviométrie à Poro de cet épisode.

Tableau 25 : caractéristiques pluviométriques de l'épisode du 24 décembre 2011 à Poro

	Poro amont	Poro aval
Début averse	24/12/2011 13:33:58	24/12/2011 12:50:21
Fin averse	26/12/2011 02:59:26	26/12/2011 03:02:50
Durée de l'averse	30 h 42 min	31 h 56 min
Cumul en mm	531,5	491,0
Précipitations du mois de décembre (mm) (part de l'épisode du 24 décembre en %)	736 (72%)	702 (70%)

La durée de retour de l'épisode pluvieux a été estimée à plus de 100 ans par la DAVAR, 198 ans sur 24h à Poro amont, selon le modèle régional de la DAVAR (Romieux, 2011). L'intensité maximale en 5 min est de 195 mm/h, l'intensité maximale en 60 min de 115 mm/h. Toujours selon le modèle de Romieux (2011) la période de retour de la pluie horaire serait de 125 ans environ.

La Figure 62 représente les chroniques de précipitation et de débit enregistrées à Poro, critiquées et validées par la DAVAR. Une première forte averse se produit entre 16h et 19h, cumulant 72 mm de pluie et produisant des débits du même ordre de grandeur à Poro amont et Poro aval : 1.5 et 1.7 m³/s, respectivement. Après une période de relative accalmie, les pluies redoublent à partir d'une heure du matin le 25 pour plus de 5 heures de très fortes intensités et 335 mm de cumul. Cette séquence paroxysmale produit une crue à deux pics successifs de 3.6 et 2.4 m³/s à Poro amont de 9.2 et 6.4 m³/s à Poro aval. Une dernière séquence de forte intensité produit un pic de crue bref (1h30 environ de près de 4 m³/s à Poro aval.

Les débits spécifiques de pointe calculés par la Davar sont de 41 m³/s/km² à Poro amont et de 30 m³/s/km² à Poro aval. Le Tableau 26 résume les paramètres hydrologiques calculés sur ces chroniques.

La lame ruisselée et par conséquent le coefficient d'écoulement est anormalement plus faible à l'aval qu'à l'amont. Compte tenu des observations de terrain après la catastrophe, il semble évident qu'une partie des eaux ruisselant sur le bassin aval n'a pas transité par la station de mesure mais du fait de débordements de fossés, de ruptures de merlons, de cassis inopérants, une forte proportion des écoulements aurait été exportée hors du bassin par écoulement sur la route d'accès

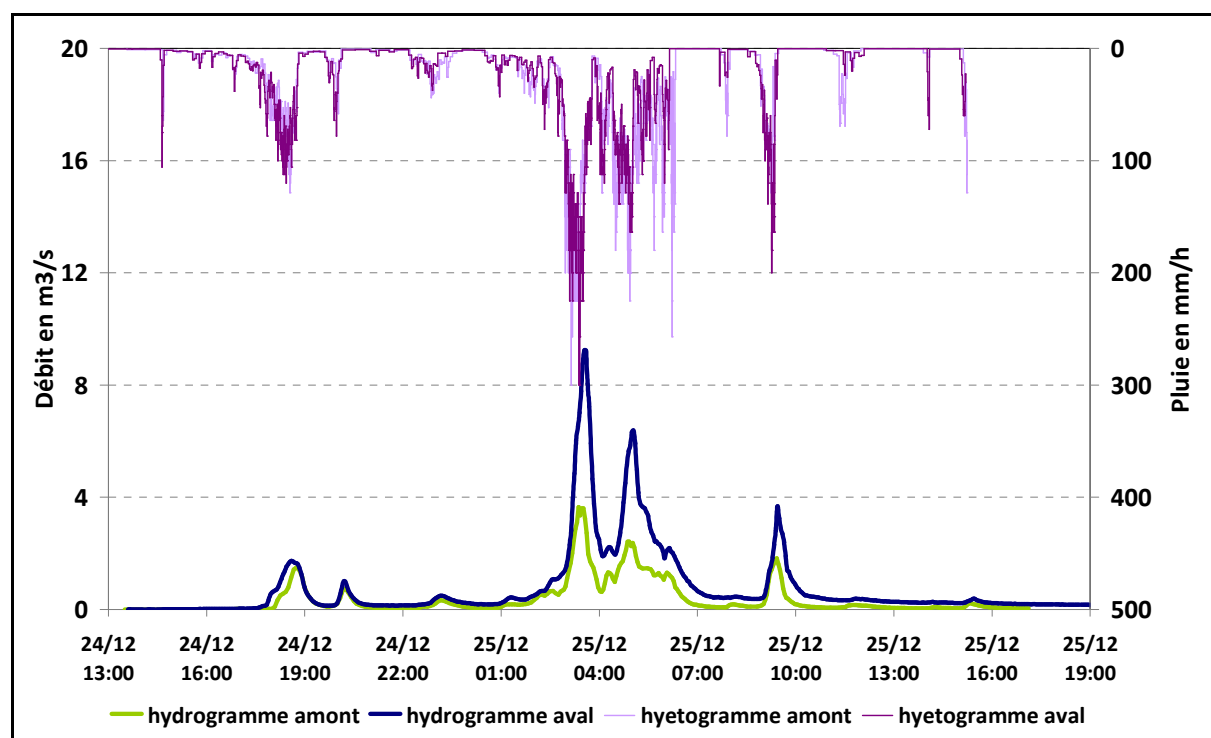


Figure 62 : graphes pluie-débit du 24 décembre 2011

Tableau 26 : caractéristiques hydrologiques de l'épisode du 24 décembre 2011 à Poro

	Poro amont	Poro aval
Tc (min)	11	14
I max 05 min (mm/h)	192	198
I max 24h (mm/h)	20	20
Pluie d'interception	2,5	17
Volume ruisselé (m ³ – mm)	36 000 – 400	82 000 - 270
Ce	0,81	0,58
Q max spécifique (m ³ /s/km ²)	41	30

5.2 Analyse du comportement du bassin versant de Poro pendant la crue

Une reconnaissance approfondie du terrain et des témoignages recueillis sur place ont permis d'analyser le comportement des écoulements sur le bassin versant de Poro en situation normale et en situation exceptionnelle (Freydier, 2013).

En fonctionnement normal, l'eau provenant de la zone hachurée en gris sur la Figure 63 circule dans le fossé au bord de la piste principale (voir Figure 64). Le cassis amont doit détourner l'eau qui ruisselle sur la piste principale vers le fossé. Puis le fossé amène l'eau vers la buse, dimensionnée pour 10m³/s, qui alimente la station de mesure aval. Par ailleurs, l'eau provenant du versant rive gauche (zone hachurée en jaune sur la Figure 63 est drainée par un fossé en bord de piste puis est ensuite détournée vers l'exutoire aval au moyen du cassis aval.

En revanche après l'épisode pluvieux, plusieurs signes de dysfonctionnements ont été constatés par le personnel du CFTMC notamment une rupture de merlon (cf Figure 64) et une forte dégradation des chaussées qui indiqueraient que l'eau a emprunté les pistes. Les observations de terrain au cours d'épisodes pluvieux ultérieurs forts ont confirmé que les cassis amont et aval (voir Figure 64 pour les situer) ne détournent pas complètement les eaux de ruissellement quand les débits sont élevés.

Pendant la crue du 24 décembre 2011, l'eau provenant de l'amont a pris la direction de la route, à cause à la fois du débordement du fossé au bord de la piste principale, de la rupture d'un merlon et

du dysfonctionnement des cassis.



Figure 63 : Bassin versant de Poro (rouge) sur fond de carte de l'orthophoto

Le cassis amont n'a pas pu retenir l'eau, qui a donc pris la direction de la piste principale sans passer par la station de mesure aval. De plus, le cassis aval n'a, lui non plus, pas totalement fonctionné et une partie l'eau du versant de la rive gauche du talweg a pris la direction de la piste, et n'a pas été rabattue vers la station aval. Une partie du bassin versant (hachurée en gris et jaune sur la Figure 63 n'a donc pas totalement contribué à l'alimentation de la station aval à cause du dysfonctionnement des deux cassis, le coefficient de ruissellement aval est donc sous-estimé. Ces parties représentent respectivement 20 % et 7 % du bassin versant total soit 6 ha et 2 ha. En considérant une pluviométrie de 511 mm, le volume précipité sur ces zones est respectivement de 31 000 m³ et 10 000 m³.

La buse sous la piste principale a bien fonctionné, aucune trace de bouchage, ni de débordement n'a été constatée par le personnel du CFTMC. Ce qui signifie que toute l'eau ayant transité par le décanteur FRN01 a bien été récupérée par la station aval. De plus si la buse avait été bouchée, on observerait la présence d'un seuil sur l'hydrogramme aval, au-delà duquel nous observerions une stagnation jusqu'à la décrue. Le débit maximum enregistré à l'aval est inférieur à 10 m³/s, donc la buse aurait été dans son état normal de fonctionnement selon les hypothèses de sa débitance théorique.

En estimant que le volume qui n'a pas été détourné par les cassis et qui n'a donc pas contribué au débit du bassin versant est de 50 % du volume précipité sur les zones hachurées en jaune et gris, soit 20 000 m³, le nouveau coefficient de ruissellement aval serait de 0,7. Le coefficient d'écoulement de Poro amont étant de 0,8, il n'est pas aberrant d'estimer même que 80 % de ce qui a précipité sur ces deux zones n'a pas ruisselé vers la station aval. Sous cette hypothèse, le coefficient de ruissellement aval serait de 0,8 et serait bien dans le même ordre de grandeur qu'à l'amont.

En l'absence d'informations sur le déroulement de ces dysfonctionnements pendant la crue, il est relativement difficile de savoir à partir de quand les débits mesurés à Poro aval sont sous-estimés. Cependant, l'examen des débits amont et aval, très proches, à la première pointe de crue, laissent suspecter que des dérivations sont déjà en place à ce moment là. En première approximation, un hydrogramme corrigé homothétique de l'hydrogramme validé a été calculé de manière à obtenir une lame écoulee cohérente avec le calcul ci-dessus. Avec cette première approche, le débit de pointe du

bassin versant à la station aval serait de l'ordre de $15 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $46 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Cette approximation sur les écoulements de Poro aval conduirait à élever la pente de la courbe verte (ou coefficient d'écoulement moyen) de la Figure 29 de 0.59 à 0.75.



Figure 64 : Dysfonctionnement des ouvrages de gestion des eaux sur le bassin versant de Poro lors de la crue du 24 décembre 2011

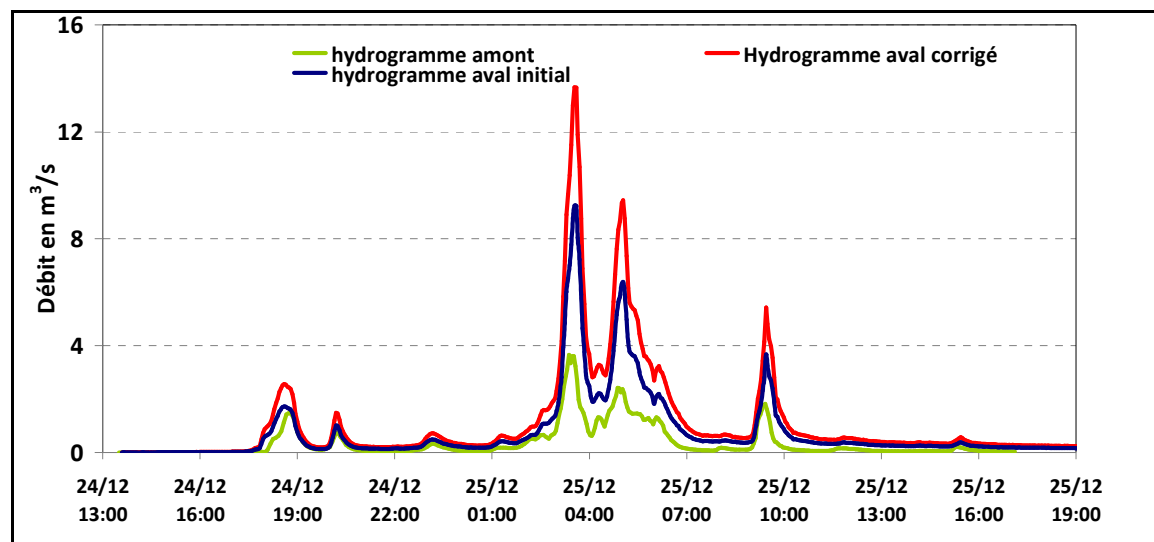


Figure 65 : proposition d'un hydrogramme corrigé à Poro aval

5.3 Estimation des flux de MES pour la crue du 24 décembre 2011

Pour les deux stations, les prélèvements n'ont pu échantillonner que la première partie de la crue et un gros travail d'extrapolation doit être réalisé pour estimer la totalité du flux de l'épisode. La crue ayant été mieux échantillonnée à Poro aval, les estimations seront d'abord présentées pour cette station.

5.3.1 Estimation des flux à Poro aval

Le flux de cet épisode est très important car les concentrations aval sont très fortes. La concentration maximale des prélèvements de cette crue, 23 g/l, n'avait encore jamais été atteinte. L'épisode est assez bien échantillonné au début de la crue mais les prélèvements se sont arrêtés à partir de la décrue du premier gros pic, l'échantillonneur étant plein (Figure 66). Plusieurs hypothèses peuvent être faites pour estimer les concentrations des deuxième et troisième pics de crue.

Première interpolation 560 tonnes (261 (1))

Les deuxième et troisième gros pics sont interpolés de façon proportionnelle au débit.

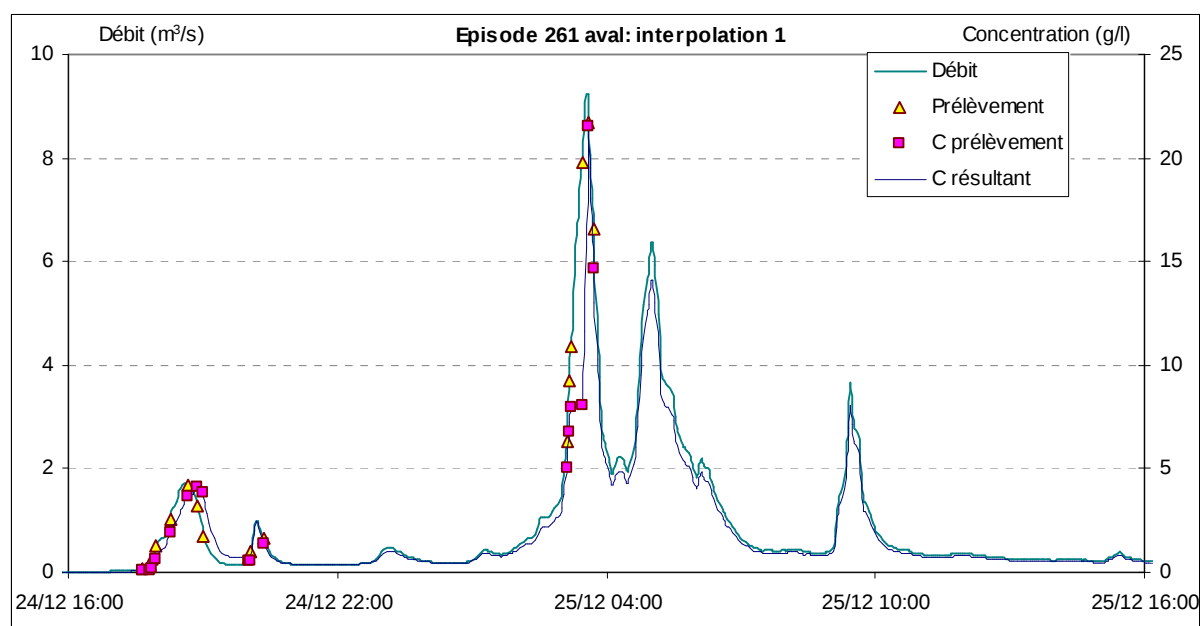


Figure 66 : Interpolation des concentrations de la crue du 24 décembre 2011 (aval)

Seconde interpolation 546 tonnes (261 (2))

Comme on a pu l'observer sur d'autres épisodes, un second pic très rapproché aurait aussi certainement une forte concentration par contre le troisième pic aurait sans doute une plus faible concentration. Ainsi, la deuxième interpolation baisse la concentration maximum atteinte lors du troisième pic. De plus les pics de concentration sont décalés de façon à arriver légèrement après le pic de débit. Ce graphique et les suivants sont reportés en annexe 14.

Troisième interpolation 412 tonnes (261 (3))

Pour cette Interpolation, on considère qu'un effet de dilution par les forts débits se produit et les concentrations des deux dernières pointes sont extrêmement baissées.

Quatrième interpolation 506 tonnes (261 (4))

Cette dernière interpolation est un mélange des autres : le second gros pic a une concentration plus faible que le scénario 1 mais, étant donné la puissance du débit, la concentration a certainement dû être très élevée peut-être autour des 12 g/l. On peut estimer que la concentration, entre le premier et le second pic, n'est pas descendue très bas comme dans le scénario 3 mais plutôt à des valeurs intermédiaires entre les scénarios 1 et 3. Par ailleurs, le laps de temps entre le second et le troisième pic est plus long mais, le débit du troisième pic restant très élevé, la concentration ne descend pas aussi bas que dans scénario 3 mais plus bas que dans le scénario 1. Le scénario 2 semble convenir assez bien pour le dernier pic.

Les deux premiers petits pics de crue ont été assez bien échantillonnés. Le flux correspondant est de 19 tonnes. Le plus gros pic a été bien échantillonné sur la montée et mais un seul échantillon est

disponible à la décrue. Le flux associé est de plus de 200 tonnes en environ 35 min.

Bien que les autres pics soient plus soumis à l'interpolation le premier gros pic de crue dans son ensemble engendre la moitié ou presque du flux de l'évènement.

Sur les 4 scénarios présentés les flux fluctuent entre 411 et 560 tonnes. On retiendra un flux transitant à la station aval pour cet épisode de 500 ± 100 t.

Cependant, le flux réellement exporté par le bassin versant est certainement supérieur puisque une partie des écoulements n'a pas transité par la station. Si on applique la correction de débit proposée au 5.2 à la quatrième interpolation, on obtiendrait un flux exporté de 750 t. Il est cependant un peu hasardeux de faire cette hypothèse car on ignore la charge des écoulements ayant transité sur les pistes et non dans le lit principal.

5.3.2 Poro Amont

Cet épisode n'a pas été bien échantillonné, seul le premier pic de crue a été échantillonné et ce n'est pas le pic ayant le débit le plus élevé ($1.4 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$). L'interpolation sera donc plus compliquée que pour l'aval.

Première interpolation 94 tonnes (261 (1))

Les points après le dernier prélèvement ont été interpolés de façon proportionnelle au débit du dernier prélèvement

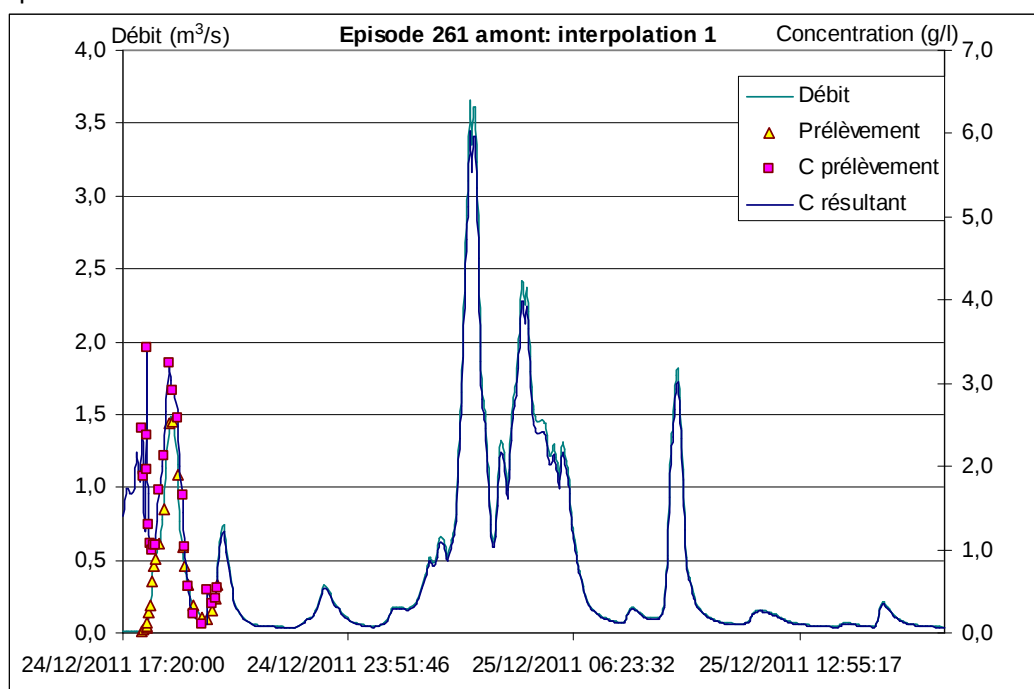


Figure 67 : Interpolation des concentrations de la crue du 24 décembre 2011 (aval)

Le flux obtenu semble faible. Pour essayer d'estimer mieux le flux de la suite de la crue le rapport concentration débit est étudié et donné dans le Tableau 27.

Ainsi pour cette première interpolation, le coefficient utilisé pour la relation concentration débit, celui du dernier prélèvement était faible (1,7). Or, en examinant la totalité de la chronique, on s'aperçoit que le rapport concentration / débit est très fort au début des montées puis diminue, au cours des pics. Il est important au tout début de la montée, diminue juste après le début de la montée et augmente à nouveau un peu après le début de la décrue pour diminuer un peu après, vers la moitié de la décrue. Ces valeurs du rapport Concentration/débit seront exploitées pour les interpolations suivantes.

Tableau 27 : rapport Concentration débit sur les échantillons amont du 24 décembre 2011

Date+heure	Q (m ³ /s)	Concentration (g/l)	Rapport C/Q
24/12/2011 17:52:00	0,015	2,45	161,4
24/12/2011 17:56:00	0,020	1,87	93,7
24/12/2011 18:01:00	0,032	3,43	107,3
24/12/2011 18:02:00	0,049	2,38	49,0
24/12/2011 18:03:00	0,065	1,96	30,1
24/12/2011 18:06:00	0,143	1,31	9,2
24/12/2011 18:07:00	0,187	1,08	5,8
24/12/2011 18:11:00	0,356	1,00	2,8
24/12/2011 18:14:00	0,465	1,05	2,3
24/12/2011 18:16:00	0,512	1,06	2,1
24/12/2011 18:24:00	0,609	1,71	2,8
24/12/2011 18:31:00	0,854	2,12	2,5
24/12/2011 18:41:00	1,435	3,25	2,3
24/12/2011 18:47:00	1,456	2,92	2,0
24/12/2011 18:56:00	1,081	2,58	2,4
24/12/2011 19:04:00	0,591	1,66	2,8
24/12/2011 19:08:00	0,457	1,03	2,2
24/12/2011 19:13:00	0,326	0,55	1,7
24/12/2011 19:22:00	0,194	0,22	1,1
24/12/2011 19:38:00	0,110	0,11	1,0
24/12/2011 19:46:00	0,100	0,51	5,2
24/12/2011 19:56:00	0,159	0,34	2,1
24/12/2011 20:01:00	0,242	0,42	1,7
24/12/2011 20:03:00	0,328	0,54	1,7

Seconde interpolation 122 tonnes (261 (2))

Le débit maximum des pics et la concentration maximum sont en général bien corrélés. Lors de la première interpolation, la concentration maximale atteinte pour le plus grand pic est sous estimée. Pour avoir un meilleur lien entre concentration au pic et débit maximum il faudrait une concentration avoisinant les 8 g/l. De plus, à l'amont, les pics de concentration ont généralement lieu légèrement en amont du pic de débit. En mettant cette concentration de 8 g/l pour le pas de temps précédant le maximum de débit et en faisant une interpolation proportionnelle au débit avant et après on obtient un meilleur lien entre débit et concentration pour les premier pics. Le flux obtenu est légèrement plus élevé.

Troisième interpolation 79 tonnes (261 (3))

Cette troisième interpolation vise à étudier l'incidence sur le tonnage de MES exporté durant la crue des deux derniers gros pics de crue. Pour cela les valeurs maximales atteintes ont été extrêmement baissées. Les deuxième et troisième gros pics contribuent beaucoup aux flux, en diminuant les concentrations sur ces parties, le flux calculé diminue de 40 tonnes.

Quatrième interpolation 100 tonnes (261 (4))

Pour cette dernière interpolation les concentrations des deux derniers gros pics sont légèrement rehaussées.

On peut donc estimer que le flux ayant transité à Poro amont s'élève à 100 t ± 20 t.

5.3.3 Bilan sur les estimations de flux de la crue du 24 décembre 2011

Les flux des différentes interpolations sont donnés dans le Tableau 28.

Tableau 28 : Résultats des interpolations sur les calculs de flux amont et aval de l'épisode du 24/12/2011

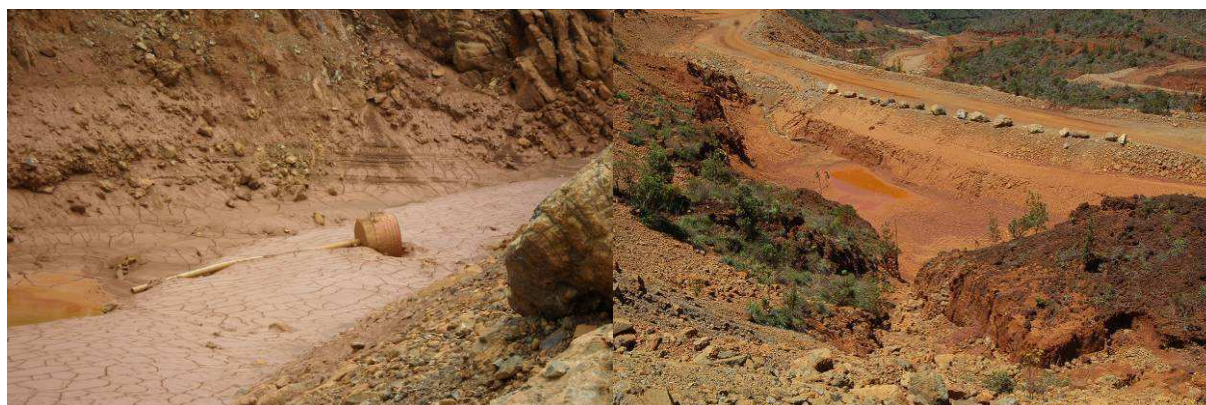
Lieu	Interpolation	Flux (tonnes)	Flux spécifiques (tonnes/ha)
Amont	1	94	10
	2	122	14
	3	79	9
	4	100	11
Aval	1	561	18
	2	547	18
	3	412	14
	4	506	17

Les tableaux ci-dessous (Tableau 29) présentent le rapport du flux amont ou flux spécifique amont sur le flux aval ou flux spécifique aval en fonction des scénarios.

Tableau 29 : rapport entre les flux (total ou spécifique) amont et aval selon les scénarios

Rapport Flux amont/ Flux aval en fonction des scénarios		Scénario amont			
		1	2	3	4
Scénario aval	1	0,17	0,22	0,14	0,18
	2	0,17	0,22	0,15	0,18
	3	0,23	0,30	0,19	0,24
	4	0,19	0,24	0,16	0,20
Rapport Flux spécifique amont/aval en fonction des scénarios		Scénario amont			
		1	2	3	4
Scénario aval	1	0,57	0,73	0,48	0,60
	2	0,58	0,75	0,49	0,62
	3	0,77	1,00	0,65	0,82
	4	0,63	0,81	0,53	0,67

Pour cet épisode le flux spécifique aval (compris entre 14 t/ha et 18 t/ha) est supérieur au flux spécifique amont (compris entre 9 t/ha et 14 t/ha). Cela peut s'expliquer par les très forts débits de cet épisode, les décanteurs qui étaient "transparents" voire dont les matériaux auraient été remobilisés. Lorsqu'on observe les photos prises par la Davar juste après l'épisode, on constate qu'il n'y a aucun dépôt notable dans le décanteur FRN01 (Figure 68).

**Décanteur FRN01 le 3/1/2012****Décanteur FRN01 le 6 février 2012**

Cliché Davar

Figure 68 : Vue du décanteur FRN01 après la crue de décembre 2011

Or ce décanteur avait été curé en décembre, peu avant la crue. Les photos du 3 janvier et du 6 février montrent un décanteur où le dépôt est peu important. Selon le CFTMC, il n'y a eu aucun curage après

l'évènement. Or début février, quand le dépôt est ressuyé, on voit encore le socle béton de la perche. Le volume déposé depuis le curage de décembre est donc très faible. A notre connaissance, le CFTMC n'a pas constaté de désordre sur la digue du décanteur. Ceci viendrait corroborer l'hypothèse d'un décanteur "transparent" pendant l'épisode, les forts débits ne permettant pas aux matériaux de se déposer. Mais il n'y aurait pas eu de reprise dans cet ouvrage puisqu'il était vide.

Pour les autres décanteurs du bassin, plus petits, nous n'avons pas de photo ni d'observation, mais s'ils n'avaient pas été curés au préalable, le risque de remobilisation des sédiments fins par un écoulement important n'est pas à écarter.

5.4 Résumé et conclusion pour la crue du 24 décembre 2011

Le 24 décembre 2011, l'ex-dépression tropicale Fina a déversé sur le bassin versant de Poro 510 mm de pluie en 32 heures. La durée de retour de cet épisode a été estimée à plus de 100 ans par la Davar. La crue générée atteint un débit spécifique de $41 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ à Poro Amont. Cet épisode a entraîné de nombreux débordements et dérivations entre les deux stations et une partie des écoulements a emprunté et dégradé la piste d'accès. Le débit mesuré à la station aval ($30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) est donc sous estimé et une prise en compte des surfaces dont l'écoulement a été dérivé a permis d'évaluer de débit spécifique de la station aval soit $46 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

La concentration maximale atteinte à Poro aval (23 g/l) n'avait jamais été observée auparavant. Le flux de cet épisode s'élève à $100 \pm 20 \text{ t}$ à Poro amont, et $500 \pm 100 \text{ t}$ à Poro aval, soit une exportation en quelques heures deux fois supérieure à celle de toutes les autres crues de la période 2009-2012.

6 Analyse du fonctionnement des décanteurs

Deux décanteurs sont suivis dans le cadre du projet Hydromine, FRN01 et FRN18 (cf Figure 10). Leurs caractéristiques sont données dans le Tableau 30.

Tableau 30 : Caractéristiques des décanteurs FRN01 et FRN18

Décanteur	Superficie	Superficie drainée par le décanteur	Volume à la cote de la surverse (2013)	Volume estimé en 2011	Volume théorique 2h/2ans
	m ²	km ²	m ³	m ³	m ³
FRN01	940	0.130	3500	2850	10800
FRN18	170	0.139	---	340	---

Il reste beaucoup d'inconnues à lever pour définir le volume utile des décanteurs. Un levé détaillé a été effectué en 2009, mais il n'est pas géoréférencé et la position et la cote du déversoir n'ont pas été répertoriées. Le volume a été estimé en 2011 (Carpentier, 2011), à partir de quelques caractéristiques géométriques. Un levé détaillé a été effectué par la SLN en décembre 2013, la cote de surverse a été répertoriée mais le décanteur n'était pas curé à la période du relevé. Par ailleurs, la géométrie de l'ouvrage est modifiée après chaque curage : il arrive fréquemment que la pelle creuse plus profondément que la fois précédente, des banquettes ou des rampes d'accès pour faciliter le curage sont aménagées, soit de manière provisoire, soit de manière permanente.

On note dans tous les cas que le volume utile quand il est vide (de l'ordre de 2800 à 4000 m³), est nettement inférieur au volume théorique résultant de la charte des bonnes pratiques (dit "2h/2ans"). Au cours de la période 2009-2012, les volumes écoulés à Poro amont (qui draine 70 % du bassin de FRN01) ont dépassé 3500 m³ pour 17 épisodes, soit en moyenne 4 fois par an. Le volume ruisselé de la crue du 24 décembre 2011 atteint 36000 m³ à Poro amont soit environ 52000 m³ pour le bassin drainé par FRN01, c'est-à-dire 15 fois le volume de FRN01.

Les perches installées pour le suivi des décanteurs sont des systèmes rustiques de relevé des dépôts qui ont pour inconvénient de n'être pas lisibles immédiatement après une crue puisqu'ils sont immergés dans une eau trop turbide pour permettre de voir la limite supérieure des dépôts. Il faut attendre l'assèchement au moins partiel des décanteurs pour en faire le relevé (cf 2.1.2.4).

Par ailleurs, les curages et les relevés topographiques des décanteurs sont réalisés par le CFTMC et la SLN à des dates qui sont fixées par les calendriers de chantier et qui ne sont pas nécessairement pertinentes pour le suivi hydro-sédimentaire. Une des deux perches du décanteur FRN01 a été endommagée par la le curage de décembre 2011 et n'a pas été remise en place. Enfin, certains doutes persistent sur les dates et les volumes curés.

Cependant, des observations détaillées ont été réalisées au cours des campagnes 2011 et 2012 qui seront présentées ci-après.

6.1 Suivi des décanteurs au cours de la saison cyclonique 2011

Le décanteur est curé en principe une fois par an au mois de novembre, juste avant la saison pluvieuse. Le dernier curage de FRN01 remonte au 18/11/10 pour 240 m³ de sédiments qui ont été stockés sur la verse B. La date de curage et le volume curé du décanteur FRN18 ne sont pas connus car il s'agit d'un décanteur hors exploitation dit ouvrage périphérique qui est à la charge de la SLN.

6.1.1 Volumes déposés

Le volume de sédiments déposés entre la période du 01/01/11 et le 12/05/11 dans le décanteur FRN01 correspond à une hauteur de 138 mm soit un volume de 131 m³ (Figure 35). Le décanteur FRN18 a reçu quant à lui une hauteur de sédiments de 120 mm équivalant à 21 m³.

Pendant la saison des pluies, il a été possible de prélever un échantillon de sédiments au décanteur FRN01 lors d'une période sèche où celui-ci était vide. Le bloc a été prélevé à une dizaine de centimètres de l'échelle sédimentaire amont de FRN01 (Figure 69). Le bloc sédimentaire présente plusieurs horizons à granulométrie variée. On peut tenter de faire correspondre ces niveaux à la succession des épisodes pluvieux (Figure 70).

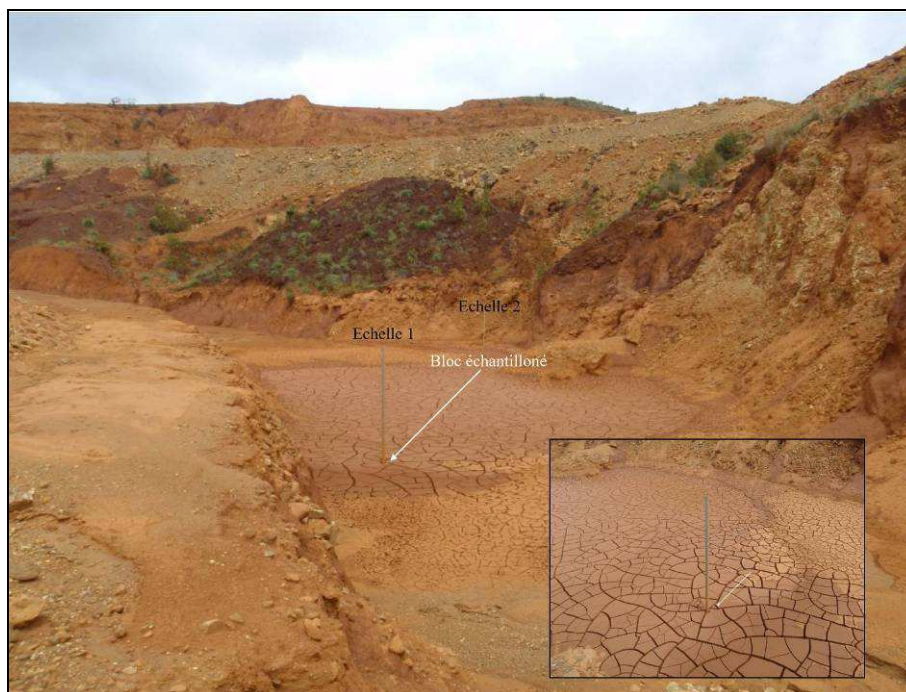


Figure 69 : Localisation du bloc de sédiments échantillonné au fond du décanteur FRN01

Une première tentative de correspondance est proposée sur la Figure 70. Les données de volumes transportés et déposés sont regroupées dans le Tableau 31. Selon cette répartition, la première séquence qui exporte 76 % des flux mesurés à l'amont, ne représente que 33 % des volumes stockés, ce qui signifierait qu'au cours de cette période une forte proportion des matériaux transportés n'a fait que transiter par le décanteur sans s'y déposer. Cependant, les données de volume converties en tonnages de matériaux (par application d'une valeur de densité sèche apparente de 1.8) sont surprenantes car les tonnages déposés sont supérieurs aux tonnages transités dans la station amont. Le décanteur FRN01 draine une superficie (13 ha) supérieure à celle de la station amont (9 ha) mais dans des proportions qui ne justifient pas cette différence. L'excès de dépôts par rapport aux volumes transités en suspension pourrait s'expliquer par une contribution non négligeable de matériaux transportés par charriage dans les dépôts des décanteurs.

Tableau 31 : Correspondance épaisseurs déposées-cruées et poids exportés mesurés à la station amont

N°	Période	Poids exporté calculé (tonnes)	Pourcentage du poids total	Hauteur déposée mesurée (m)	Volume déposé calculé (m ³)	Pourcentage du volume total déposé	Poids déposé estimé (tonnes) Densité sèche apparente 1.8
1	01/01-18/01/11	18,180	76 %	< 0,030	≈ 28,5	33 %	51
2	21/01-02/02/11	2,090	9 %	≈ 0,011	≈ 10,4	12 %	19
3	03/02-01/03/11	0,930	4 %	≈ 0,015	≈ 14,2	16 %	26
4	02/03-04/03/11	1,950	8 %	≈ 0,023	≈ 21,8	25 %	39
5	06/03-08/03/11	0,210	1 %	≈ 0,003	≈ 2,8	3 %	5
6	12/03-03/04/11	0,610	2 %	≈ 0,010	≈ 9,5	11 %	17

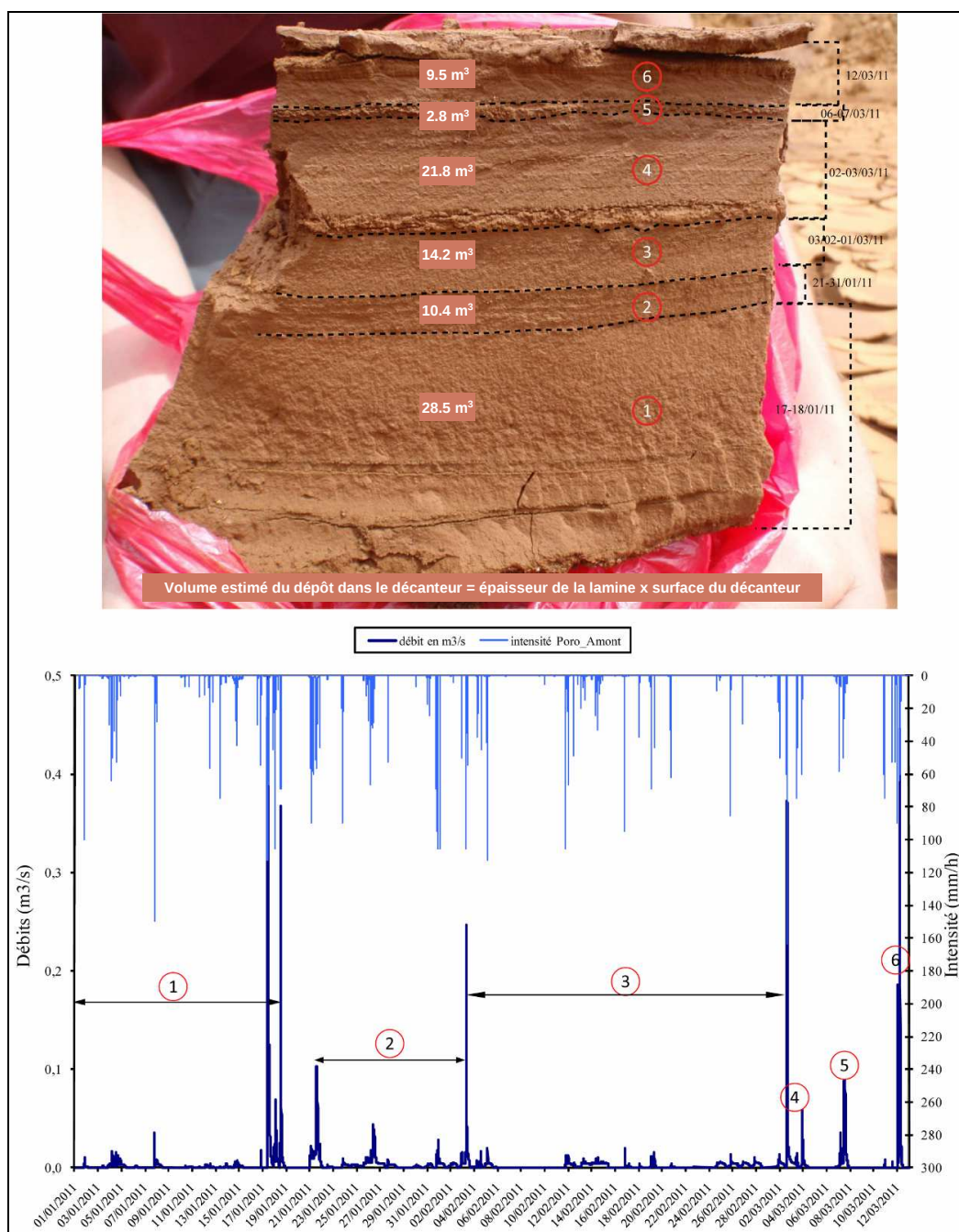


Figure 70 : Interprétation sédimentologique : correspondance épisodes pluvieux/dépôts de sédiments

6.1.2 Granulométrie des dépôts

Le bloc sédimentaire récupéré dans le décanteur FRN01, a été soumis au granulomètre laser pour connaître la taille des particules déposées.

Chaque horizon est échantillonné. Chaque échantillon est passé deux fois au granulomètre. Une première fois sans ultrasons et une seconde avec ultrasons. Après examen de la Figure 71, on observe que les courbes correspondantes aux échantillons avec ultrasons ont des D50 plus fins que les échantillons sans ultrasons, les ultrasons désagrégeant les agrégats.

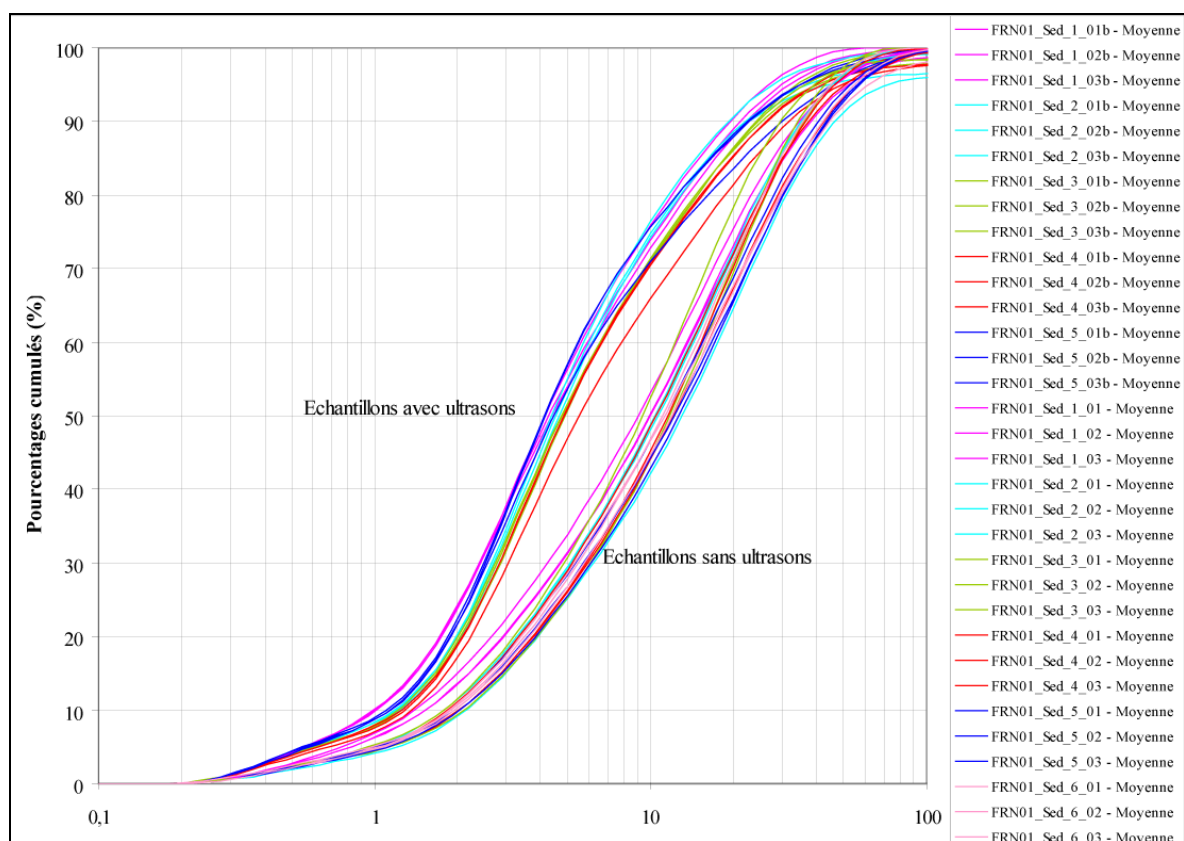


Figure 71 : Distributions granulométriques avec et sans ultrasons des horizons sédimentaires du bloc

Le D50 avec ultrasons est compris entre 4,3 et 5,3 μm alors que les D50 sans ultrasons sont plus grossiers, compris entre 9,5 et 11,6 μm . Ces diamètres sont très proches des valeurs mesurées dans les suspensions de la station amont. Ce sont donc bien les matériaux transportés en suspension que l'on a prélevé dans cette carotte. Cependant l'observation visuelle des dépôts dans la retenue permet de noter une variabilité spatiale de l'allure des dépôts. Il serait nécessaire de déterminer par exemple la granulométrie des cônes de déjection proches des arrivées et d'estimer leurs volumes.

6.1.3 Concentration et granulométrie des suspensions en entrée et sortie des décanteurs

Au cours d'une crue ayant déversé à l'aval de FRN01, des prélèvements manuels ont été faits aux entrées et sorties des décanteurs. Concentration et granulométrie de ces échantillons ont été traitées. Les résultats concernant les concentrations en MES et les diamètres caractéristiques de ces prélèvements sont résumés dans le Tableau 32. La concentration en MES est nettement plus élevée à l'amont qu'à l'aval. Sur les trois échantillons mesurés, les concentrations à l'aval sont 5 à 7 fois plus faibles. Les prélèvements d'eau à l'amont du décanteur FRN01 présentent une granulométrie plus grossière qu'à l'aval. Les D50 mesurés à l'amont sont compris entre 5 et 13 μm tandis qu'à l'aval les D50 varient de 4 à 9 μm . On peut donc considérer que les plus grosses particules ont sédimenté dans le décanteur mais les écarts restent modérés.

Tableau 32 : Concentrations et diamètres médians en entrée et sortie de FRN01 pour la crue du 15 avril 2011

	FRN01_Amont	FRN01_Amont	FRN01_Aval	FRN01_Aval	FRN01_amont _cascade	FRN01_aval _cascade
Date	15/04/11	15/04/11	15/04/11	15/04/11	16/04/11	16/04/11
Heure	07 :50	08 :50	07 :50	08 :50	09 :11	09 :14
Teneur (g/l)	0,252	0,203	0,053	0,028	0,053	0,022
D50 μm	5	6,5 - 13	4 - 9	6 - 7	5,5 - 10	4 - 6

6.1.4 Bilan des observations 2011 sur les décanteurs

En 2010, le décanteur FRN01 a été curé d'un volume de 240 m³ de sédiments (source CFTMC) correspondant à une hauteur de dépôt de 0,253 m. Le 03/04/11 la hauteur déposée de sédiments au fond de celui-ci était de 0,092 m soit une vitesse de 0,031 m/mois depuis le dernier curage. Du 03/04/11 au 12/05/11, il s'est déposé 0,046 m de sédiments, soit environ 44 m³ de matériaux (78,6 tonnes pour une densité apparente de 1,8). Pendant le même temps, on a mesuré à la station amont un poids exporté total de 19,5 t. Si on admet une production spécifique équivalente pour la totalité du bassin versant de FRN01, les apports de fines en suspension dans l'écoulement seraient de 28 t.

Pour la saison cyclonique 2011, une hauteur totale de 0,138 m soit un volume de sédiments de 131 m³ a été retenu par le décanteur FRN01 et une vitesse de sédimentation de 0,035 m/mois. Le décanteur FRN18 a quant à lui retenu 21 m³ de sédiments. Ainsi, le volume déposé dans chacun des deux décanteurs est proportionnel à leurs superficies respectives. Il n'y aurait donc pas de décanteur plus efficace que l'autre. Ce volume déposé correspondrait à un tonnage d'environ 250 t, ce qui est nettement supérieur au flux de MES ayant transité à la station amont (47 t) ou au flux exporté à l'aval (80 t) pendant la même période. A nouveau, se pose la question de la nature des sédiments stockés qui contiennent des matériaux autres que des suspensions. Néanmoins, on peut considérer que les décanteurs permettent une réduction notable des flux de sédiments fins.

Les prélèvements amont-aval lors d'une crue ont montré une certaine réduction de la concentration et du diamètre des particules de MES entre l'amont et l'aval du décanteur FRN01. Néanmoins, un seul épisode déversant a pu être ainsi échantillonné et il faudrait disposer de mesures amont-aval pour des épisodes de fort débit où le temps de séjour dans les décanteurs devient très court.

6.2 Suivi des décanteurs au cours de la saison cyclonique 2012

Le décanteur FRN01 a été curé le 29-30 novembre 2011. Le volume curé est de 490 m³. Le décanteur était donc vide lors de l'épisode du 24-25 décembre 2011. Selon les données de 2012 du CFTMC le décanteur n'a pas été curé au début de 2012. Lors du passage de la Davar début janvier (Figure 68) et du passage des stagiaires Irstea début février, le décanteur était également vide (Figure 72). On remarque sur la photo que les sédiments n'arrivent pas au niveau 0 de l'échelle.



Figure 72 : Etat de la perche dans FRN01 le 6 février 2012

Plusieurs hypothèses sont envisageables

Il y a eu peu de dépôts de sédiments durant l'évènement

Le niveau de sédiments dans le décanteur était encore plus bas avant la crue. Les décanteurs sont donc profondément curés par rapport au zéro de l'échelle à sédiment

Les données de curage des décanteurs sont incomplètes

Au paragraphe 5.3, nous avons opté pour la première hypothèse : les décanteurs n'ont pu retenir des matériaux pendant la crue de décembre car les forts débits y ont entraîné des temps de séjour trop courts. Mais cette hypothèse reste à confirmer.

Des relevés dans le décanteur FNR01 ont été effectués, lors de la crue du 18/04/12 (Chillou, 2012). Ces relevés en entrée, centre et en sortie de bassin au moment du pic de crue (15h00) puis le jour suivant (prélèvements à 08h30 puis 15h00) donnent une idée de l'évolution de la concentration en MES au cours de la crue puis de la décantation effectuée par FRN01. Les points de prélèvement et les résultats des analyses de concentration MES sont représentées sur la Figure 73.



Figure 73 : Localisation des prélèvements au sein de FRN01, réalisés à 15h00 le 18/04/2012 puis à 08h30 et 15h10 le 19/04



Figure 74 : Observation de 2 phases dans FRN01

On remarque une forte disparité entre les mesures effectuées le 18/04 en entrée de FRN01, où l'eau chargée arrive, et en son centre, où l'eau de la crue précédente a commencé à décanter. Cette disparité est visible à l'œil nu sur le terrain, comme le montre la Figure 74. Le flux arrivant dans le bassin a tendance à mélanger les eaux décantées avec les nouvelles eaux chargées. Un système de vidange aurait permis d'éviter ce phénomène en évacuant les eaux déjà décantées. On remarque d'autre part que le 19/04 à 15h, les valeurs de concentration ont augmenté en entrée et au centre du bassin. L'existence d'une marche, visible le long du bassin peut être source de remous et de reprise de sédiments lorsque le niveau de l'eau baisse jusqu'à l'atteindre. Cela expliquerait une augmentation locale de la concentration aux prélèvements en entrée et au centre.

Cette mesure renseigne sur l'efficacité du bassin en termes de décantation, malgré la zone de reprise observée. En 24h, les concentrations ont chuté de 3.35 g/l à 0.013 g/l qui est une valeur de concentration des eaux de rejet acceptable. Cette efficacité est toutefois limitée aux évènements peu importants, la transparence des ouvrages par saturation de leur capacité de stockage étant remarquée pour les plus grosses crues.

Des prélèvements de matériaux déposés ont fait l'objet de mesure de granulométrie (Chillou, 2012). Lors de l'échantillonnage le 10/04/12, il n'y avait pas eu de pluie depuis une semaine. Les bassins de décantation de la zone d'étude étaient presque à sec et les échelles de relevé de niveau de sédiments dans FRN01 et FRN18 étaient visibles. Le niveau de sédiment atteignait le haut du socle de l'échelle dans FRN 01 mais on ne pouvait pas lire de niveau (le bassin est toujours curé un peu plus profond que le niveau 0 de l'échelle). Deux échantillons de sédiments ont été prélevés à l'entrée et au centre du décanteur, près de l'échelle. La texture humide des matériaux et l'épaisseur pas assez importante de dépôts n'ont pas permis d'observer de stratification, aussi une mesure sur l'ensemble de l'échantillon a permis d'estimer une granulométrie moyenne des dépôts dans le bassin. Dans le

bassin FRN18, la hauteur de sédiments est de moins de 2 cm à l'échelle. Des échantillons de sédiments ont également été relevés en entrée et au milieu du bassin.

Tableau 33 : granulométrie des dépôts dans les décanteurs en avril 2012

Echantillon	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)
FRN01 entrée	6,8	44,7	117,1
FRN01 centre	3,4	21,3	60,7
FRN18 entrée	6	39,2	107,1
FRN18 sortie	3,3	16,8	61,4

On constate que ces échantillons sont plus grossiers que la carotte prélevée en 2011 et surtout nettement plus grossiers que les suspensions dans les préleveurs (D10 : 1 à 3 µ, D5 : 4 à 12 µ, D90 : 20 à 60 µ). Une partie importante des matériaux piégés ne sont donc pas des suspensions telles qu'elles sont évaluées par les mesures de flux déduites des suspensions prélevées dans les écoulements.

De plus, des mesures par tamisage sur certains échantillons plus grossiers, ont révélé la présence de dépôts nettement plus grossiers (D50 = 2.5 mm). Il resterait donc à évaluer la répartition spatiale et volumique de ces dépôts grossiers pour permettre une comparaison des flux transités dans les stations et déposés dans les décanteurs. Une campagne d'échantillonnage lors d'un curage apporterait de précieuses informations.

6.3 Résumé et conclusion sur le fonctionnement des décanteurs

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

Les estimations de volume et tonnage déduites des relevés de perche et des données de curage sont nettement supérieures aux estimations de volumes de MES transités dans les stations de mesure. Mais la taille et la nature des matériaux déposés laissent penser que ces quantités ne sont pas vraiment comparables. Des mesures complémentaires, notamment de granulométrie seront nécessaires;

Les volumes solides piégés permettent cependant de conclure à une efficacité certaine de ces décanteurs. Néanmoins, l'absence de dépôts pour la crue du 24-25 décembre 2011 montre que ces dispositifs ne peuvent plus jouer leur rôle pour les événements extrêmes. Certaines observations sur les séquences de dépôt laissent penser que leur efficacité est également limitée pour les crues fortes. Leur faible volume au regard des volumes liquides générés par les crues est à l'origine de ces limitations.

7 Synthèse et conclusion

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

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



Poro amont



Poro aval

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

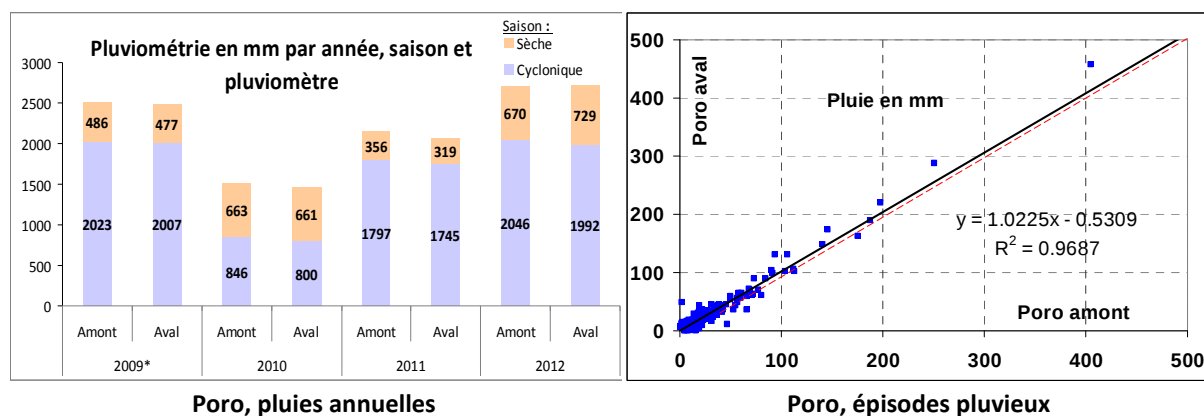
- - Les faibles : pluie entre 5 et 20 mm (232 épisodes)
- - Les moyens : pluie entre 20 et 85 mm (78 épisodes)
- - Les forts : pluie supérieure à 85 mm (15 épisodes)

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

Sur la relation pluie-débit :

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

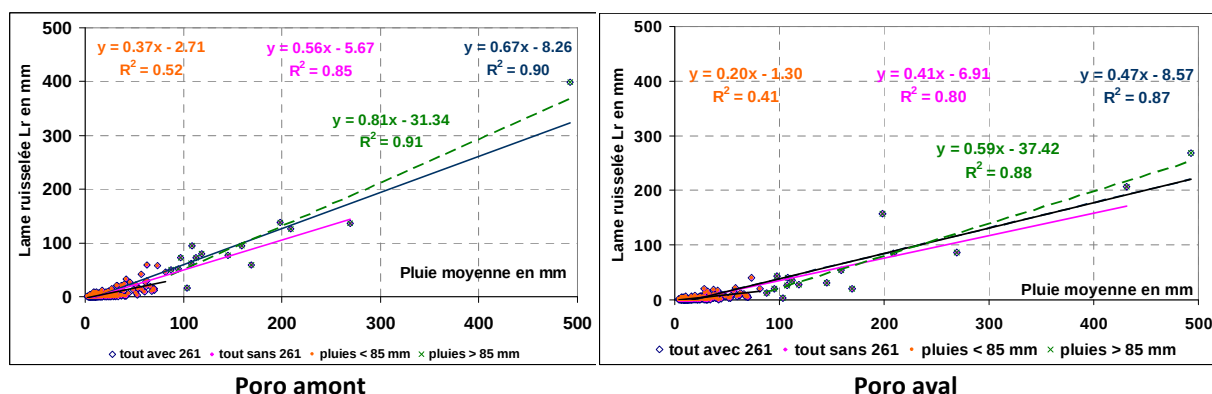
A toutes les échelles de temps, les **différences entre** les deux pluviomètres **de Poro amont et Poro aval** sont **minimes** (inférieures ou égales à 6 %).



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

Les **débits maximums** observés sont de 3.6 m³/s à l'amont et de 9.2 m³/s à l'aval soit respectivement **41 et 30 m³/s/km²**. Ces valeurs extrêmement élevées comparativement à ce qui s'observe sur les bassins plus grands de la région (DAVAR, 2006) confirment la **nécessité de disposer de mesures pour les tous petits bassins afin d'obtenir des règles de dimensionnement adaptées**. Seule la poursuite des mesures sur le long terme permettra de réaliser des analyses fréquentielles pour affiner les coefficients régionaux et les facteurs de transposition d'échelle ($S^{0.75}$) proposés actuellement par la DAVAR (Terry & Wotling, 2011, Wotling et al, 2012). La pluie et surtout la fraction intense des précipitations sont les variables qui expliquent le mieux le débit de pointe. Les conditions climatiques antérieures aux épisodes de crues remarquables ne semblent pas influencer significativement les réponses des bassins versants.

A l'échelle de l'épisode pluvieux, les **coefficients de ruissellement** (ou écoulement rapide de crue) sont **extrêmement variables** et peuvent s'observer dans une fourchette comprise **entre 0.1 et 0.9**, à l'amont comme à l'aval. **Pour les fortes pluies supérieures à 200 mm**, ils sont toujours **supérieurs à 0.5** à Poro amont. Les défaillances du système de drainage et les débordements amont qui s'observent en cas de fortes crues ne permettent pas de conclure sur les coefficients d'écoulement des épisodes forts à Poro aval.



Les coefficients d'écoulement moyens des épisodes supérieurs à 85 mm s'établissent à 0.52 à Poro amont et 0.55 à Poro aval. **Les pentes de la relation ruissellement/pluie se redressent à 0.81 et 0.59 respectivement si on inclut l'épisode exceptionnel de décembre 2011**. La prise en compte des débordements du 24 décembre 2011, porte la valeur de Poro aval de 0.59 à 0.75.

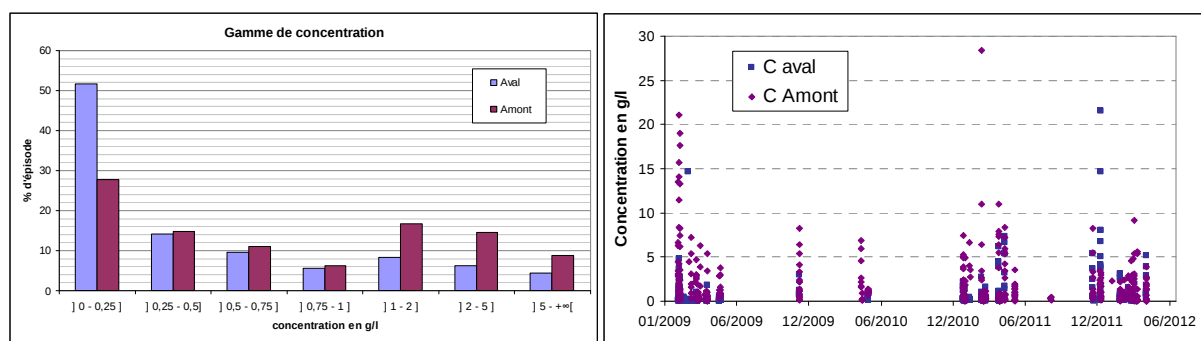
Les **temps de concentration** sont très variables : 9 à 16 mn à Poro amont et 12 à 21 min à Poro aval.

Les formules de la littérature couramment utilisées par les bureaux d'étude s'avèrent fortement inadaptées et fournissent des valeurs allant de deux à dix fois les valeurs observées. Les méthodes de calcul proposées par Irstea pour les bassins de montagne ou par la Davar pour les bassins à forte pente fournissent des résultats légèrement inférieurs à ces valeurs, mais dans le même ordre de grandeur.

Sur les flux de matières en suspension (MES) :

Au cours des 4 années de mesures 2009-2012, **71 crues ont été échantillonnées** à l'une au moins des deux stations de Poro **dont 41 simultanément aux deux stations** soit un millier d'échantillons prélevés, transportés à Nouméa et analysés au PPME. Dans la plupart des cas, l'absence d'échantillons en cours de crue est due au fait que les 24 flacons disponibles étaient déjà pleins. Les défauts de prélèvements par panne du matériel sont très rares. Ceci confirme la **fiabilité du matériel mis en place** mais aussi la **nécessité d'associer des personnels du CFTMC** sur place à Poro pour améliorer la **gestion des relevés de préleveurs**.

Les concentrations mesurées varient entre 0.002 g/l et 28 g/l. Les concentrations sont en moyenne plus faibles à l'aval qu'à l'amont, sauf pour la crue du 25 décembre 2011.



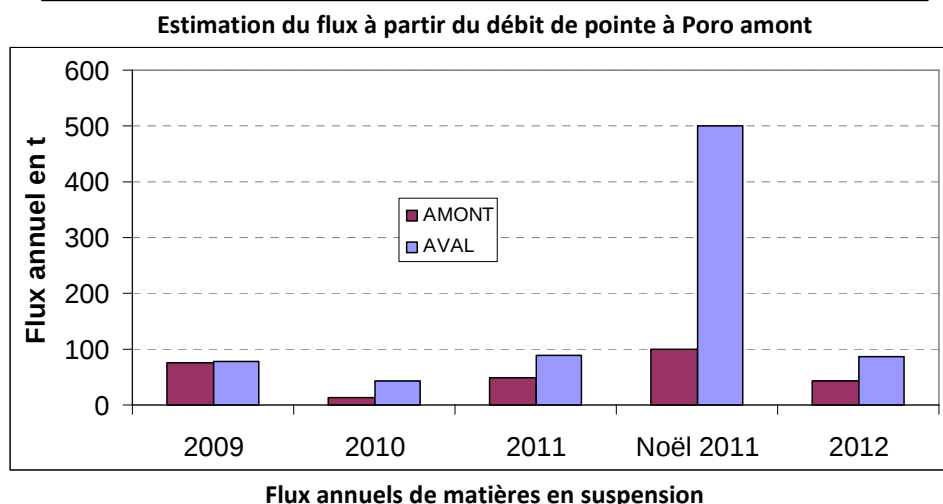
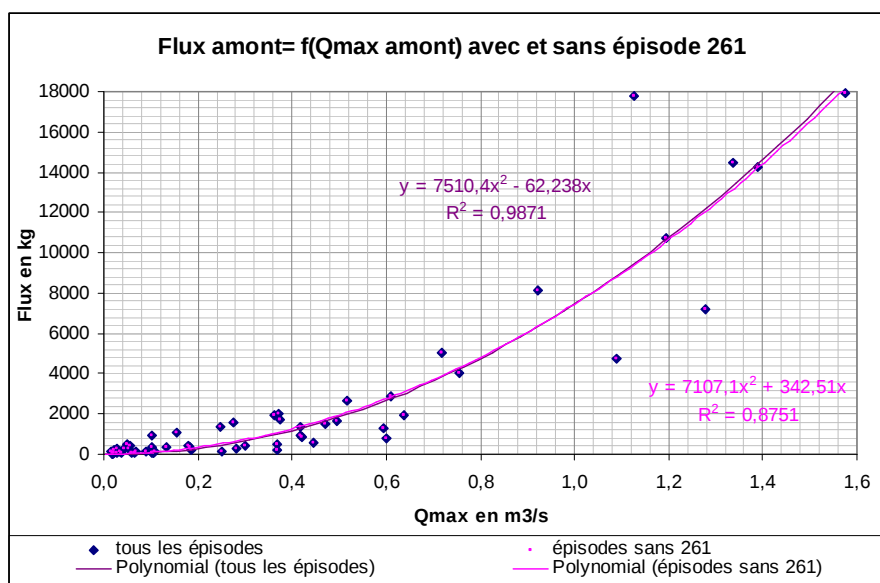
De manière classique, on n'observe pas de relation claire entre concentration et débit sur l'ensemble des échantillons mais des relations avec courbes d'hystérésis à l'échelle de la crue : à Poro amont, les crues sont généralement plus chargées en montée qu'en décrue. La situation inverse s'observe à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

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

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

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

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



Flux annuels de matières en suspension

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

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

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

A Poro amont, seule la première pointe a été échantillonnée, tandis qu'à Poro aval la pointe principale a pu être échantillonnée jusqu'au début de la décrue. Les **concentrations à Poro aval**

atteignent des **valeurs très fortes (23 g/l) jamais atteintes auparavant**. Selon les hypothèses de concentration retenues pour les dernières pointes non échantillonnées, **le flux solide ayant transité par la station aval s'élève à 500 ± 100 t**. Si on prend en compte les volumes ayant transité par la piste et rejoint le creek plus en aval, les exports pourraient atteindre **750 t**.

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

Sur le fonctionnement des décanteurs

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

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

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

Conclusion et perspectives

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

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

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

Références bibliographiques

- Alexandrov, Y., Laronne, J.B. and Reid, I., 2003. Suspended sediment concentration and its variation with water discharge in a dryland ephemeral channel, northern Negev, Israel. *Journal of Arid Environments*, 53(1): 73-84.
- Alexandrov, Y., Laronne, J.B., Reid, I., 2003. Suspended sediment concentration and its variation with water discharge in a dryland ephemeral channel, northern Negev, Israel. *Journal of Arid Environments* 53, 73-84.
- Alloin P-E., 2011, *Fonctionnement des petits bassins versants miniers en Nouvelle-Calédonie* ». Recueil et analyse de données géologiques, géographiques et hydrologiques sur les bassins versants équipés dans le cadre du projet CNRT. Rapport de stage Cemagref-UNC-Institut Lasalle-Beauvais, 116 p. + 15 p. annexes
- Brochot, S., Meunier, M., 1996. Un modèle d'érosion des torrents en crue (ETC). *Ingénieries - E A T*(6): 9-18.
- Carpentier L., 2011, *Mesure et analyse des flux d'eau et de sédiments sur le site de Poro*. [Nouvelle-Calédonie], Rapport de stage Cemagref-UNC-Institut Lasalle-Beauvais, 130 p. + 41 p. annexes
- Cemagref, 2010. "Fonctionnement des petits bassins versants miniers en Nouvelle-Calédonie". *Compte-rendu de la Mission Cemagref*, juillet 2010. 9p.
- Chillou A., 2012. *Etude de la gestion des flux sédimentaires par bassin de décantation en contexte minier : cas de la Nouvelle-Calédonie*. Rapport de stage ENGEES-Université de Strasbourg-UNC-Irstea, 104 p.
- CNRT, 2010. Réponse conjointe Université de la Nouvelle-Calédonie, Cemagref, Météo-France (DIRNC), IRD, Université de la Réunion, A2EP à l'appel d'offres de l'axe Nickel et Environnement Naturel, Thème 2 : Bassin versant. Appel à projets « Fonctionnement des petits bassins versants miniers ». Version révisée 2010. 158 p.
- Cosandey C., Robinson M., 2012. *Hydrologie Continentale*, Armand Colin, 447p.
- Freydier P., 2013. *Analyse des transferts hydro-sédimentaires du petit bassin versant minier de Poro, Nouvelle Calédonie*. Mémoire de stage ENGEES-Université de Strasbourg-UNC-Irstea. 94p.
- Frysou O., 2007. *HYDROMINE : Etat initial, Diagnostic du réseau de drainage, Proposition d'aménagements des sections de mesure*, Rapport DAVAR-SESER-ORE, 63p.
- Gaume E., 2002. *Eléments d'analyse sur les crues éclair*. Thèse de doctorat ENGREF-CNRS, 359 p.
- Gueyte R., 2006. *Présentation de la gestion du risque environnemental lié à l'activité minière*, Rapport de stage UNC-INSA Rouen (manque nb pages)
- Guyonneau, 2012, *Analyse comparative des réponses hydro-sédimentaires de petits bassins versants miniers en Nouvelle-Calédonie*. Rapport de stage ENGEES-Université de Strasbourg-UNC-Irstea, 87 p.
- Hingray B., Picouet C., Musy A., 2009. *Hydrologie, 2 Une Science pour l'ingénieur*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 600p.
- Lenzi, M.A. and Marchi, L., 2000. Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *CATENA*, 39(4): 267-282.
- Mathys, N., Bergougnoux, L., Olivier, J.E., 1999. *Sediment Measurements in Small Mountainous Badlands Catchments: Experiments and Results from Experimental Catchments of Draix, (Alpes-de-haute-Provence), France*. ASCE's 1999 international water resource engineering conference. Water resources into the new millenium: past accomplishments, new challenges, Seattle, USA, August 8-12 1999, p. 10.

- Montarello j., 2009. Etude granulométrique au PPME et Projet « Hydromine » au CFTMC de Poro, Rapport de stage UNC.
- Musy A., Higy C., 2004. Hydrologie, 1 Une Science de la Nature, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 314p.
- Navarrot L., 2012. Caractérisation et modélisation des flux d'eau et de MES sur le site de la mine de Poro (projet Hydromine). Rapport de stage ENGEEES-Université de Strasbourg-UNC-Irstea, 94 p
- Romieux, 2011. Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle Calédonie. Rapport DAVAR-SESER-ORE, 83 p.
- Shaw, E. M., 1994. Hydrology in Practice. Chapman and Hill Press, London, 569 pp
- Soler, M., Latron, J., Gallart, F., 2007. Relationships between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous Mediterranean area (Vallcebre, Eastern Pyrenees). Geomorphology Volume 98, Issues 1-2, 1 June 2008, Pages 143-152.
- Terry J., Wotling G., 2011. Rain-shadow hydrology: Influences on river flows and flood magnitudes across the central massif divide of La Grande Terre Island, New Caledonia. Journal of Hydrology (404) pp. 77–86
- UNC, 2009. Convention Hydromine, Base de données sédimentologiques (MES), site pilote de Poro, Rapport UNC, 26p. + annexes.
- UNC, 2010. Convention Hydromine, Base de données sédimentologiques (MES), site pilote de Poro, Rapport UNC, 21p. + annexes.
- Wishmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
- Wotling G., Bouvier C., 2002, Impact of urbanization on suspended sediment and organic matter fluxes from small catchments in Tahiti. Hydrol. Process. 16, 1745–1756.
- Wotling, G. 2000. Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti. Thèse de doctorat Université Montpellier II, Ed. ISTEEM, 309 p.
- Wotling, G., 2012. L'hydrologie in Atlas de la Nouvelle-Calédonie, IRD, pp 62-65

Annexes

Annexe 1 : Equipements des stations de mesure



Préleveur automatique ISCO (à gauche) et module de vitesse 750 (à droite)



Module 750 en place dans le canal de Poro aval avec le capot

1. Obturation de l'appareil par des feuilles en présence du capot ; 2. Module 750 sans capot ; 3. Blanchiment du module après quelques jours de temps sec

Annexe 2 : Gestion des préleveurs automatiques ISCO et relevé des échantillons

L'appareil ISCO 6700 est un préleveur automatique portable alimenté par batterie (12 volts) renfermant 24 flacons de 1 litre. Il est placé dans une guérite fermée par un cadenas. La récupération des données se fait sur un ordinateur portable avec le logiciel Flowlink fourni par le constructeur.



Figure 75 : Relevé in situ des préleveurs ISCO

Il est équipé d'une sonde de pression (module 720) pour mesurer le niveau d'eau. Le programme établi par la DAVAR est géré par la centrale de mesure de l'appareil et permet de déclencher des prélèvements à différents instants au cours d'un épisode de crue. 18 flacons de 1 à 18 sont consacrés aux événements de type A dit normaux. Six flacons de 19 à 24 sont réservés aux événements de type B dit exceptionnels.

Le seuil minimum de prélèvement pour la station aval est de 7 cm, le seuil de prélèvement pour la station amont est de 5 cm. Une fois le seuil minimum dépassé, les prélèvements suivants sont déclenchés lorsque d'autres seuils prédéfinis sont franchis, soit en montée soit en descente. Les consignes actuelles (2012) de prélèvements sont résumées dans le Tableau 34.

Tableau 34 : conditions de prélèvements des stations amont (à gauche) et aval (à droite)

PARTIE 'A': CONDITIONS EVENMT: EVENMT01: HAUT. >0.050 m EVENMT02: HAUT. >0.100 m EVENMT03: HAUT. >0.150 m EVENMT04: HAUT. >0.200 m EVENMT05: HAUT. >0.250 m EVENMT06: HAUT. >0.300 m EVENMT07: HAUT. >0.350 m EVENMT08: HAUT. <0.350 m EVENMT09: HAUT. <0.300 m EVENMT10: HAUT. <0.250 m EVENMT11: HAUT. <0.200 m EVENMT12: HAUT. <0.150 m EVENMT13: HAUT. <0.100 m EVENMT14: HAUT. <0.050 m ----- PARTIE 'B': CONDITIONS EVENMT: EVENMT01: HAUT. >0.360 m EVENMT02: HAUT. >0.400 m	PARTIE 'A': CONDITIONS EVENMT: EVENMT01: HAUT. >0.070 m EVENMT02: HAUT. >0.100 m EVENMT03: HAUT. >0.150 m EVENMT04: HAUT. >0.200 m EVENMT05: HAUT. >0.300 m EVENMT06: HAUT. >0.450 m EVENMT07: HAUT. >0.550 m EVENMT08: HAUT. <0.570 m EVENMT09: HAUT. <0.470 m EVENMT10: HAUT. <0.400 m EVENMT11: HAUT. <0.300 m EVENMT12: HAUT. <0.200 m EVENMT13: HAUT. <0.100 m ----- PARTIE 'B': CONDITIONS EVENMT: EVENMT01: HAUT. >0.600 m EVENMT02: HAUT. >0.700 m EVENMT03: HAUT. >0.800 m
--	--

EVENMT03: HAUT. >0.500 m	EVENMT04: HAUT. >1.000 m
EVENMT04: HAUT. >0.600 m	EVENMT05: HAUT. >1.200 m
EVENMT05: HAUT. >0.700 m	EVENMT06: HAUT. >1.400 m
EVENMT06: HAUT. >0.800 m	EVENMT07: HAUT. >1.600 m
EVENMT07: HAUT. >0.900 m	EVENMT08: HAUT. <1.600 m
EVENMT08: HAUT. <0.900 m	EVENMT09: HAUT. <1.400 m
EVENMT09: HAUT. <0.800 m	
EVENMT10: HAUT. <0.700 m	
EVENMT11: HAUT. <0.600 m	
EVENMT12: HAUT. <0.500 m	
EVENMT13: HAUT. <0.400 m	
EVENMT14: HAUT. <0.360 m	

Le préleveur ISCO se trouve à l'intérieur de la guérite blanche fermée avec un cadenas (Figure 75). Une fois la guérite ouverte et le capot de protection de l'ISCO retiré, il suffit de brancher le câble ordinateur/ISCO à l'arrière de la machine au niveau de l'icône du pin femelle :



La récupération des données se fait grâce au logiciel Flowlink disponible sur le bureau de l'ordinateur selon les étapes décrites dans la Figure 77.

En cas de pluie, qui risquerait d'endommager l'ordinateur portable, le téléchargement du rapport journal s'effectue à l'aide d'un boîtier étanche, dit boîtier RTD, se branchant de la même manière que l'ordinateur. Le déchargement des données se fait automatiquement sitôt après le branchement. On peut alors transférer à l'abri les données depuis le boîtier RTD vers l'ordinateur portable à l'aide du logiciel Flowlink.

Les flacons ISCO se situent dans le compartiment inférieur de l'appareil. Pour les relever il faut arrêter le préleveur et ouvrir l'appareil selon les étapes décrites dans la Figure 76.



Figure 76 : étapes pour l'extraction des flacons du préleveur ISCO

Les contenus des flacons ISCO sont alors transvasés dans des bouteilles en plastique ("Fanta") de 600 ml. Pour ce faire, il est nécessaire de prendre un nombre de bouteilles équivalent au nombre de flacons ISCO échantillonnés.

Les bouteilles sont notées de la façon suivante :

- Pour l'aval : « P_AV_aammjj_ISCO1_N° de la série dans la journée et N° du flacon ISCO »
- Pour l'amont : « P_AM_aammjj_ISCO2_N° de la série dans la journée et N° du flacon ISCO »

La Figure 78 illustre la méthode utilisée pour récupérer les échantillons. Il convient de bien veiller à agiter fortement le mélange pour assurer la remise en suspension des MES déposées et de transvaser très rapidement ensuite le liquide. Pour cela l'utilisation d'un entonnoir à l'étape 4 permet un transvasement plus rapide. Le nettoyage des flacons reste une étape délicate. L'utilisation de scories mise en œuvre les premières années (étape 6) s'avère à la longue dommageable pour la surface intérieure des flacons. Les particules de MES adhèrent sur les parois devenues rugueuses et il

est difficile d'obtenir des flacons parfaitement clairs. L'utilisation d'une brosse (écouvillon ou goupillon) ou du nettoyeur sous pression des ateliers est désormais recommandée et au bout de quelques années, le changement du jeu de flacons devient nécessaire.

Lorsque le prélèvement est fini, les flacons sont replacés dans leur compartiment, l'anneau de protection et les élastiques sont remis, puis le couvercle avec le boîtier de l'appareil est repositionné en veillant à ne pas coincer les tuyaux. L'ISCO est alors rallumé.

1. Cliquez sur l'onglet "site". Puis sélectionnez le site où vous voulez télécharger les données.

2. Appuyez sur l'onglet pour enclancher la connexion.

3. Le nom du site et le nom du préleveur sont identiques.

Une fenêtre de transfert apparaît, appuyez sur le bouton "Transf. val. (F8)", une fois la connexion assurée.

4. Une fois, le transfert effectué se rendre sur l'onglet "Réglage du site", allez dans "Rapport".

5. Sauvegardez le fichier sous le nom: PoroAV_ISCO1_aammjj dans le dossier Hydramine_aammjj à créer. Puis fermer la fenêtre.

6. Rendez vous dans la fenêtre "Graphique DEFAULT (F3)". Double cliquez sur le graphique, une fenêtre apparaît, allez dans "Echelle de Temps".

Cochez "Absolu", indiquez la date à partir de laquelle vous désirez observer les données. Renseignez la période de temps, l'intervalle de résumé et de lecture que vous voulez analyser. Puis cliquez sur "OK", le graphique apparaît.

7. Vous pouvez zoomer sur des événements, en encadrant la partie intéressée. Pour exporter les données sous format Excel, allez dans "Fichier" "Exporter".

8. Une fenêtre apparaît, appuyez sur le bouton "Sélectionner..." pour choisir le dossier et nommer le fichier selon la nomenclature pour des hauteurs d'eau: Poro_AM_ISCO2_aammjj ou Poro_AV_ISCO1_aammjj. Pour des vitesses d'eau: Poro_AV_MS_VITESSE_aammjj. Cliquez sur "OK" puis "Exporter" et "Fermer" la fenêtre.

9. Fermez la fenêtre graphique, un message d'enregistrement apparaît, cliquez sur "Non". Déconnectez puis fermez le logiciel.

Figure 77 : téléchargement des données grâce au logiciel Flowlink

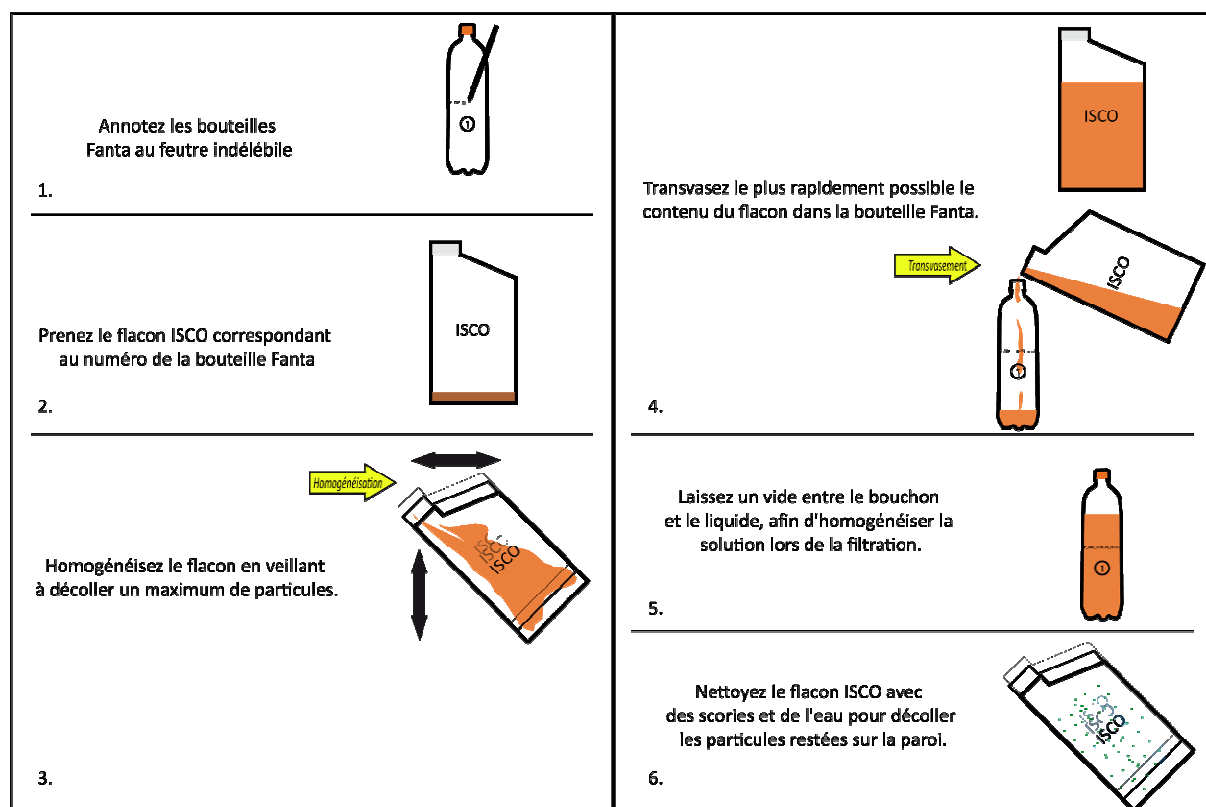


Figure 78 : Schéma des étapes à suivre lors du prélèvement des échantillons
 (pour l'étape 6 on utilise désormais de préférence une brosse ou le nettoyeur sous pression des ateliers ce qui altère moins les parois du flacon)

Tableau 35 : Exemple d'un rapport "Journal"

```

-----
UNITE   ID# 1184915743 11:50 17-NOV-10
Hardware: A1 Software: 2.31
***** RESULTATS D'ECHANTILLON *****
SITE: PORO AV 11
PROGRAM: EVOLUE 2
Programme lancé à 10:16 MA 12-OCT-10
PARTIE 'A' volume nominal echant.= 700 ml
PARTIE 'B' volume nominal echant.= 700 ml
                                IMPULSIONS
                                VERS
HEURE  FLAC  ECHANT  SOURCE  ERR.  LIQUIDE
-----
                                10:16  'A'  DESACTIVE
                                10:16  'B'  DESACTIVE
                                VE 05-NOV-10
                                06:31  'A'  ACTIVE
                                06:34  'A'  EV      851
1,1    1
EVENEMENT 1
1,1    2    06:36  'A'  EV      837
EVENEMENT 12
1,1    3    06:38  'A'  EV      837
EVENEMENT 1
1,1    4    06:39  'A'  EV      837
EVENEMENT 12
1,1    5    06:41  'A'  EV      837
EVENEMENT 1
1,1    6    06:59  'A'  EV      837
EVENEMENT 12

SOURCE EV ==> EVENEMENT
-----
  
```

Annexe 3 : Méthodes de jaugeage

Jaugeages au moulinet

Afin de déterminer la relation hauteur-débit, des mesures ponctuelles de la vitesse du courant sont effectuées au niveau de chacun des seuils.

Les jaugeages sont effectués selon la méthode d'exploration du champ de vitesse au moyen d'un moulinet hydrométrique. Le débit est calculé en effectuant l'intégrale de toutes les mesures de vitesse sur la section mouillée.

Le matériel nécessaire comprend :

Caisse de jaugeage : moulinet, 3 hélices, compteur d'impulsions, perche graduée de diamètre 10 ou 20 mm ;

Décamètre ;

Montre ;

Fiche de jaugeage

Le moulinet hydrométrique est un appareil muni d'un rotor dont la vitesse de rotation est fonction de la vitesse locale du fluide dans lequel il est immergé.

Une hélice est caractérisée par son diamètre et son pas. Les diamètres des hélices utilisés sont de 50 mm. On distingue le pas nominal, caractéristique donnée par le constructeur et le pas réel, déterminé par étalonnage après usinage de l'hélice. Les pas nominaux utilisés sont: 0,05; 0,10; 0,25 mètre. Le choix du pas de l'hélice pour exécuter une mesure sera déterminé en fonction de la vitesse du courant. Pour une vitesse moyenne d'écoulement donnée, on préférera une hélice à pas faible, qui aura donc une plus grande sensibilité, mais qui générera un grand nombre d'impulsions sur le compteur. Il faut chercher à rester dans l'intervalle 1 à 10 tour/s.

Le moulinet se trouve placé plus ou moins haut par rapport à la semelle du détecteur de fond. Il importe de connaître avec précision cette distance appelée constante de perche, pour corriger les profondeurs en conséquence. Ici, la constante de perche égale à 0,03 mètre pour la perche de $\varnothing$ 20mm, nulle pour la perche de $\varnothing$ 10mm. Le jaugeage au moulinet hydrométrique (Figure 79) mesure la vitesse de l'écoulement en un point. La méthode permet de calculer le débit à partir du champ de vitesse déterminé dans une section transversale du creek.

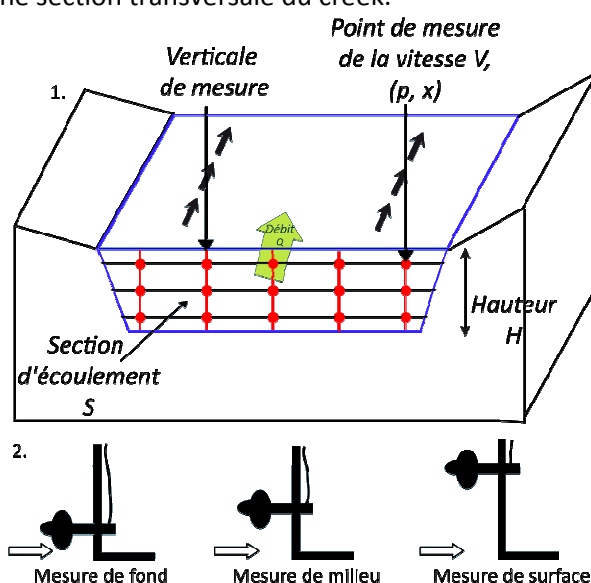


Figure 79 : 1. Débit et champ de vitesses à travers une section ; 2. Positon de l'hélice en fonction de la hauteur d'eau de la section

La méthode n'est utilisable que dans des sections de profondeur inférieure à 1 m et des vitesses d'écoulement faibles (<1 m/s).

- Si $H < 0,070$ m : la mesure se fait au centre de la section ;
- Si $0,070 < H < 0,250$ m : la mesure se fait au fond et au milieu de la verticale (2 pts/verticale) ;
- Si $H > 0,250$ m : la mesure est prise au milieu de la verticale, au fond de la section et en surface (3 pts/verticale), (Figure 79).

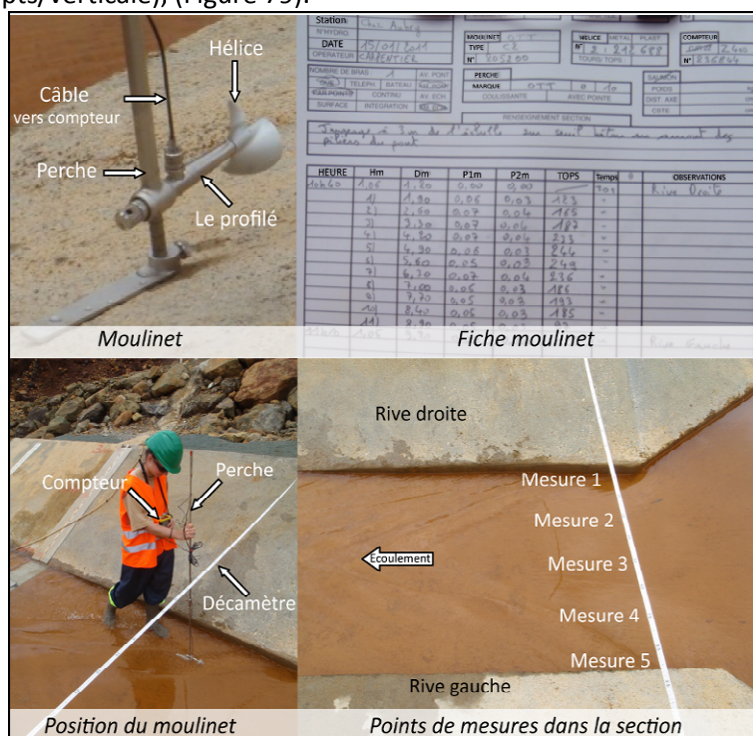


Figure 80 : Méthode du jaugeage au moulinet

Les mesures se font à gué. L'opérateur se place le long de la section de jaugeage et tient directement à la main le moulinet monté sur perche (Figure 80).

La position des points de mesure est repérée en ordonnée à l'aide des graduations portées sur la perche, et en abscisse (distance de la berge=Dm) sur un double décimètre tendu en travers du seuil. L'opérateur doit se tenir relativement éloigné de façon à ne pas perturber l'écoulement, le dispositif doit être tenu devant l'opérateur et face au courant.

Pour commencer, le choix de l'hélice est fonction de la vitesse du courant. Pour cela, l'hélice est immergée pendant 30 secondes. Si le compteur indique un nombre de tours d'hélice supérieur à 300, l'hélice du pas supérieur sera nécessaire pour effectuer le jaugeage.

La vitesse de rotation de l'hélice située à l'avant du moulinet (nombre de tours n par unité de temps) mesure la vitesse d'écoulement en chacun des points. La fonction $v=f(n)$ est établie par une opération d'étalonnage (courbe de tarage du moulinet). Le calcul de la vitesse moyenne de l'écoulement sur l'ensemble de la section S de longueur L se fait par intégration des vitesses v_i définies en chacun des points de la section de profondeur p_i (variant pour chaque verticale de 0 à une profondeur maximale P) et d'abscisse x_i (variant pour chaque verticale de 0 à L) (Echo2, 2001).

$$Q = \int_S \int_0^P v_i \, dS = \int_0^L \int_0^P v_i \, dp \, dx$$

Jaugeages au flotteur

Il s'agit lorsque la vitesse de l'eau ne peut pas être mesurée au moulinet en raison d'une hauteur d'eau insuffisante ou lorsqu'au contraire un trop fort courant rend trop dangereuse la mesure

classique, de mesurer la vitesse d'écoulement de surface par la vitesse de déplacement d'un objet flottant à la surface de l'eau.

Les flotteurs peuvent être soit artificiels soit naturels. Ici, il a été choisi des tiges de roseaux. Plusieurs mesures de vitesses du flotteur doivent être effectuées et il est souhaitable pour obtenir la vitesse moyenne de surface de faire une moyenne à partir de plusieurs lancers à différentes distances des rives. Les tiges de roseaux servent de flotteurs, le chronomètre mesure le temps de parcours, le mètre mesure la hauteur d'eau dans la section et la fiche flotteurs sert à inscrire les durées de chaque flotteur (Figure 81).

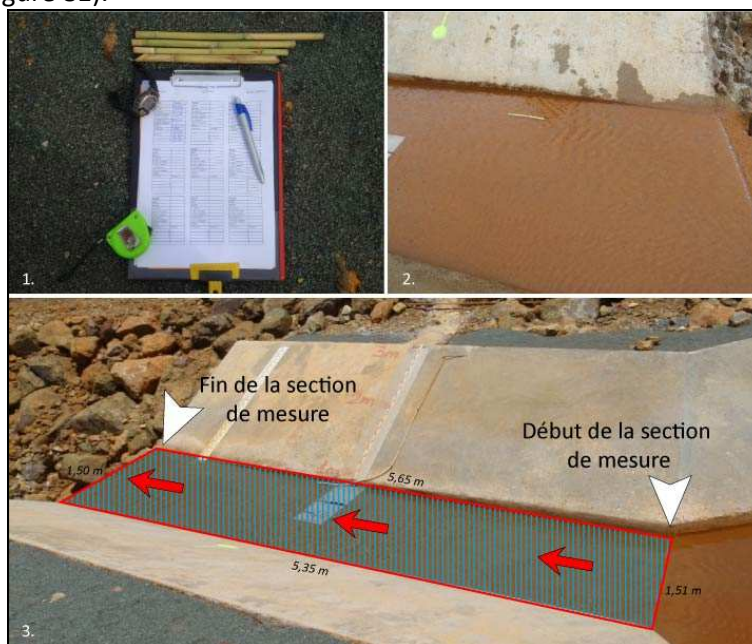


Figure 81 : 1. Matériels nécessaires ; 2. Position du flotteur dans l'eau ; 3. Parcours du flotteur dans la section de mesure du seuil aval

Le calcul de la vitesse de surface correspond au quotient de la longueur de la section (en mètre) par la moyenne des temps de parcours (en seconde). Le débit correspond au produit de la surface d'écoulement par la vitesse de la surface affectée d'un coefficient approprié pour tenir compte du rapport entre vitesse de surface et vitesse moyenne. Ce coefficient est en général déduit des jaugeages complets au moulinet.

Annexe 4 : Détermination des MES par filtration et pesée

Objectif

La mesure des concentrations en MES s'effectue grâce au procédé de filtration sous vide qui consiste à filtrer un volume de liquide donné et d'en déterminer par pesée différentielle le poids de matières retenues par le filtre. Les échantillons ainsi recueillis sur le terrain sont filtrés selon un protocole établi.

Matériels et procédé

Balance de précision à 0,0001g Sartorius ;	-Dispositif Büchner;
-Bécher de 500ml ;	-Pince métallique ;
-Chronomètre ;	-Agitateur magnétique ;
-Bécher quelconque ;	-Barreau ;
-Seringue de 60ml ;	-Cahier de laboratoire ;
-Pince plastique ;	-Fiche échantillons ;
-Filtres GF/C Whatman 47 mm ;	-Marqueur indélébile ;
-Boîtes de Pétri ;	-Papier à essuyer ;
-Fiole à vide ;	-Etuve Memmert ;
-Trompe à eau;	

La méthode par filtration des échantillons permet de séparer les particules du liquide. Le filtre utilisé permet de retenir les particules de la solution. Il s'agit d'un filtre en microfibres de verre de marque Whatman. Il est recommandé dans les processus standards de dosage des MES. Ses caractéristiques sont citées ci-dessous :

- Diamètre : 47 mm ;
- Porosité : 1,2 µm ;
- Epaisseur papier : 260 µm ;
- Temps de filtration : 6,7 s ;
- Grammage:53 g/

Mode opératoire

Tout d'abord, il est nécessaire de peser les filtres. Pour ce faire, les filtres sont stockés à l'étuve pendant 48 heures à 60°C. Ceux-ci sont alors pesés grâce à la balance électronique de précision (au 1/10000 de g) de marque Sartorius. Une boîte de Pétri est dédiée à chacun des filtres. Sur le dessus des boîtes, les références du filtre sont inscrites. Il existe une nomenclature pour nommer les filtres : « II_FRN_N°filtre » pour les échantillons du seuil amont et « II_DNS_N°filtre » pour les échantillons du seuil aval.

Préparation du dispositif

Le dispositif doit se trouver à proximité d'une source d'eau. Il est alors primordial que l'embout du robinet soit compatible avec la trompe à eau. La trompe à eau est installée au robinet, le tuyau flexible est fixé entre la trompe à eau et la fiole à vide. Le dispositif Büchner est placé sur la fiole à vide, le filtre installé sur la membrane. La pince métallique rend l'ensemble hermétique.

La filtration sous vide

Le filtre en fibre de verre est placé sur le dispositif. Après avoir homogénéisé la solution à filtrer, 60 ml de celle-ci est versée sur le filtre. Une fois le filtre essoré, il faut le sécher à l'étuve à 60°C pendant 48 heures. Puis, il est pesé sur la balance de précision. La teneur en MES (g/l) de l'eau est donnée par l'expression :

$$C = (M1 - M0) / V$$

M0 : masse du filtre sec avant utilisation ;

M1 : masse du filtre sec après utilisation ;

V : volume d'eau filtré.

Les planches photographiques ci-dessous explicitent les différentes étapes à suivre pour réaliser la filtration sous vide et la pesée.

Planche photo des étapes de la méthode de filtration (1)

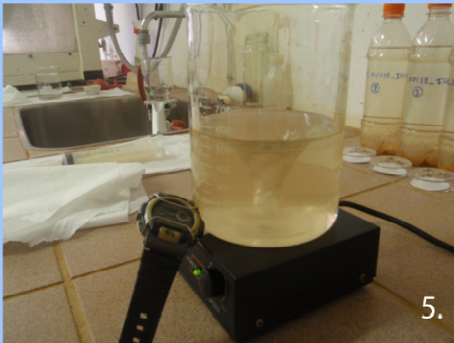
 1.	 2.
Mettez en place le dispositif de filtration sous vide.	Installez le matériel sur la paillasse la plus proche du robinet.
 3.	 4.
Homogénéisez l'échantillon en secouant la bouteille de façon à décoller les particules sédimentées au fond.	Versez 500 ml du contenu de la bouteille dans le becher placé au préalable sur l'agitateur magnétique.
 5.	 6.
Placez le barreau dans le becher et lancez l'agitateur pendant 1 minute.	Placez le filtre (du côté quadrillé) correspondant à l'échantillon sur la membrane à l'aide de la pince.

Planche photo des étapes de la méthode de filtration (2)

 7.	 8.
Après 1 minute d'agitation, prélevez de façon homogène 60 ml de liquide grâce à la seringue.	Ouvrez le robinet et videz la seringue dans le col de l'entonnoir en verre sans le dépasser.
 9.	 10.
Une fois le liquide filtré entièrement, fermez le robinet. Retirez l'entonnoir et nettoyez le col avec un papier.	Déposez l'entonnoir à l'envers sur le bord et retirez le filtre à l'aide de la pince.
 11.	 12.
Déposez le filtre dans la boîte de Pétri correspondante.	Nettoyez la seringue avec de l'eau claire de manière à décoller toutes les particules, renouvelez l'opération.

Planche photo des étapes de la méthode de filtration (3)

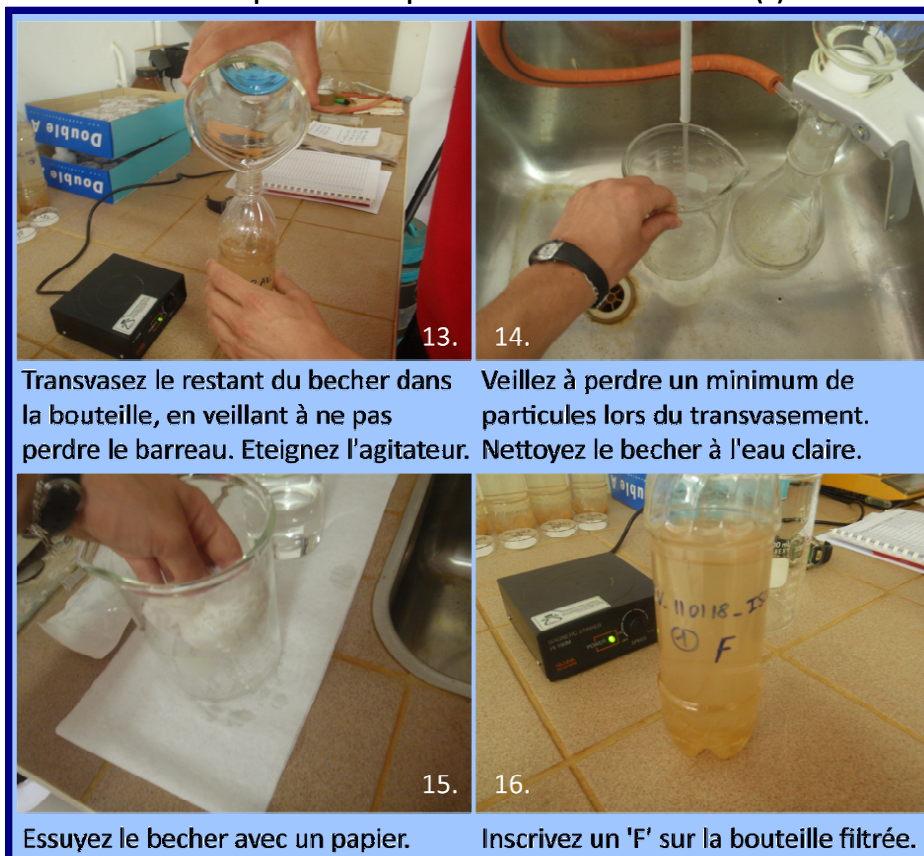


Planche photos des étapes de la méthode de pesée



Annexe 5 : Procédure de granulométrie Laser

Technique

L'échantillon à analyser doit être dispersé dans un milieu liquide ou mis en suspension dans un courant d'air qui circule à travers une cellule de verre. En voie liquide, le milieu porteur doit être transparent à la longueur d'onde neutre et d'indice de réfraction différent de celui des particules. L'analyse des particules se fait sur l'ensemble de l'échantillon.

Manipulation

- Allumez le Malvern Hydro2000, les boutons se trouvent sur le côté gauche de l'appareil rectangulaire et à l'arrière de l'appareil carré ;
- Allumez l'ordinateur en utilisant l'identifiant « malvern » et le mot de passe « hydro2000 » ;
- Ouvrez le logiciel « Mastersizer » situé sur le bureau ;
- Dans le menu « Mesurer » cliquez sur l'onglet « Manuel », puis sur « Préparation », puis sur « Remplir » cuve ;
- Attendez une vingtaine de minutes que le laser se stabilise et s'aligne ;
- Veillez à ce que le bruit de fond soit raisonnable (les 10 premiers détecteurs doivent être en dessous de 80 intensité lumière et à partir du vingtième détecteur sous les 20 d'intensité lumière) ;
- Fermez la fenêtre ;
- Dans le menu « Mesurer » sélectionnez « Démarrer SOP » ou « Manuel » pour commencer vos analyses ;
- Le logiciel calcul le bruit de fond et le laser s'aligne ;
- Rentrez le nom de votre échantillon ;
- A l'aide d'une seringue ou d'une pipette versez la solution à analyser dans la cuve en veillant à ce que l'obscurité laser soit comprise entre 10 et 20% ;
- Une fois la manipulation terminée, nettoyez la cuve au moins 3 fois lorsque la solution est fortement concentrée, dégazez et appliquez des ultrasons.

Ultrasons

Pour deux échantillons, on a appliqué des pré-ultrasons pendant 5 minutes sur les prélèvements avant de les passer dans le granulomètre. On peut observer une diminution significative de la taille des particules (Figure 83), prouvant le caractère floculant des particules de MES et l'effet des ultrasons sur les particules pour casser les agrégats.

Les tailles des particules correspondant à 50% et 90% du volume cumulé ont été réduites en moyenne de 42%. La taille des particules correspondant à 10% du volume cumulé a été réduite en moyenne de 21%. Ce procédé réduit préférentiellement les moyens et gros diamètres.

Citrate

Le citrate est utilisé comme agent défloculant sur les particules de MES qui ont la particularité de s'agréger. On a mélangé du citrate dans trois échantillons pour observer l'effet du citrate sur la distribution granulométrique. On remarque que le citrate agit sur les petits diamètres, réduisant en moyenne de 30% la taille des particules correspondant à 10% du volume cumulé. La taille des particules correspondant à 50% du volume cumulé est réduite en moyenne de 12%. Ce procédé réduit préférentiellement les petits diamètres.

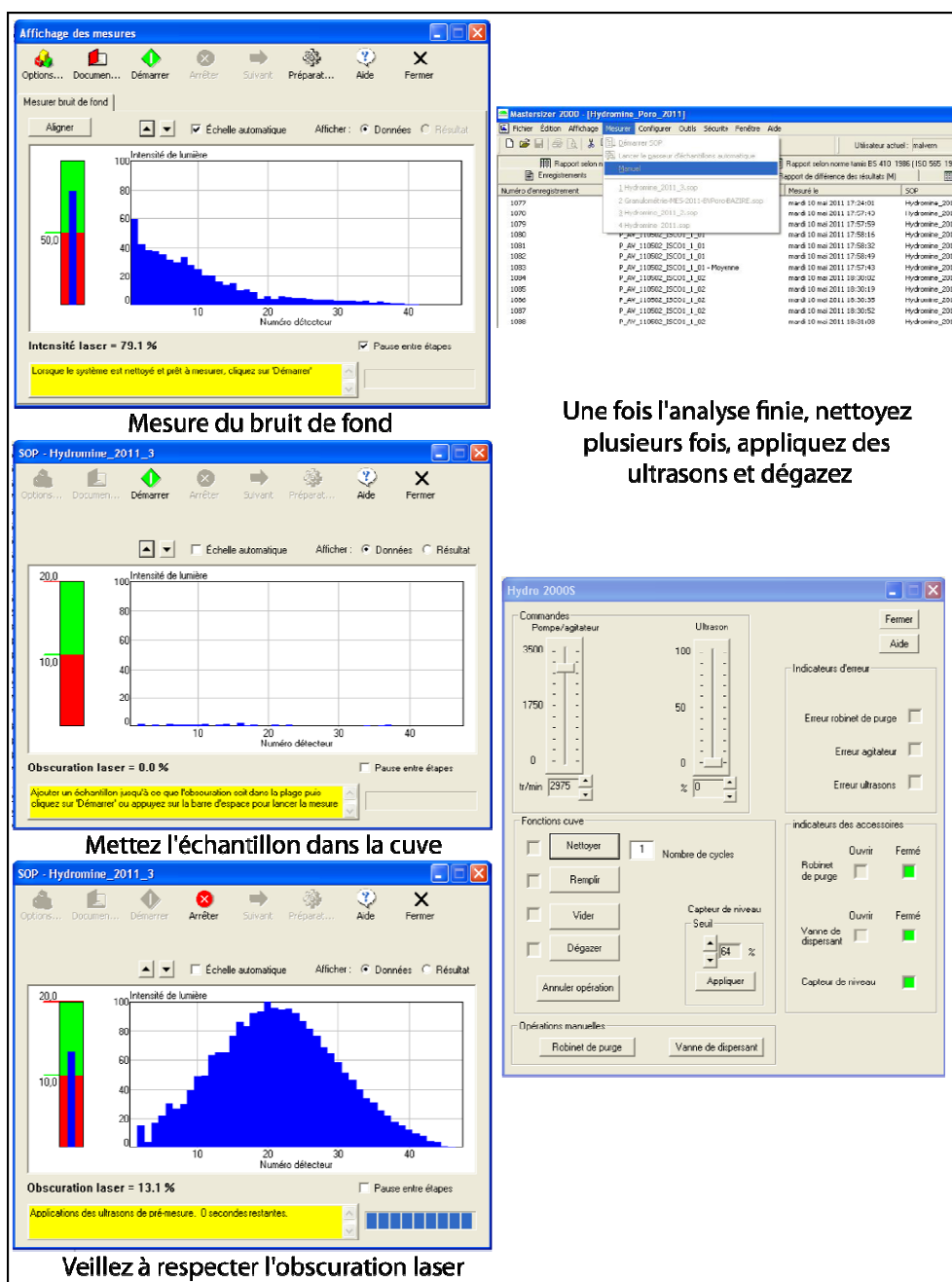


Figure 82 : Etapes de l'analyse au granulomètre laser

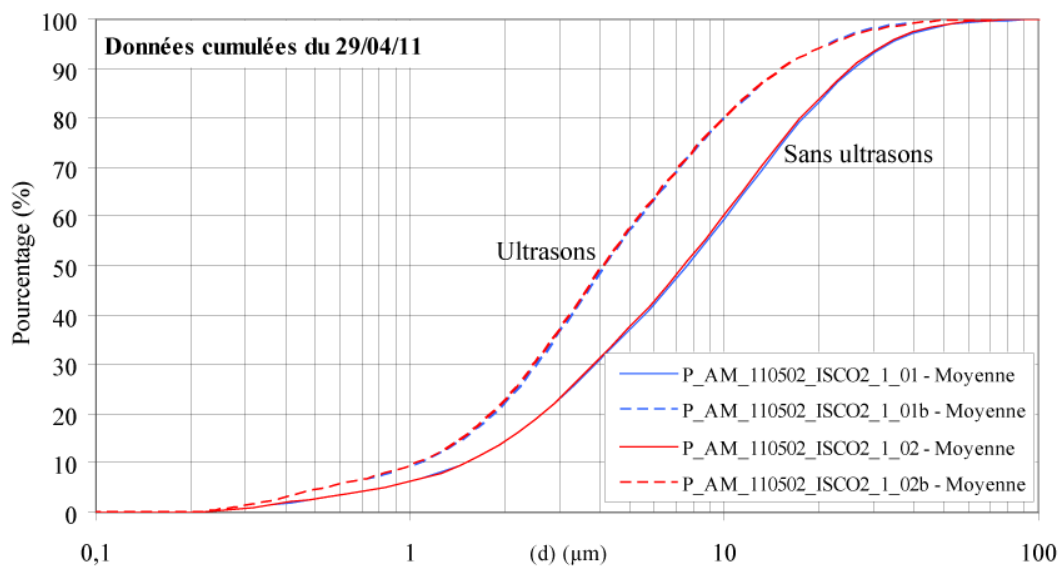


Figure 83 : Effet des ultrasons sur la distribution granulométrique des échantillons

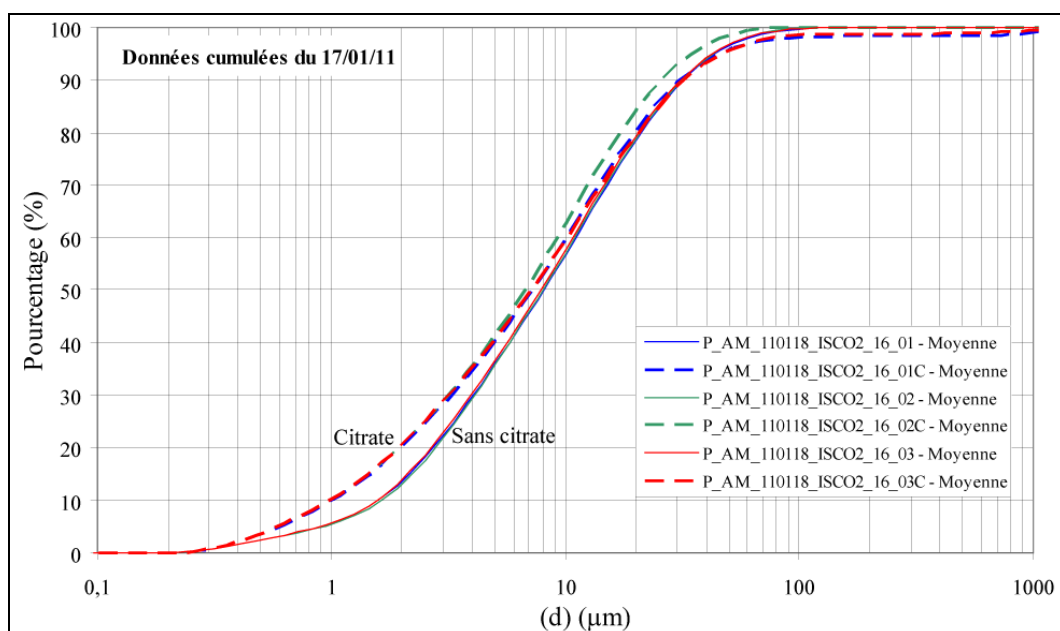


Figure 84 : Effet du citrate sur la distribution granulométrique des échantillons

Annexe 6 : Modes de calcul des variables descriptives des épisodes

Variables de précipitation

Pluie en mm : cumul des basculements enregistrés entre le début et la fin de l'épisode

Durée en minutes = ((date fin) – (date début)) * 1440

Imaxyy, Intensité maximale en yy minutes : on déplace une fenêtre de yy minutes sur la durée de la chronique de pluie et on extrait le cumul maximum observé dans cette fenêtre.

- Imaxyy = (cumul en mm)/(yy/60)

Yy prend les valeurs 01, 05, 06, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 240, 360, 720, 1440 (soit 24h)

Taaa : période de retour de la pluie maximale sur la durée aaa (pour aaa prenant les valeurs 15min, 1h, 2h et 4h)

htotxx : cumul de précipitation au cours de l'épisode tombée avec une intensité instantanée supérieure à xx mm/h. Ceci permet d'isoler la fraction intense des précipitations dont le rôle érosif est primordial. Pour chaque pas de temps de la chronique, on calcule l'intensité instantanée (hauteur de pluie depuis le pas de temps précédent / intervalle de temps converti en heure). Si l'intensité dépasse le seuil, on ajoute la hauteur de pluie au cumul htotyy, sinon, on l'ignore. La Figure 85 : Calcul des variables de cumul avec seuil d'intensité. Figure 85 explicite le mode de calcul de cette variable qui a souvent montré sa pertinence dans les études sur les facteurs de l'érosion.

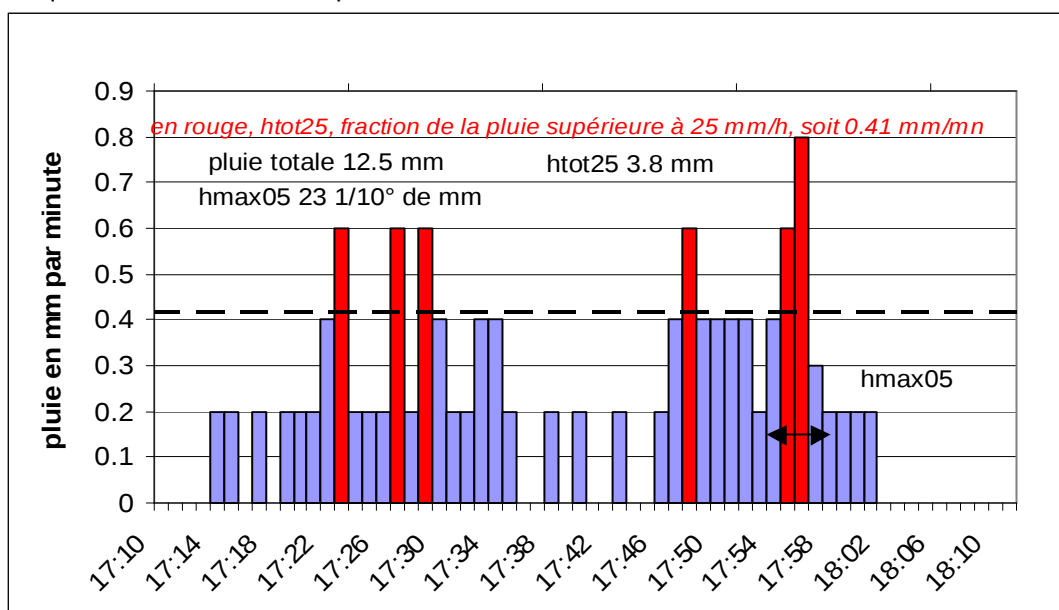


Figure 85 : Calcul des variables de cumul avec seuil d'intensité.

Le cumul au seuil de 25 mm/h inclura les fractions affichées en rouge. L'intensité maximale sera calculée à l'aide du cumul des 5 minutes soulignées par les flèches noires soit

ej00 (en j/m²) est l'énergie cinétique calculée par la formule de Wishmeier (Wishmeier et al., 1978), après adaptation des coefficients au système d'unités internationales. Pour la totalité de l'épisode pluvieux constitué de n séquences successives de pluie P_i avec une intensité Int_i , l'énergie cinétique est donnée par la formule

$$ej00 = \sum_{i=1}^n P_i * (11.9 + 8.73 * \log_{10}(Int_i))$$

Ejxx est la même variable calculée sur les seules séquences dépassant le seuil d'intensité instantanée de xx mm/h

IPA est l'indice des pluies antérieures. Plusieurs formules existent dans la littérature et ces différentes formules ont été testées. Les résultats de ces tests sont discutés en

Tableau 36 : Tableau récapitulatif des variables utilisées

Variable	Abréviation	Unité	Commentaire
cumul de précipitation	Pluie ou P	mm	
durée de l'épisode	Durée ou Dp	min	
intensité maximale	Imaxyy	mm/h	observée en yy minutes
période de retour	Taaa	année	de cette intensité maximale
cumul de pluie avec seuil	htotxx	mm	au-delà d'un seuil xx d'intensité
énergie cinétique	ejxx	J/m ²	au delà d'un seuil xx d'intensité
Indice des pluies antérieures	IPA	mm	
Lame ruisselée	Lr	mm	
Coefficient d'écoulement	CE		
Temps de concentration	Tc	min	
Temps sec	ts	jours	depuis la fin de la dernière pluie
Temps sec	Ts	jours	depuis la fin du précédent ruissellement
Débit de pointe	Qmax	m ³ /s	
Temps initial	t0	min	entre début d'averse et début du ruissellement
Pluie initiale	P0	mm	Pendant t0 ou pertes initiales
Débit spécifique	Qs	m ³ /s/km ²	
Concentration	C	g/l	
Concentration maximale	Cmax	g/l	
Diamètres caractéristiques	Dxx	Mm ou μ	Diamètre non dépassé par xx% en poids de l'échantillon. D50 : diamètre médian

Annexe 7 : Choix d'un indice de pluie antérieure

L'utilisation d'un indice de pluies antérieures (IPA) permet, en l'absence de mesure de l'état hydrique du sol, d'apprécier les conditions initiales lors d'un épisode pluvieux.

Il existe de nombreuses formules pour calculer un IPA. La plupart est basée sur les chroniques de pluies journalières. Mais quand on raisonne à l'échelle de l'épisode, il faut parfois descendre à une échelle de temps plus fine, prendre en compte un épisode antérieur au cours de la même journée, etc... Afin de retenir le mode de calcul le mieux adapté aux besoins de l'étude, une étude détaillée des différentes formules a été conduite.

Sur le site d'étude de Poro, la donnée pluviométrique disponible est constituée des horaires de basculement d'auget. Ainsi, pour chaque 0.5 mm de pluie précipitée un enregistrement est effectué. Lors de la validation des données la DAVAR ajoute des débuts d'averses après les interruptions supérieures à deux heures. Ces débuts d'averse ont été retenus pour le catalogue des épisodes pluvieux de plus de 5 mm. Nous cherchons à connaître l'IPA de chaque épisode pluvieux répertorié dans le catalogue. Plusieurs méthodes de calcul d'IPA ont été testées.

Méthode 1 :

Sur le bassin versant de Poro il est fréquent d'avoir plusieurs averses dans une même journée calendaire ou sur un laps de temps de 24h. La première méthode de calcul considérera un jour comme une période de 24h dont la référence est le début de l'épisode pluvieux dont on cherche à connaître l'IPA.

La formule utilisée est la suivante :

$$IPA_j = P_j + \alpha P_{j-1} + \alpha^2 P_{j-2} + \dots + \alpha^n P_{j-n}$$

Le nombre de jour n , pris en compte dans le calcul est fonction du α choisi. α peut-être considéré comme un abattement de la pluie précédente. Plus la valeur de α est faible, plus le nombre de jours n à prendre en compte sera faible.

Méthode 2 :

Cette méthode est similaire à la précédente mais en prenant cette fois-ci en compte les jours calendaires et non plus les périodes de 24h. Si plusieurs épisodes sont répertoriés le même jour, la pluie des averses du jour antérieures au début de l'épisode considéré est également comprise.

Pour cette méthode et les suivantes les pluies journalières ont été calculées à partir des chroniques à pas de temps variable.

Méthode 3 :

Cette méthode est similaire à la précédente, mais ne prends pas en compte la pluie du jour de l'épisode.

Méthode 4 :

Pour cette méthode, l'IPA est calculé selon la formule suivante, formule de l'IPA de Shaw (1994) :

$$IPA_j = (IPA_{j-1} + P_{j-1}) * K$$

Cette méthode requiert une initialisation, il faut déterminer un IPA_0 de départ. Pour cette étude l' IPA_0 de départ est nul au début de la période d'observation.

Comparaison des méthodes

Pour l'ensemble des épisodes répertoriés, l'IPA a été calculé par chacune des quatre méthodes, en faisant éventuellement varier les paramètres n , α et K . Les résultats sont résumés dans la Figure 86.

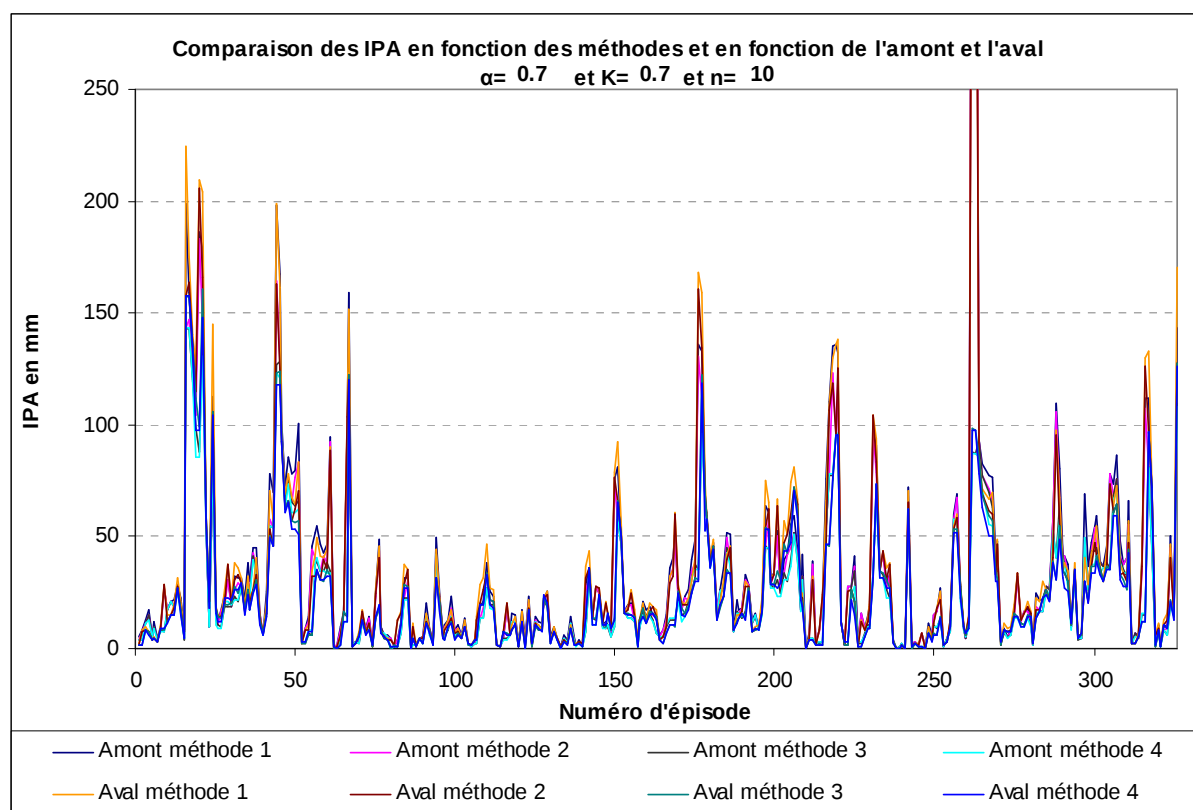


Figure 86 : comparaison des IPA calculés pour l'ensemble des épisodes

Le fort nombre d'épisode empêche une bonne lecture du graphique, un zoom sur une cinquantaine d'épisodes est représenté sur la Figure 87.

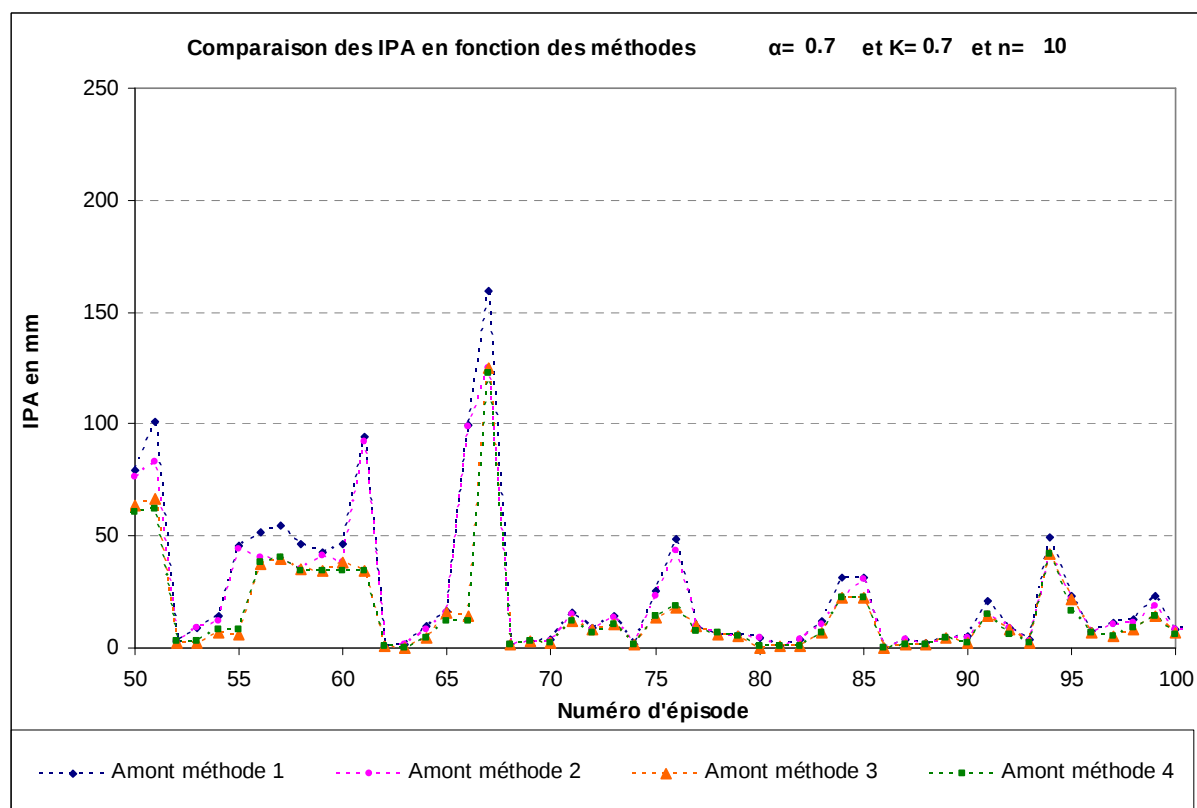


Figure 87 : comparaison des IPA, zoom sur les épisodes 50 à 100, Poro amont

On observe que les différents indices sont très voisins mais que pour certains épisodes, il y a de

fortes différences entre les méthodes.

La méthode 1 donne un poids très important à la pluie des dernières 24h tandis que la méthode 2 va donner un poids très important seulement à la pluie entre le début de la journée et l'épisode. Les méthodes 3 et 4 ne tiennent pas compte de la pluie du jour. Les différences sont accentuées si on utilise un α et un K faibles qui minorent plus fortement les pluies des jours précédents.

Les graphiques suivants montrent l'évolution des courbes pour les épisodes 50 à 100 en fonction des paramètres α , K. Pour plus de clarté, les graphiques ont la même échelle.

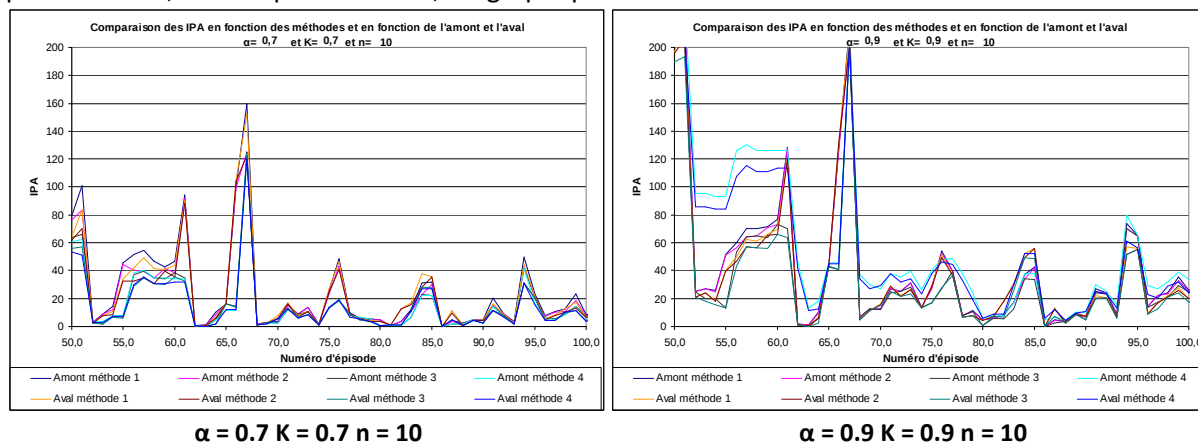


Figure 88 : effets des coefficients α et K sur la valeur de l'IPA

Plus les coefficients α et K sont grands, plus l'écart entre les courbes est faible et plus les pluies antécédentes sont fortement prises en compte. Les coefficients α et K jouent deux rôles :

- Donner ou non un fort poids à la pluie du jour par rapport à celles des autres jours
- Prendre en compte les pluies passées à plus ou moins long terme

Pour la suite de l'étude, les paramètres retenus représentent un bon compromis : on retient Dans un α et K égal à 0,7 et n égal à 10.

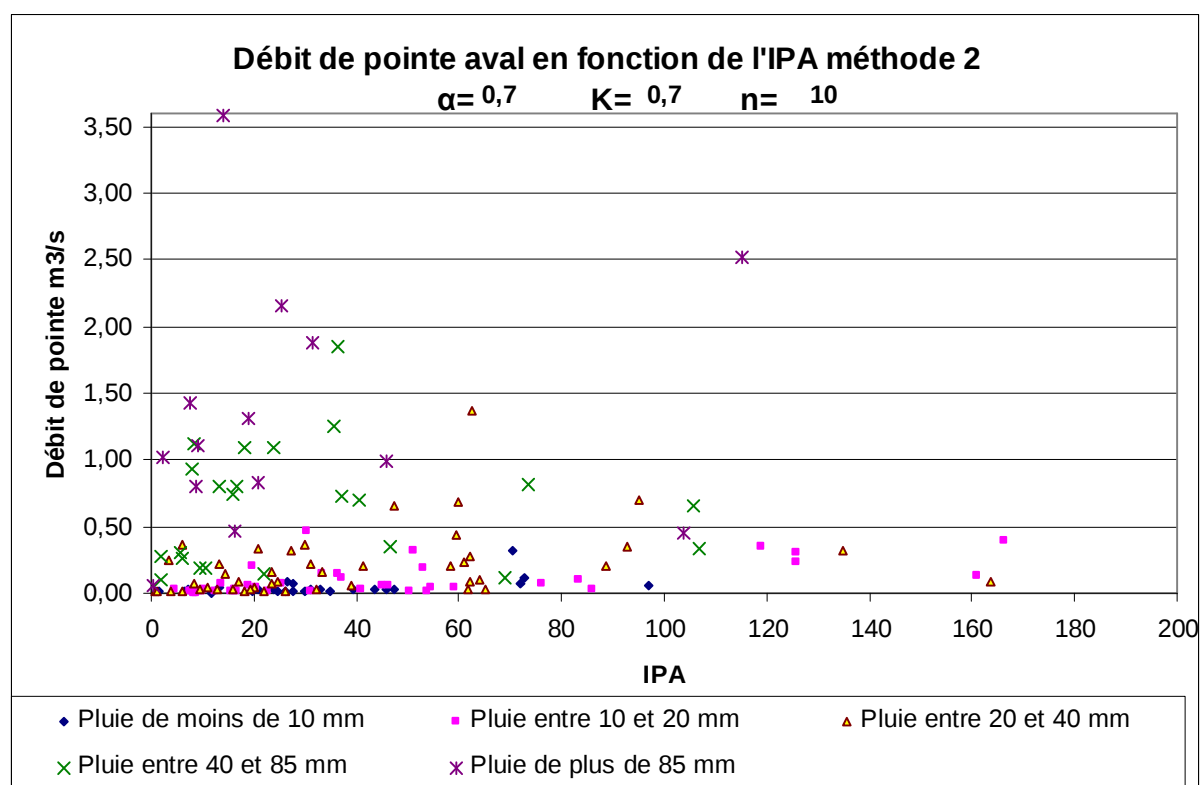
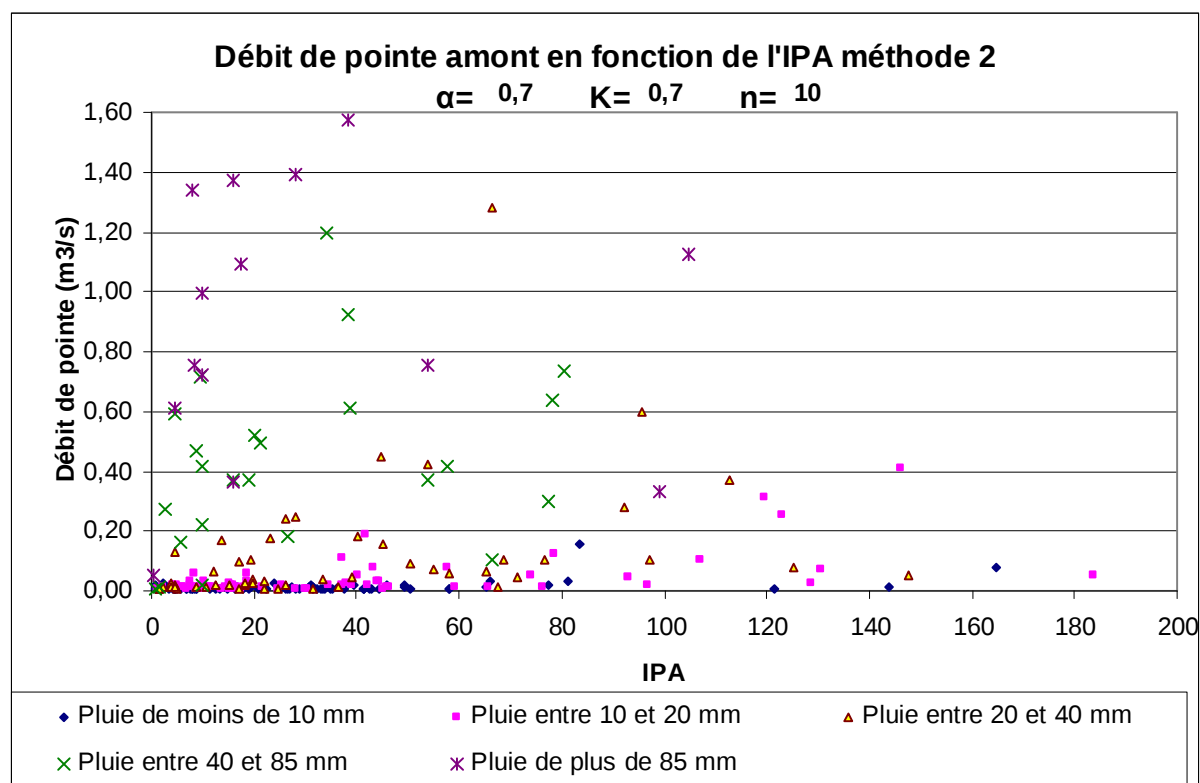


Figure 89 : Relation entre débit de pointe et IPA, catégorisée par niveau de précipitation

Annexe 8 : Etude des corrélations

Pour cette étude plusieurs matrices de corrélations sont établies avec le logiciel Statistica. Il s'agit d'identifier les variables bien corrélées tout en s'assurant de la sensibilité des résultats à l'échantillon.

Pour étudier la sensibilité à l'échantillon plusieurs matrices sont réalisées :

- Avec tous les paramètres hydrologiques
- Avec tous les paramètres hydrologiques et de transport solide
- Sans l'évènement du 24 décembre 2011 (épisode 261)
- Sans les valeurs nulles
- En catégorisant avec l'IPA

Le travail complet est d'abord réalisé pour Poro amont puis la partie jugée pertinente est réalisée pour Poro aval. Pour tenter de mettre en évidence l'influence sur le ruissellement de l'état d'humidification du sol avant l'épisode, l'analyse a été conduite sur des sous-ensembles catégorisés en fonction de l'IPA.

Poro amont

Au total, pour Poro amont, 11 matrices de corrélation ont été établies. Seules les quatre premières seront présentées ci-après. Le tableau Récapitulatif amont reprend les résultats de toutes les matrices de corrélation pour les paramètres t_0 , P_0 , CE , C_{max} , C_{moy} , Flux et Q_{max} , et permet de discuter la sensibilité à l'échantillonnage.

1. Matrice de corrélation amont globale avec paramètres hydrologiques (325)
2. Matrice de corrélation amont globale avec paramètres hydrologiques et paramètres de transport solide (60 ; 2)
3. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques sans épisode 261 (324)
4. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques et paramètres de transport solide sans épisode 261 (59)
5. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques des épisodes ruisselants (252)
6. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques des épisodes ayant un IPA inférieur à 10 mm (100 ; 6)
7. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques et paramètres de transport solide des épisodes ayant un IPA inférieur à 10 mm (8)
8. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques des épisodes ayant un IPA compris entre 10 mm et 25 mm (94)
9. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques des épisodes ayant un IPA compris entre 25 mm et 60 mm (84)
10. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques et paramètres de transport solide des épisodes ayant un IPA supérieur à 60 mm (47)
11. Matrice de corrélation amont avec paramètres hydrologiques des épisodes ruisselants sauf l'épisode 261 (251)

Pour répartir les 325 épisodes en 4 classes d'IPA, un premier découpage à effectif constant par classe a été tenté et aboutit aux bornes de classes suivantes :

- IPA < 8 mm
- IPA [8 - 18.2 [mm
- IPA [18.2 - 39.5] mm
- IPA > 39.5 mm

La classe des IPA forts n'est pas très élevée avec un découpage en effectifs égaux. Les valeurs retenues sont les suivantes :

- classe 1 : IPA < 10 mm (effectif amont: 100)

- classe 2 : IPA [10 – 25[mm (effectif amont: 94)
- classe 3 : IPA [25 - 60] mm (effectif amont: 84)
- classe 4 : IPA > 60 mm (effectif amont: 47)

Il faut noter que la classe IPA inférieur à 10 mm contient l'épisode 261. Les variables de précipitation avec seuils comportent beaucoup de valeurs nulles dès que le seuil devient élevé. Sur les 325 épisodes amont il y a 140 épisodes ayant un ej40 et un htot40 nul, 73 épisodes ne ruisselant pas et 63 épisodes ayant un ej15 et un htot15 nul.

La classe IPA inférieur à 10 prenant en compte les paramètres de transport solide ne comprend que 8 individus et ne sera donc pas exploitée.

Matrice amont 1 : Matrice de corrélation amont globale des paramètres hydrologique (n = 325)

	Moyen nes	Ec- Type	pluie	Pluie	durée	ts	Ts	IPA M2 a=0,5	IPA M2 a=0,7	IPA M2 a=0,9	P+IPA M2;0,5	P+IPA M2;0,7	P+IPA M2;0,9	Imax 06	Imax 15	Imax 60	Imax 120	Imax 1440
pluie	22,7	40,6	100%	100%	68%	-5%	-5%	-1%	-1%	0%	68%	63%	47%	59%	69%	78%	86%	98%
Pluie	22,9	40,6	100%	100%	67%	-5%	-4%	-1%	-1%	0%	69%	63%	48%	61%	70%	80%	87%	99%
durée	337,4	396,8	68%	67%	100%	-1%	-3%	-5%	-4%	-5%	43%	39%	28%	20%	25%	32%	39%	63%
ts	5286	8646	-5%	-5%	-1%	100%	47%	-14%	-18%	-21%	-14%	-17%	-21%	-9%	-8%	-9%	-8%	-5%
Ts	182,1	374,8	-5%	-4%	-3%	47%	100%	-8%	-13%	-17%	-9%	-13%	-17%	-10%	-8%	-6%	-6%	-5%
IPA M2 a=0,5	20,4	42,3	-1%	-1%	-5%	-14%	-8%	100%	96%	73%	72%	74%	64%	5%	5%	5%	3%	-1%
IPA M2 a=0,7	32,9	49,3	-1%	-1%	-4%	-18%	-13%	96%	100%	87%	69%	77%	76%	8%	7%	7%	4%	0%
IPA M2 a=0,9	66,1	74,6	0%	0%	-5%	-21%	-17%	73%	87%	100%	53%	67%	88%	11%	11%	9%	6%	0%
P+IPA M2;0,5	43,3	58,3	68%	69%	43%	-14%	-9%	72%	69%	53%	100%	98%	79%	46%	53%	59%	63%	68%
P+IPA M2;0,7	55,8	63,7	63%	63%	39%	-17%	-13%	74%	77%	67%	98%	100%	89%	44%	50%	56%	59%	63%
P+IPA M2;0,9	89,0	84,8	47%	48%	28%	-21%	-17%	64%	76%	88%	79%	89%	100%	39%	43%	46%	47%	47%
Imax06	32,4	27,9	59%	61%	20%	-9%	-10%	5%	8%	11%	46%	44%	39%	100%	96%	84%	77%	62%
Imax15	22,5	21,3	69%	70%	25%	-8%	-8%	5%	7%	11%	53%	50%	43%	96%	100%	93%	87%	72%
Imax60	10,4	11,4	78%	80%	32%	-9%	-6%	5%	7%	9%	59%	56%	46%	84%	93%	100%	97%	82%
Imax120	6,7	8,0	86%	87%	39%	-8%	-6%	3%	4%	6%	63%	59%	47%	77%	87%	97%	100%	90%
Imax1440	0,9	1,6	98%	99%	63%	-5%	-5%	-1%	0%	0%	68%	63%	47%	62%	72%	82%	90%	100%
htot15	12,0	30,4	93%	94%	43%	-5%	-5%	0%	0%	0%	65%	60%	45%	67%	77%	85%	92%	95%
ej15	301,9	831,6	92%	93%	42%	-5%	-4%	-1%	-1%	0%	64%	59%	44%	64%	75%	83%	90%	94%
htot40	6,2	23,2	84%	86%	31%	-3%	-3%	-1%	-1%	-1%	59%	53%	40%	63%	73%	80%	86%	88%
ej40	164,4	663,8	83%	85%	31%	-2%	-2%	-1%	-2%	-1%	58%	53%	39%	60%	71%	78%	85%	87%
Dc	289,0	390,2	61%	60%	77%	-10%	-11%	2%	4%	6%	43%	42%	34%	24%	27%	31%	36%	56%
t0	82,3	137,5	35%	35%	57%	-7%	-8%	-4%	-5%	-7%	21%	19%	10%	16%	20%	24%	26%	34%
Po	2,9	4,7	56%	57%	51%	-7%	-8%	0%	0%	0%	39%	36%	27%	46%	49%	51%	50%	55%
Lr	7,7	28,4	95%	95%	55%	-7%	-8%	0%	1%	2%	66%	61%	47%	51%	61%	71%	81%	95%
CE	0,2	0,2	52%	50%	38%	-25%	-24%	15%	22%	27%	46%	49%	48%	35%	38%	46%	49%	50%
Qmax	0,1	0,3	87%	86%	44%	-11%	-9%	3%	6%	8%	62%	59%	49%	62%	73%	83%	87%	87%

Matrice amont 1 (suite) : Matrice de corrélation amont globale des paramètres hydrologique (n = 325)

	htot 15	ej 15	htot 40	ej 40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Qmax
pluie	93%	92%	84%	83%	61%	35%	56%	95%	52%	87%
Pluie	94%	93%	86%	85%	60%	35%	57%	95%	50%	86%
durée	43%	42%	31%	31%	77%	57%	51%	55%	38%	44%
ts	-5%	-5%	-3%	-2%	-10%	-7%	-7%	-7%	-25%	-11%
Ts	-5%	-4%	-3%	-2%	-11%	-8%	-8%	-8%	-24%	-9%
IPA M2 a=0,5	0%	-1%	-1%	-1%	2%	-4%	0%	0%	15%	3%
IPA M2 a=0,7	0%	-1%	-1%	-2%	4%	-5%	0%	1%	22%	6%
IPA M2 a=0,9	0%	0%	-1%	-1%	6%	-7%	0%	2%	27%	8%
P+IPA M2;0,5	65%	64%	59%	58%	43%	21%	39%	66%	46%	62%
P+IPA M2;0,7	60%	59%	53%	53%	42%	19%	36%	61%	49%	59%
P+IPA M2;0,9	45%	44%	40%	39%	34%	10%	27%	47%	48%	49%
lmax06	67%	64%	63%	60%	24%	16%	46%	51%	35%	62%
lmax15	77%	75%	73%	71%	27%	20%	49%	61%	38%	73%
lmax60	85%	83%	80%	78%	31%	24%	51%	71%	46%	83%
lmax120	92%	90%	86%	85%	36%	26%	50%	81%	49%	87%
lmax1440	95%	94%	88%	87%	56%	34%	55%	95%	50%	87%
htot15	100%	100%	97%	96%	41%	23%	47%	93%	43%	89%
ej15	100%	100%	98%	97%	40%	22%	45%	93%	41%	88%
htot40	97%	98%	100%	100%	29%	16%	38%	88%	34%	84%
ej40	96%	97%	100%	100%	29%	16%	37%	88%	33%	82%
Dc	41%	40%	29%	29%	100%	32%	35%	52%	50%	40%
t0	23%	22%	16%	16%	32%	100%	71%	24%	23%	27%
Po	47%	45%	38%	37%	35%	71%	100%	44%	29%	46%
Lr	93%	93%	88%	88%	52%	24%	44%	100%	55%	89%
CE	43%	41%	34%	33%	50%	23%	29%	55%	100%	64%
Qmax	89%	88%	84%	82%	40%	27%	46%	89%	64%	100%

Matrice amont 2 : Matrice de corrélation amont globale des paramètres hydrologique et des paramètres de transport solide (n = 60)

	Moyennes	Ec-Type	pluie	Pluie	durée	ts	Ts	IPA M2 a=0,5	IPA M2 a=0,7	IPA M2 a=0,9	P+IPA M2;0,5	P+IPA M2;0,7	P+IPA M2;0,9	Imax06	Imax15	Imax60	Imax120	Imax1440
pluie	58,7	72,4	100%	100%	66%	24%	7%	-15%	-19%	-23%	58%	54%	39%	60%	70%	76%	85%	98%
Pluie	58,6	73,2	100%	100%	64%	26%	8%	-15%	-18%	-23%	59%	55%	40%	60%	71%	77%	86%	99%
durée	568,8	614,0	66%	64%	100%	35%	7%	-20%	-22%	-23%	29%	27%	17%	10%	14%	17%	24%	55%
ts	2319	3292	24%	26%	35%	100%	25%	-3%	-5%	-9%	16%	14%	8%	11%	16%	14%	14%	23%
Ts	92,0	327,7	7%	8%	7%	25%	100%	3%	0%	-6%	8%	5%	-1%	11%	9%	14%	10%	8%
IPA M2 a=0,5	38,8	83,9	-15%	-15%	-20%	-3%	3%	100%	98%	76%	71%	73%	63%	-12%	-11%	-13%	-13%	-15%
IPA M2 a=0,7	58,7	88,6	-19%	-18%	-22%	-5%	0%	98%	100%	87%	67%	72%	71%	-15%	-14%	-16%	-17%	-18%
IPA M2 a=0,9	108,6	113,0	-23%	-23%	-23%	-9%	-6%	76%	87%	100%	46%	58%	80%	-15%	-15%	-19%	-20%	-22%
P+IPA M2;0,5	97,4	102,9	58%	59%	29%	16%	8%	71%	67%	46%	100%	98%	79%	33%	42%	45%	50%	58%
P+IPA M2;0,7	117,3	104,1	54%	55%	27%	14%	5%	73%	72%	58%	98%	100%	88%	30%	38%	40%	46%	54%
P+IPA M2;0,9	167,2	119,9	39%	40%	17%	8%	-1%	63%	71%	80%	79%	88%	100%	23%	29%	29%	34%	39%
Imax06	60,1	33,8	60%	60%	10%	11%	11%	-12%	-15%	-15%	33%	30%	23%	100%	96%	83%	74%	63%
Imax15	45,2	29,7	70%	71%	14%	16%	9%	-11%	-14%	-15%	42%	38%	29%	96%	100%	92%	85%	74%
Imax60	23,9	17,1	76%	77%	17%	14%	14%	-13%	-16%	-19%	45%	40%	29%	83%	92%	100%	96%	82%
Imax120	15,4	13,0	85%	86%	24%	14%	10%	-13%	-17%	-20%	50%	46%	34%	74%	85%	96%	100%	91%
Imax1440	2,3	2,8	98%	99%	55%	23%	8%	-15%	-18%	-22%	58%	54%	39%	63%	74%	82%	91%	100%
htot15	38,0	60,0	94%	95%	40%	18%	6%	-12%	-15%	-20%	58%	54%	39%	70%	80%	87%	94%	98%
ej15	970,0	1686,3	94%	95%	38%	18%	7%	-11%	-15%	-19%	58%	54%	40%	68%	79%	85%	93%	97%
htot40	22,2	49,4	88%	90%	28%	18%	7%	-10%	-13%	-17%	56%	52%	39%	71%	81%	86%	92%	94%
ej40	596,3	1433,5	88%	90%	29%	18%	7%	-9%	-12%	-16%	56%	53%	40%	69%	79%	84%	91%	94%
Dc	536,4	563,8	64%	62%	94%	31%	6%	-16%	-16%	-15%	31%	30%	24%	7%	11%	11%	21%	52%
t0	131,3	186,0	24%	24%	48%	18%	4%	-18%	-22%	-30%	2%	-3%	-14%	5%	9%	11%	11%	21%
Po	5,7	7,0	46%	46%	51%	16%	3%	-12%	-16%	-18%	23%	19%	11%	33%	37%	36%	32%	42%
Lr	28,3	56,4	97%	97%	53%	10%	-3%	-12%	-14%	-16%	59%	56%	44%	58%	69%	76%	87%	97%
CE	0,4	0,2	44%	42%	25%	-31%	-19%	-11%	-7%	0%	20%	23%	25%	23%	24%	34%	43%	41%
Cmax	4,7	5,1	29%	27%	10%	12%	12%	-4%	-7%	-11%	16%	13%	6%	56%	51%	38%	29%	25%
Cmoy	1,1	1,1	14%	15%	-13%	8%	4%	5%	0%	-7%	14%	11%	3%	28%	32%	32%	26%	17%
Flux	3976	13318	87%	88%	29%	8%	-2%	-8%	-11%	-14%	56%	53%	41%	62%	73%	80%	89%	92%
Qmax	0,434	0,581	85%	85%	33%	1%	-1%	-13%	-15%	-16%	50%	48%	37%	68%	78%	86%	91%	87%

Matrice amont 2 (suite): Matrice de corrélation amont globale des paramètres hydrologique et des paramètres de transport solide (n = 60)

	htot15	ej15	htot40	ej40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Cmax	Cmoy	Flux	Qmax
pluie	94%	94%	88%	88%	64%	24%	46%	97%	44%	29%	14%	87%	85%
Pluie	95%	95%	90%	90%	62%	24%	46%	97%	42%	27%	15%	88%	85%
durée	40%	38%	28%	29%	94%	48%	51%	53%	25%	10%	-13%	29%	33%
ts	18%	18%	18%	18%	31%	18%	16%	10%	-31%	12%	8%	8%	1%
Ts	6%	7%	7%	7%	6%	4%	3%	-3%	-19%	12%	4%	-2%	-1%
IPA M2 a=0,5	-12%	-11%	-10%	-9%	-16%	-18%	-12%	-12%	-11%	-4%	5%	-8%	-13%
IPA M2 a=0,7	-15%	-15%	-13%	-12%	-16%	-22%	-16%	-14%	-7%	-7%	0%	-11%	-15%
IPA M2 a=0,9	-20%	-19%	-17%	-16%	-15%	-30%	-18%	-16%	0%	-11%	-7%	-14%	-16%
P+IPA M2;0,5	58%	58%	56%	56%	31%	2%	23%	59%	20%	16%	14%	56%	50%
P+IPA M2;0,7	54%	54%	52%	53%	30%	-3%	19%	56%	23%	13%	11%	53%	48%
P+IPA M2;0,9	39%	40%	39%	40%	24%	-14%	11%	44%	25%	6%	3%	41%	37%
Imax06	70%	68%	71%	69%	7%	5%	33%	58%	23%	56%	28%	62%	68%
Imax15	80%	79%	81%	79%	11%	9%	37%	69%	24%	51%	32%	73%	78%
Imax60	87%	85%	86%	84%	11%	11%	36%	76%	34%	38%	32%	80%	86%
Imax120	94%	93%	92%	91%	21%	11%	32%	87%	43%	29%	26%	89%	91%
Imax1440	98%	97%	94%	94%	52%	21%	42%	97%	41%	25%	17%	92%	87%
htot15	100%	100%	98%	98%	38%	14%	38%	96%	38%	29%	23%	96%	89%
ej15	100%	100%	98%	98%	37%	14%	37%	96%	36%	27%	22%	96%	88%
htot40	98%	98%	100%	100%	27%	11%	34%	92%	31%	27%	26%	98%	86%
ej40	98%	98%	100%	100%	27%	12%	33%	92%	31%	26%	25%	98%	85%
Dc	38%	37%	27%	27%	100%	22%	30%	53%	33%	8%	-22%	28%	31%
t0	14%	14%	11%	12%	22%	100%	82%	13%	-11%	12%	9%	10%	11%
Po	38%	37%	34%	33%	30%	82%	100%	36%	6%	36%	19%	30%	37%
Lr	96%	96%	92%	92%	53%	13%	36%	100%	53%	22%	14%	93%	89%
CE	38%	36%	31%	31%	33%	-11%	6%	53%	100%	2%	-23%	40%	63%
Cmax	29%	27%	27%	26%	8%	12%	36%	22%	2%	100%	42%	23%	31%
Cmoy	23%	22%	26%	25%	-22%	9%	19%	14%	-23%	42%	100%	26%	27%
Flux	96%	96%	98%	98%	28%	10%	30%	93%	40%	23%	26%	100%	88%
Qmax	89%	88%	86%	85%	31%	11%	37%	89%	63%	31%	27%	88%	100%

Matrice amont 3 : Matrice de corrélation amont des paramètres hydrologique sans épisode 261 (n = 324)

	Moyennes	Ec-Type	pluie	Pluie	durée	ts	Ts	IPA M2 a=0,5	IPA M2 a=0,7	IPA M2 a=0,9	P+IPA M2;0,5	P+IPA M2;0,7	P+IPA M2;0,9	Imax 06	Imax 15	Imax 60	Imax 120	Imax 1440
pluie	21,3	31,1	100%	99%	76%	-7%	-5%	1%	2%	3%	58%	53%	40%	53%	59%	68%	76%	98%
Pluie	21,4	30,3	99%	100%	76%	-7%	-5%	1%	2%	4%	59%	54%	40%	56%	62%	71%	79%	99%
durée	333,7	391,8	76%	76%	100%	-1%	-2%	-4%	-4%	-4%	41%	36%	25%	16%	20%	28%	37%	72%
ts	5286,7	8659,4	-7%	-7%	-1%	100%	47%	-14%	-18%	-21%	-15%	-19%	-22%	-10%	-9%	-10%	-11%	-8%
Ts	182,4	375,3	-5%	-5%	-2%	47%	100%	-8%	-13%	-17%	-9%	-13%	-17%	-10%	-9%	-6%	-6%	-5%
IPA M2 a=0,5	20,4	42,3	1%	1%	-4%	-14%	-8%	100%	96%	73%	82%	82%	67%	6%	7%	7%	6%	2%
IPA M2 a=0,7	33,0	49,4	2%	2%	-4%	-18%	-13%	96%	100%	87%	79%	86%	80%	9%	10%	10%	8%	3%
IPA M2 a=0,9	66,3	74,6	3%	4%	-4%	-21%	-17%	73%	87%	100%	61%	75%	93%	14%	15%	13%	11%	5%
P+IPA M2;0,5	41,8	52,3	58%	59%	41%	-15%	-9%	82%	79%	61%	100%	97%	78%	38%	42%	47%	50%	58%
P+IPA M2;0,7	54,4	58,5	53%	54%	36%	-19%	-13%	82%	86%	75%	97%	100%	89%	37%	40%	45%	48%	53%
P+IPA M2;0,9	87,7	81,6	40%	40%	25%	-22%	-17%	67%	80%	93%	78%	89%	100%	33%	36%	39%	40%	41%
Imax 06	31,9	26,5	53%	56%	16%	-10%	-10%	6%	9%	14%	38%	37%	33%	100%	96%	84%	77%	59%
Imax 15	22,0	19,3	59%	62%	20%	-9%	-9%	7%	10%	15%	42%	40%	36%	96%	100%	92%	85%	65%
Imax 60	10,1	9,8	68%	71%	28%	-10%	-6%	7%	10%	13%	47%	45%	39%	84%	92%	100%	96%	76%
Imax 120	6,4	6,3	76%	79%	37%	-11%	-6%	6%	8%	11%	50%	48%	40%	77%	85%	96%	100%	84%
Imax 1440	0,9	1,1	98%	99%	72%	-8%	-5%	2%	3%	5%	58%	53%	41%	59%	65%	76%	84%	100%
htot 15	10,7	18,2	90%	92%	51%	-9%	-6%	3%	4%	7%	55%	51%	40%	73%	79%	87%	90%	92%
ej 15	263,4	458,4	90%	92%	51%	-8%	-5%	3%	4%	7%	55%	51%	40%	73%	79%	86%	90%	92%
htot 40	5,0	10,5	76%	77%	37%	-6%	-3%	2%	4%	7%	47%	43%	35%	81%	86%	89%	88%	78%
ej 40	130,9	275,3	77%	79%	39%	-5%	-2%	2%	4%	7%	47%	44%	35%	80%	86%	88%	88%	79%
Dc	285,5	385,6	67%	67%	76%	-10%	-11%	2%	5%	6%	41%	39%	31%	20%	22%	27%	34%	63%
t0	81,8	137,5	41%	42%	57%	-7%	-8%	-4%	-4%	-7%	21%	18%	9%	15%	19%	24%	28%	42%
Po	2,8	4,6	60%	62%	50%	-7%	-8%	0%	1%	1%	36%	33%	24%	43%	47%	49%	51%	62%
Lr	6,5	18,3	93%	91%	66%	-10%	-10%	3%	6%	8%	56%	52%	41%	44%	48%	58%	66%	89%
CE	0,2	0,2	54%	52%	37%	-25%	-24%	16%	23%	29%	43%	46%	46%	32%	35%	44%	50%	54%
Qmax	0,1	0,2	78%	77%	43%	-13%	-11%	6%	10%	14%	49%	48%	41%	58%	65%	76%	80%	78%

Matrice amont 3 (suite): Matrice de corrélation amont des paramètres hydrologique sans épisode 261 (n = 324)

	htot 15	ej 15	htot 40	ej 40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Qmax
pluie	90%	90%	76%	77%	67%	41%	60%	93%	54%	78%
Pluie	92%	92%	77%	79%	67%	42%	62%	91%	52%	77%
durée	51%	51%	37%	39%	76%	57%	50%	66%	37%	43%
ts	-9%	-8%	-6%	-5%	-10%	-7%	-7%	-10%	-25%	-13%
Ts	-6%	-5%	-3%	-2%	-11%	-8%	-8%	-10%	-24%	-11%
IPA M2 a=0,5	3%	3%	2%	2%	2%	-4%	0%	3%	16%	6%
IPA M2 a=0,7	4%	4%	4%	4%	5%	-4%	1%	6%	23%	10%
IPA M2 a=0,9	7%	7%	7%	7%	6%	-7%	1%	8%	29%	14%
P+IPA M2;0,5	55%	55%	47%	47%	41%	21%	36%	56%	43%	49%
P+IPA M2;0,7	51%	51%	43%	44%	39%	18%	33%	52%	46%	48%
P+IPA M2;0,9	40%	40%	35%	35%	31%	9%	24%	41%	46%	41%
Imax 06	73%	73%	81%	80%	20%	15%	43%	44%	32%	58%
Imax 15	79%	79%	86%	86%	22%	19%	47%	48%	35%	65%
Imax 60	87%	86%	89%	88%	27%	24%	49%	58%	44%	76%
Imax 120	90%	90%	88%	88%	34%	28%	51%	66%	50%	80%
Imax 1440	92%	92%	78%	79%	63%	42%	62%	89%	54%	78%
htot 15	100%	100%	93%	93%	48%	30%	57%	83%	50%	83%
ej 15	100%	100%	93%	94%	48%	31%	58%	83%	50%	83%
htot 40	93%	93%	100%	99%	33%	24%	51%	67%	43%	80%
ej 40	93%	94%	99%	100%	35%	25%	52%	69%	43%	80%
Dc	48%	48%	33%	35%	100%	31%	33%	62%	49%	39%
t0	30%	31%	24%	25%	31%	100%	72%	31%	23%	30%
Po	57%	58%	51%	52%	33%	72%	100%	49%	27%	46%
Lr	83%	83%	67%	69%	62%	31%	49%	100%	66%	82%
CE	50%	50%	43%	43%	49%	23%	27%	66%	100%	69%
Qmax	83%	83%	80%	80%	39%	30%	46%	82%	69%	100%

Matrice amont 4 : Matrice de corrélation amont des paramètres hydrologiques et des paramètre de transport solide sans épisode 261 (n = 59)

	Moyennes	Ec-Type	pluie	Pluie	durée	ts	Ts	IPA M2 a=0,5	IPA M2 a=0,7	IPA M2 a=0,9	P+IPA M2;0,5	P+IPA M2;0,7	P+IPA M2;0,9	Imax06	Imax15	Imax60	Imax120	Imax1440
pluie	51,4	45,169	100%	99%	82%	26%	12%	-17%	-20%	-22%	32%	28%	16%	37%	43%	47%	58%	96%
Pluie	51,0	43,418	99%	100%	82%	29%	14%	-17%	-20%	-22%	33%	28%	16%	38%	44%	49%	59%	97%
durée	552	605,753	82%	82%	100%	34%	8%	-19%	-21%	-21%	22%	19%	11%	-1%	2%	3%	13%	75%
ts	2272	3301,291	26%	29%	34%	100%	25%	-2%	-5%	-8%	13%	10%	4%	6%	12%	10%	9%	27%
Ts	92,1	330,500	12%	14%	8%	25%	100%	3%	-1%	-6%	10%	6%	-1%	13%	12%	20%	18%	16%
IPA M2 0,5	39,4	84,5	-17%	-17%	-19%	-2%	3%	100%	98%	76%	87%	88%	71%	-11%	-9%	-12%	-15%	-19%
IPA M2 a 0,7	59,7	89,1	-20%	-20%	-21%	-5%	-1%	98%	100%	87%	84%	88%	80%	-12%	-11%	-15%	-17%	-22%
IPA M2 a 0,9	110,4	113,1	-22%	-22%	-21%	-8%	-6%	76%	87%	100%	62%	74%	93%	-10%	-9%	-15%	-18%	-24%
P+IPA M2;0,5	90,4	88,2	32%	33%	22%	13%	10%	87%	84%	62%	100%	98%	76%	9%	13%	13%	15%	30%
P+IPA M2;0,7	110,7	91,1	28%	28%	19%	10%	6%	88%	88%	74%	98%	100%	86%	6%	10%	9%	11%	25%
P+IPA M2;0,9	161,4	111,9	16%	16%	11%	4%	-1%	71%	80%	93%	76%	86%	100%	5%	8%	4%	5%	14%
Imax06	57,9	29,4	37%	38%	-1%	6%	13%	-11%	-12%	-10%	9%	6%	5%	100%	95%	78%	66%	44%
Imax15	42,9	23,5	43%	44%	2%	12%	12%	-9%	-11%	-9%	13%	10%	8%	95%	100%	87%	76%	51%
Imax60	22,3	12,3	47%	49%	3%	10%	20%	-12%	-15%	-15%	13%	9%	4%	78%	87%	100%	93%	60%
Imax120	14,0	7,7	58%	59%	13%	9%	18%	-15%	-17%	-18%	15%	11%	5%	66%	76%	93%	100%	71%
Imax1440	2,0	1,5	96%	97%	75%	27%	16%	-19%	-22%	-24%	30%	25%	14%	44%	51%	60%	71%	100%
htot15	31,0	26,2	88%	89%	49%	18%	15%	-15%	-18%	-22%	30%	25%	13%	64%	71%	76%	80%	91%
ej15	769	668	88%	89%	50%	21%	18%	-14%	-17%	-20%	30%	26%	14%	64%	70%	75%	79%	90%
htot40	16,2	16,4	69%	69%	26%	22%	21%	-12%	-15%	-17%	22%	18%	9%	82%	87%	84%	81%	73%
ej40	419,5	429,1	71%	72%	30%	26%	24%	-12%	-15%	-16%	24%	20%	12%	81%	85%	82%	80%	75%
Dc	521	556	79%	78%	94%	29%	6%	-15%	-15%	-13%	24%	23%	18%	-4%	-3%	-5%	7%	69%
t0	129	187	30%	31%	48%	17%	4%	-17%	-22%	-30%	-1%	-7%	-18%	2%	7%	8%	9%	31%
Po	5,5	6,9	49%	50%	49%	14%	4%	-11%	-14%	-16%	14%	10%	3%	27%	31%	30%	27%	47%
Lr	22,0	28,9	93%	91%	70%	2%	-5%	-13%	-13%	-11%	32%	31%	24%	34%	38%	44%	57%	88%
CE	0,357	0,227	42%	39%	21%	-34%	-20%	-10%	-5%	3%	10%	13%	18%	13%	12%	25%	41%	42%
Cmax	4,691	5,166	36%	35%	9%	11%	12%	-4%	-7%	-11%	13%	10%	3%	60%	58%	45%	37%	34%
Cmoy	1,083	1,095	-3%	-3%	-18%	6%	5%	6%	2%	-4%	5%	1%	-5%	21%	26%	26%	18%	-1%
Flux	2347	4300	65%	62%	29%	-6%	-5%	-9%	-8%	-7%	22%	22%	17%	51%	57%	59%	66%	66%
Qmax	0,379	0,403	67%	65%	27%	-11%	-1%	-13%	-12%	-10%	20%	19%	15%	53%	60%	72%	79%	71%

Matrice amont 4 (suite): Matrice de corrélation amont des paramètres hydrologiques et des paramètre de transport solide sans épisode 261 (n = 59)

	htot15	ej15	htot40	ej40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Cmax	Cmoy	Flux	Qmax
pluie	88%	88%	69%	71%	79%	30%	49%	93%	42%	36%	-3%	65%	67%
Pluie	89%	89%	69%	72%	78%	31%	50%	91%	39%	35%	-3%	62%	65%
durée	49%	50%	26%	30%	94%	48%	49%	70%	21%	9%	-18%	29%	27%
ts	18%	21%	22%	26%	29%	17%	14%	2%	-34%	11%	6%	-6%	-11%
Ts	15%	18%	21%	24%	6%	4%	4%	-5%	-20%	12%	5%	-5%	-1%
IPA M2 a=0,5	-15%	-14%	-12%	-12%	-15%	-17%	-11%	-13%	-10%	-4%	6%	-9%	-13%
IPA M2 a=0,7	-18%	-17%	-15%	-15%	-15%	-22%	-14%	-13%	-5%	-7%	2%	-8%	-12%
IPA M2 a=0,9	-22%	-20%	-17%	-16%	-13%	-30%	-16%	-11%	3%	-11%	-4%	-7%	-10%
P+IPA M2;0,5	30%	30%	22%	24%	24%	-1%	14%	32%	10%	13%	5%	22%	20%
P+IPA M2;0,7	25%	26%	18%	20%	23%	-7%	10%	31%	13%	10%	1%	22%	19%
P+IPA M2;0,9	13%	14%	9%	12%	18%	-18%	3%	24%	18%	3%	-5%	17%	15%
Imax06	64%	64%	82%	81%	-4%	2%	27%	34%	13%	60%	21%	51%	53%
Imax15	71%	70%	87%	85%	-3%	7%	31%	38%	12%	58%	26%	57%	60%
Imax60	76%	75%	84%	82%	-5%	8%	30%	44%	25%	45%	26%	59%	72%
Imax120	80%	79%	81%	80%	7%	9%	27%	57%	41%	37%	18%	66%	79%
Imax1440	91%	90%	73%	75%	69%	31%	47%	88%	42%	34%	-1%	66%	71%
htot15	100%	99%	90%	91%	45%	18%	44%	84%	39%	49%	12%	74%	79%
ej15	99%	100%	89%	91%	46%	20%	46%	83%	38%	49%	11%	73%	77%
htot40	90%	89%	100%	99%	22%	15%	42%	63%	27%	59%	23%	77%	77%
ej40	91%	91%	99%	100%	25%	17%	45%	65%	27%	59%	21%	76%	76%
Dc	45%	46%	22%	25%	100%	21%	27%	71%	29%	6%	-28%	26%	24%
t0	18%	20%	15%	17%	21%	100%	83%	14%	-13%	12%	8%	12%	9%
Po	44%	46%	42%	45%	27%	83%	100%	36%	1%	35%	16%	32%	33%
Lr	84%	83%	63%	65%	71%	14%	36%	100%	66%	28%	-6%	72%	76%
CE	39%	38%	27%	27%	29%	-13%	1%	66%	100%	0%	-29%	55%	68%
Cmax	49%	49%	59%	59%	6%	12%	35%	28%	0%	100%	41%	48%	36%
Cmoy	12%	11%	23%	21%	-28%	8%	16%	-6%	-29%	41%	100%	23%	18%
Flux	74%	73%	77%	76%	26%	12%	32%	72%	55%	48%	23%	100%	89%
Qmax	79%	77%	77%	76%	24%	9%	33%	76%	68%	36%	18%	89%	100%

Tableau Récapitulatif aval : Résultats de l'étude de la sensibilité à la nature de l'échantillon des paramètres de la matrice de corrélation aval

	Nom	H	TS	effectif	pluie	Pluie	durée	ts	Ts	IPA M2	IPA M2	IPA M2	P+IPA M2;0,5	P+IPA M2;0,7	P+IPA M2;0,9	Imax 06	Imax 15	Imax 60	Imax 120	Imax 1440	htot15	ej15	htot40	ej40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Cmax	Cmoy	Flux	Qmax
t0	tout			325	0,35	0,35	0,57	-0,07	-0,08	-0,04	-0,05	-0,07	0,21	0,19	0,10	0,16	0,20	0,24	0,26	0,34	0,23	0,22	0,16	0,16	0,32	1,00	0,71	0,24	0,23				0,27
	tout			60	0,24	0,24	0,48	0,18	0,04	-0,18	-0,22	-0,30	0,02	-0,03	-0,14	0,05	0,09	0,11	0,11	0,21	0,14	0,14	0,11	0,12	0,22	1,00	0,82	0,13	-0,11	0,12	0,09	0,10	0,11
	-261			324	0,41	0,42	0,57	-0,07	-0,08	-0,04	-0,04	-0,07	0,21	0,18	0,09	0,15	0,19	0,24	0,28	0,42	0,30	0,31	0,24	0,25	0,31	1,00	0,72	0,31	0,23				0,30
	-261			59	0,30	0,31	0,48	0,17	0,04	-0,17	-0,22	-0,30	-0,01	-0,07	-0,18	0,02	0,07	0,08	0,09	0,31	0,18	0,20	0,15	0,17	0,21	1,00	0,83	0,14	-0,13	0,12	0,08	0,12	0,09
	ruisselle			252	0,31	0,31	0,57	0,11	0,07	-0,09	-0,10	-0,13	0,15	0,12	0,04	0,07	0,12	0,17	0,19	0,30	0,18	0,18	0,13	0,13	0,21	1,00	0,68	0,21	0,12				0,22
	IPA<10			100	0,40	0,39	0,62	-0,11	-0,19	0,12	0,23	0,19	0,40	0,40	0,42	0,24	0,29	0,28	0,28	0,37	0,28	0,27	0,21	0,21	0,53	1,00	0,68	0,31	0,44				0,34
	IPA<10			8	0,60	0,57	0,93	0,44	0,52	0,37	0,41	0,31	0,57	0,57	0,59	0,34	0,36	0,25	0,28	0,45	0,41	0,39	0,32	0,32	0,92	1,00	0,89	0,47	0,68	0,72	-0,13	0,32	0,50
	IPA<25			94	0,43	0,43	0,57	-0,07	-0,11	0,07	0,09	-0,10	0,44	0,44	0,28	0,21	0,25	0,31	0,34	0,43	0,31	0,32	0,30	0,33	0,20	1,00	0,82	0,23	0,25				0,34
	IPA<60			84	0,51	0,52	0,62	-0,01	0,06	-0,10	-0,17	-0,14	0,46	0,44	0,22	0,13	0,22	0,34	0,37	0,55	0,39	0,41	0,30	0,33	0,35	1,00	0,69	0,43	0,25				0,39
	IPA>60			47	0,20	0,21	0,46	-0,18	0,02	-0,06	-0,05	-0,13	0,00	0,01	-0,08	-0,14	-0,15	-0,12	-0,03	0,20	0,02	0,03	0,03	0,04	0,15	1,00	0,45	0,21	0,17				0,03
	ruisselle -261			251	0,36	0,37	0,57	0,12	0,07	-0,09	-0,10	-0,13	0,14	0,11	0,02	0,05	0,11	0,16	0,21	0,37	0,24	0,25	0,19	0,20	0,21	1,00	0,68	0,27	0,12				0,24
P0	tout			325	0,56	0,57	0,51	-0,07	-0,08	0,00	0,00	0,00	0,39	0,36	0,27	0,46	0,49	0,51	0,50	0,55	0,47	0,45	0,38	0,37	0,35	0,71	1,00	0,44	0,29				0,46
	tout			60	0,46	0,46	0,51	0,16	0,03	-0,12	-0,16	-0,18	0,23	0,19	0,11	0,33	0,37	0,36	0,32	0,42	0,38	0,37	0,34	0,33	0,30	0,82	1,00	0,36	0,06	0,36	0,19	0,30	0,37
	-261			324	0,60	0,62	0,50	-0,07	-0,08	0,00	0,01	0,01	0,36	0,33	0,24	0,43	0,47	0,49	0,51	0,62	0,57	0,58	0,51	0,52	0,33	0,72	1,00	0,49	0,27				0,46
	-261			59	0,49	0,50	0,49	0,14	0,04	-0,11	-0,14	-0,16	0,14	0,10	0,03	0,27	0,31	0,30	0,27	0,47	0,44	0,46	0,42	0,45	0,27	0,83	1,00	0,36	0,01	0,35	0,16	0,32	0,33
	ruisselle			252	0,53	0,54	0,50	0,11	0,08	-0,05	-0,05	-0,05	0,35	0,31	0,23	0,41	0,45	0,46	0,46	0,52	0,45	0,43	0,36	0,35	0,25	0,68	1,00	0,42	0,18				0,43
	IPA<10			100	0,70	0,69	0,68	-0,09	-0,13	0,01	0,09	0,10	0,69	0,69	0,69	0,55	0,58	0,55	0,56	0,66	0,56	0,53	0,43	0,42	0,66	0,68	1,00	0,57	0,53				0,58
	IPA<10			8	0,76	0,74	0,98	0,41	0,11	0,02	0,13	0,28	0,74	0,74	0,75	0,53	0,53	0,41	0,43	0,62	0,60	0,58	0,50	0,50	0,96	0,89	1,00	0,65	0,75	0,83	-0,04	0,50	0,65
	IPA<25			94	0,43	0,45	0,41	-0,08	-0,10	0,05	0,04	-0,06	0,45	0,45	0,32	0,36	0,39	0,49	0,49	0,46	0,43	0,45	0,46	0,48	0,10	0,82	1,00	0,22	0,19				0,39
	IPA<60			84	0,65	0,68	0,58	-0,08	-0,06	0,03	0,01	-0,05	0,65	0,65	0,40	0,43	0,52	0,54	0,52	0,69	0,62	0,62	0,56	0,56	0,40	0,69	1,00	0,60	0,31				0,52
	IPA>60			47	0,31	0,35	0,07	-0,05	0,13	-0,05	-0,03	0,02	0,04	0,07	0,10	0,52	0,55	0,44	0,47	0,35	0,39	0,41	0,50	0,50	-0,08	0,45	1,00	0,27	0,25				0,40
	ruisselle -261			251	0,57	0,59	0,49	0,11	0,08	-0,04	-0,05	-0,04	0,31	0,27	0,19	0,38	0,42	0,44	0,46	0,58	0,54	0,54	0,48	0,49	0,23	0,68	1,00	0,46	0,16				0,42
CE	tout			325	0,52	0,50	0,38	-0,25	-0,24	0,15	0,22	0,27	0,46	0,49	0,48	0,35	0,38	0,46	0,49	0,50	0,43	0,41	0,34	0,33	0,50	0,23	0,29	0,55	1,00				0,64
	tout			60	0,44	0,42	0,25	-0,31	-0,19	-0,11	-0,07	0,00	0,20	0,23	0,25	0,23	0,24	0,34	0,43	0,41	0,38	0,36	0,31	0,31	0,33	-0,11	0,06	0,53	1,00	0,02	-0,23	0,40	0,63
	-261			324	0,54	0,52	0,37	-0,25	-0,24	0,16	0,23	0,29	0,43	0,46	0,46	0,32	0,35	0,44	0,50	0,54	0,50	0,50	0,43	0,43	0,49	0,23	0,27	0,66	1,00				0,69
	-261			59	0,42	0,39	0,21	-0,34	-0,20	-0,10	-0,05	0,03	0,10	0,13	0,18	0,13	0,12	0,25	0,41	0,42	0,39	0,38	0,27	0,27	0,29	-0,13	0,01	0,66	1,00	0,00	-0,29	0,55	0,68
	ruisselle			252	0,48	0,46	0,36	-0,20	-0,19	0,11	0,18	0,26	0,41	0,44	0,46	0,27	0,31	0,40	0,44	0,46	0,40	0,38	0,32	0,31	0,41	0,12	0,18	0,54	1,00				0,62
	IPA<10			100	0,70	0,69	0,67	-0,20	-0,24	0,04	0,17	0,28	0,69	0,69	0,72	0,47	0,50	0,55	0,58	0,68	0,59	0,58	0,53	0,53	0,79	0,44	0,53	0,68	1,00				0,69
	IPA<10			8	0,94	0,93	0,76</																										

Tableau Récapitulatif amont : Résultats de l'étude de la sensibilité à la nature de l'échantillon des paramètres de la matrice de corrélation amont

	Nom	H	TS	effectif	pluie	Pluie	durée	ts	Ts	IPA M2 a=0,5	IPA M2 a=0,7	IPA M2 a=0,9	P+IPA M2;0,5	P+IPA M2;0,7	P+IPA M2;0,9	lmax 06	lmax 15	lmax 60	lmax 120	lmax 1440	htot15	ej15	htot40	ej40	Dc	t0	Po	Lr	CE	Cmax	Cmoy	Flux	Qmax
t0	tout			325	0,44	0,44	0,65	-0,08	-0,08	-0,03	-0,03	-0,04	0,07	0,08	0,03	0,25	0,26	0,32	0,31	0,41	0,29	0,28	0,20	0,20	0,46	1,00	0,81	0,34	0,31				0,26
	tout			52	0,23	0,24	0,55	0,13	0,01	-0,12	-0,15	-0,23	0,19	0,17	0,05	0,07	0,12	0,15	0,13	0,22	0,16	0,16	0,13	0,13	0,15	1,00	0,68	0,11	-0,01	0,37	0,16	0,05	0,13
	-261			324	0,54	0,54	0,66	-0,08	-0,08	-0,03	-0,03	-0,04	0,07	0,08	0,03	0,25	0,27	0,35	0,36	0,51	0,40	0,40	0,31	0,32	0,47	1,00	0,81	0,53	0,31				0,38
	-261			51	0,36	0,35	0,57	0,12	0,01	-0,11	-0,15	-0,23	0,19	0,18	0,06	0,06	0,12	0,18	0,17	0,35	0,26	0,28	0,22	0,25	0,15	1,00	0,68	0,22	-0,03	0,46	0,16	0,19	0,24
	ruisselle			153	0,45	0,44	0,72	0,08	0,12	-0,12	-0,15	-0,20	0,15	0,12	-0,01	0,01	0,05	0,15	0,18	0,41	0,26	0,27	0,17	0,18	0,31	1,00	0,76	0,46	0,11				0,25
P0	tout			325	0,56	0,56	0,61	-0,04	0,04	-0,04	-0,04	-0,05	0,04	0,04	0,00	0,42	0,44	0,47	0,45	0,52	0,42	0,39	0,29	0,28	0,53	0,81	1,00	0,39	0,31				0,28
	tout			52	0,33	0,33	0,55	0,43	0,51	-0,16	-0,23	-0,32	0,07	0,02	-0,12	0,20	0,23	0,24	0,19	0,28	0,24	0,23	0,18	0,18	0,27	0,68	1,00	0,12	-0,14	0,32	0,23	0,03	0,11
	-261			324	0,70	0,69	0,61	-0,04	0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,04	0,04	0,00	0,43	0,46	0,52	0,53	0,66	0,58	0,58	0,47	0,47	0,54	0,81	1,00	0,61	0,31				0,42
	-261			51	0,56	0,54	0,58	0,43	0,51	-0,16	-0,23	-0,32	0,07	0,02	-0,12	0,23	0,28	0,32	0,30	0,51	0,47	0,49	0,39	0,42	0,30	0,68	1,00	0,33	-0,16	0,42	0,26	0,32	0,26
	ruisselle			153	0,63	0,62	0,67	0,24	0,43	-0,15	-0,18	-0,24	0,10	0,05	-0,08	0,23	0,27	0,36	0,38	0,57	0,47	0,47	0,35	0,36	0,36	0,76	1,00	0,56	0,06				0,28
CE	tout			325	0,49	0,48	0,32	-0,20	-0,24	0,18	0,24	0,30	-0,03	-0,01	0,06	0,44	0,43	0,46	0,47	0,48	0,46	0,45	0,39	0,38	0,53	0,31	0,31	0,51	1,00				0,49
	tout			52	0,48	0,47	0,30	-0,29	-0,18	0,11	0,17	0,27	-0,22	-0,18	-0,08	0,25	0,27	0,34	0,42	0,47	0,47	0,47	0,45	0,45	0,42	-0,01	-0,14	0,58	1,00	0,23	0,15	0,45	0,55
	-261			324	0,46	0,45	0,30	-0,21	-0,24	0,19	0,25	0,32	-0,03	0,00	0,07	0,40	0,39	0,42	0,43	0,46	0,46	0,46	0,38	0,38	0,50	0,31	0,31	0,58	1,00				0,53
	-261			51	0,25	0,24	0,19	-0,36	-0,18	0,15	0,23	0,37	-0,20	-0,15	-0,04	0,05	0,04	0,08	0,15	0,24	0,24	0,23	0,17	0,16	0,29	-0,03	-0,16	0,55	1,00	-0,08	-0,07	0,28	0,42
	ruisselle			153	0,31	0,31	0,24	-0,26	-0,18	0,13	0,20	0,28	-0,05	-0,03	0,03	0,16	0,14	0,18	0,21	0,30	0,30	0,30	0,22	0,22	0,29	0,11	0,06	0,52	1,00				0,40
Cmax	tout			52	0,66	0,65	0,36	0,02	0,15	-0,14	-0,18	-0,22	-0,12	-0,11	-0,11	0,57	0,67	0,73	0,70	0,67	0,70	0,71	0,73	0,73	0,29	0,37	0,32	0,66	0,23	1,00	0,89	0,69	0,73
	-261			51	0,28	0,27	0,21	-0,04	0,23	-0,12	-0,16	-0,18	-0,08	-0,05	-0,05	0,38	0,47	0,50	0,39	0,29	0,35	0,35	0,41	0,41	0,01	0,46	0,42	0,18	-0,08	1,00	0,87	0,49	0,42
Cmoy	tout			52	0,51	0,49	0,15	-0,06	0,30	-0,13	-0,18	-0,23	-0,17	-0,16	-0,15	0,63	0,70	0,72	0,66	0,53	0,57	0,56	0,61	0,59	0,11	0,16	0,23	0,49	0,15	0,89	1,00	0,54	0,63
	-261			51	0,21	0,19	-0,01	-0,12	0,36	-0,11	-0,16	-0,19	-0,14	-0,12	-0,10	0,51	0,58	0,61	0,50	0,24	0,33	0,32	0,42	0,40	-0,13	0,16	0,26	0,11	-0,07	0,87	1,00	0,57	0,49
Flux	tout			52	0,85	0,82	0,34	0,08	-0,01	-0,08	-0,10	-0,14	-0,09	-0,11	-0,12	0,55	0,63	0,73	0,82	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,45	0,05	0,03	0,95	0,45	0,69	0,54	1,00	0,94
	-261			51	0,67	0,67	0,34	-0,10	0,16	-0,09	-0,11	-0,13	-0,05	-0,03	0,00	0,73	0,79	0,77	0,72	0,70	0,80	0,78	0,85	0,82	0,29	0,19	0,32	0,67	0,28	0,49	0,57	1,00	0,90
Qmax	tout			325	0,86	0,85	0,38	-0,07	-0,09	0,01	0,03	0,05	0,02	0,04	0,06	0,66	0,73	0,83	0,87	0,88	0,94	0,94	0,95	0,95	0,49	0,26	0,28	0,89	0,49				1,00
	tout			52	0,89	0,88	0,42	0,00	0,01	-0,10	-0,11	-0,12	-0,12	-0,13	-0,13	0,71	0,79	0,86	0,91	0,92	0,95	0,95	0,96	0,96	0,47	0,13	0,11	0,95	0,55	0,73	0,63	0,94	1,00
	-261			324	0,74	0,75	0,39	-0,11	-0,11	0,05	0,09	0,14	0,07	0,10	0,14	0,71	0,77	0,83	0,84	0,78	0,85	0,85	0,85	0,85	0,46	0,38	0,42	0,69	0,53				1,00
	-261			51	0,63	0,63	0,33	-0,18	0,07	-0,09	-0,05	0,00	-0,10	-0,08	-0,06	0,71	0,76	0,79	0,77	0,70	0,77	0,76	0,80	0,78	0,22	0,24	0,26	0,69	0,42	0,42	0,49	0,90	1,00
	ruisselle			153	0,70	0,71	0,38	-0,05	0,02	-0,02	0,01	0,06	0,14	0,16	0,16	0,70	0,76	0,82	0,82	0,75	0,83	0,83	0,83	0,83	0,31	0,25	0,28	0,64	0,40				1,00

Légende :

- H :** Les paramètres hydrologiques sont pris dans la matrice de corrélation
- Tout :** L'ensemble des épisodes a été pris
- 261 :** L'épisode 261 correspondant à l'épisode du 24-25 décembre 2011 a été exclu
- Ruisselle :** Seul les épisodes ayant ruisselé (R=1 ou 2) ont été pris
- TS :** Les paramètres de transport solides sont pris dans la matrice de corrélation
- IPA<10 :** Seul les épisodes ayant un IPA inférieur à 10 mm ont été pris
- IPA<25 :** Seul les épisodes ayant un IPA compris entre 10 mm et 25 mm ont été pris
- IPA<60 :** Seul les épisodes ayant un IPA compris entre 25 mm et 60 mm ont été pris
- IPA>60 :** Seul les épisodes ayant un IPA supérieur à 60 mm ont été pris

NB : IPA<10mm prends en compte l'épisode 261. La répétition des noms correspond à la prise en compte ou non des paramètres de transport solide (flux, Cmax...)

Annexe 9 : graphes complémentaires de l'analyse pluie débit

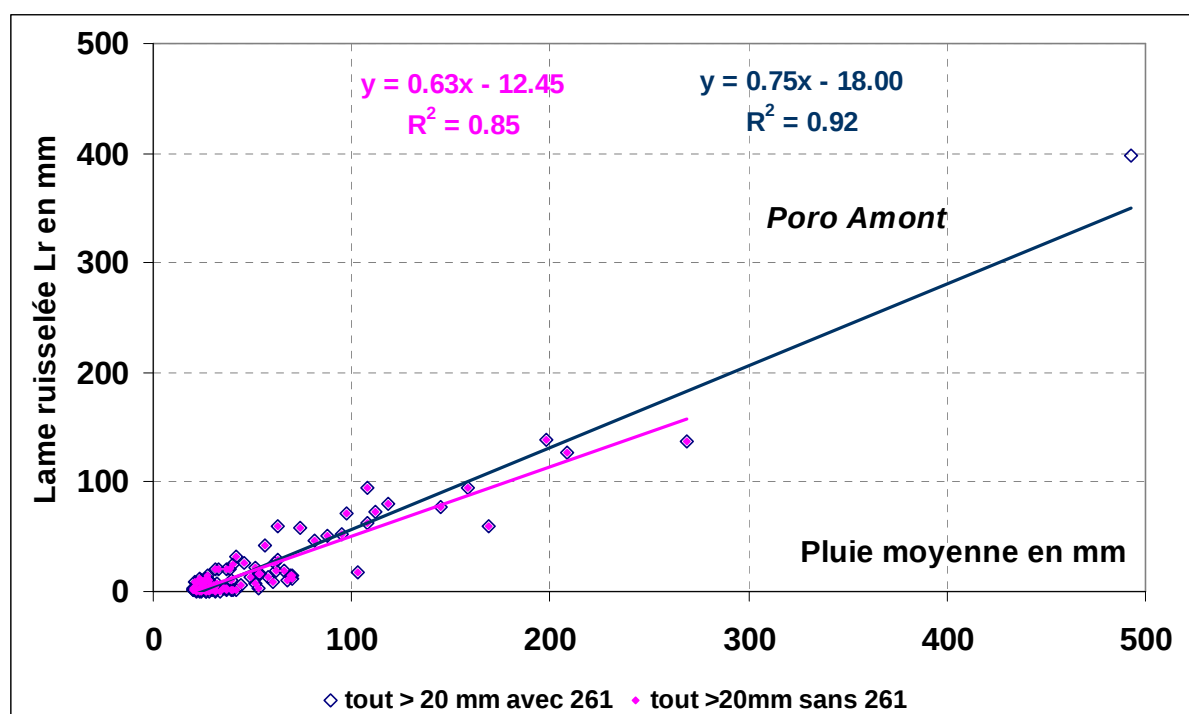


Figure 90 : Relation lame ruisselée / pluie pour les épisodes de plus de 20 mm (Poro amont).

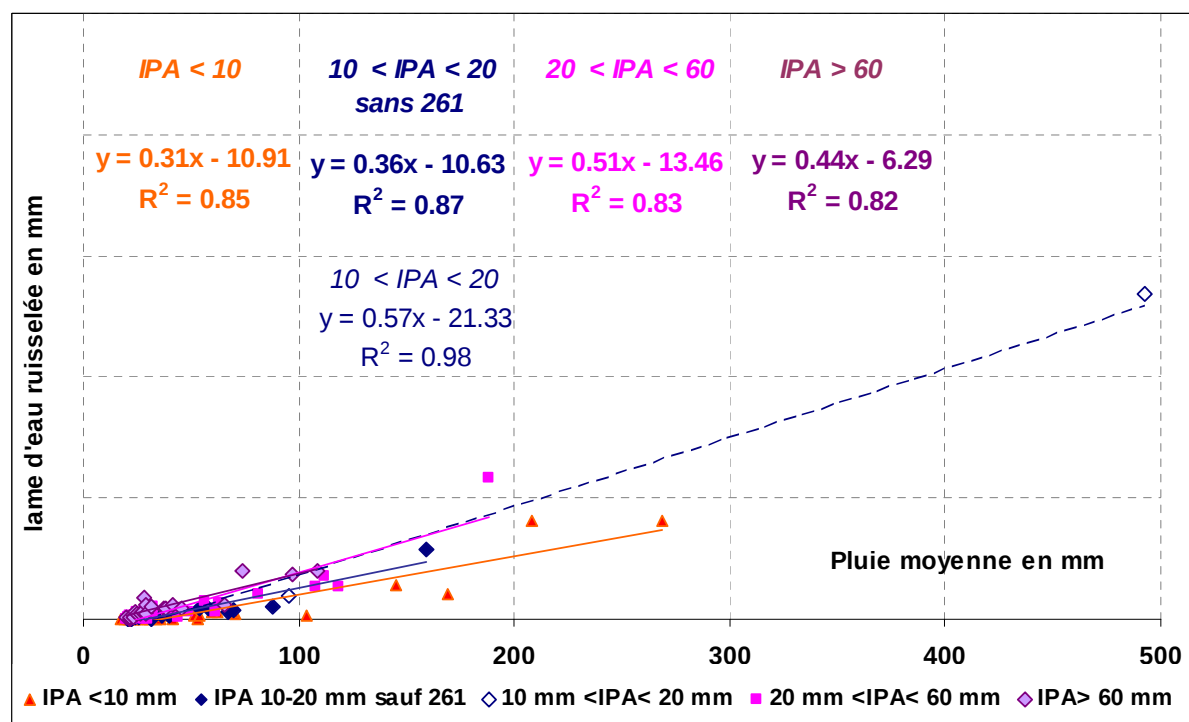


Figure 91 : Relation lame ruisselée / pluie pour les épisodes catégorisés selon l'IPA (Poro aval)

Annexe 10 : Formules de calcul du temps de concentration

Calcul du temps de concentration avec la formule de la SLN :

La SLN utilise deux formules en fonction de la pente pour calculer les temps de concentration. Pour des pentes supérieures à 30% la formule est la suivante :

$$tc = \frac{1,5 * L + 4\sqrt{S}}{0,8 * \sqrt{H}}$$

Avec :
 L : Longueur du plus long chemin d'écoulement (km)
 S : Surface du bassin versant (km²)
 H : Dénivelé moyen (m) calculé avec la formule suivante où Zmax et Zmin sont respectivement l'altitude maximum et minimum du bassin versant

$$H = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{2} - Z_{min}$$

Tc : Temps de concentration (h)

Calcul du temps de concentration avec la formule de Kirpich :

La formule de Kirpich est la suivante :

$$tc = 3,97 * L^{0,77} * I^{-0,385}$$

Avec :
 I : Pente (%)
 L : Longueur du plus long chemin d'écoulement (m)
 Tc : Temps de concentration (min)

Calcul du temps de concentration avec la formule de la Johnstone et Cross :

La formule de Johnstone et Cross est la suivante :

$$tc = 5,66 * \sqrt{\frac{L}{I}}$$

Avec :
 I : Pente (m/m)
 L : Longueur du plus long chemin d'écoulement (m)
 Tc : Temps de concentration (h)

Calcul du temps de concentration avec la formule Meunier-Mathys :

La formule est la suivante :

$$tc = K * S^{0,312} * I^{-0,625}$$

Avec :
 Tc : Temps de concentration (min)
 S : Surface du bassin versant (km²)
 I : Pente du bassin versant (%)
 K : Coefficient fonction de l'état de dégradation du bassin versant. Il varie entre 145 pour un bassin dégradé à 331 pour un bassin végétalisé.

Le bassin versant de Poro est totalement dénudé, il a été pris K= 145. Pour Poro aval, un faible couvert végétal est présent, il a été pris K= 200.

Annexe 11 : Granulométrie

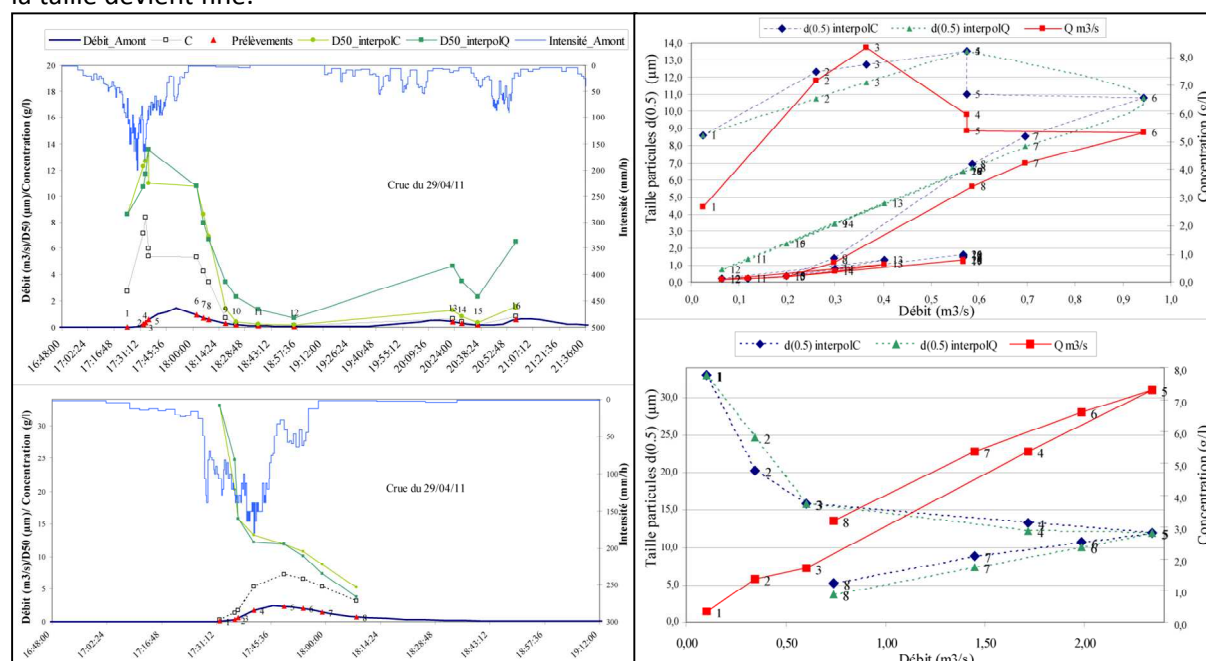
Evolution granulométrique au cours d'une crue

Campagne 2011

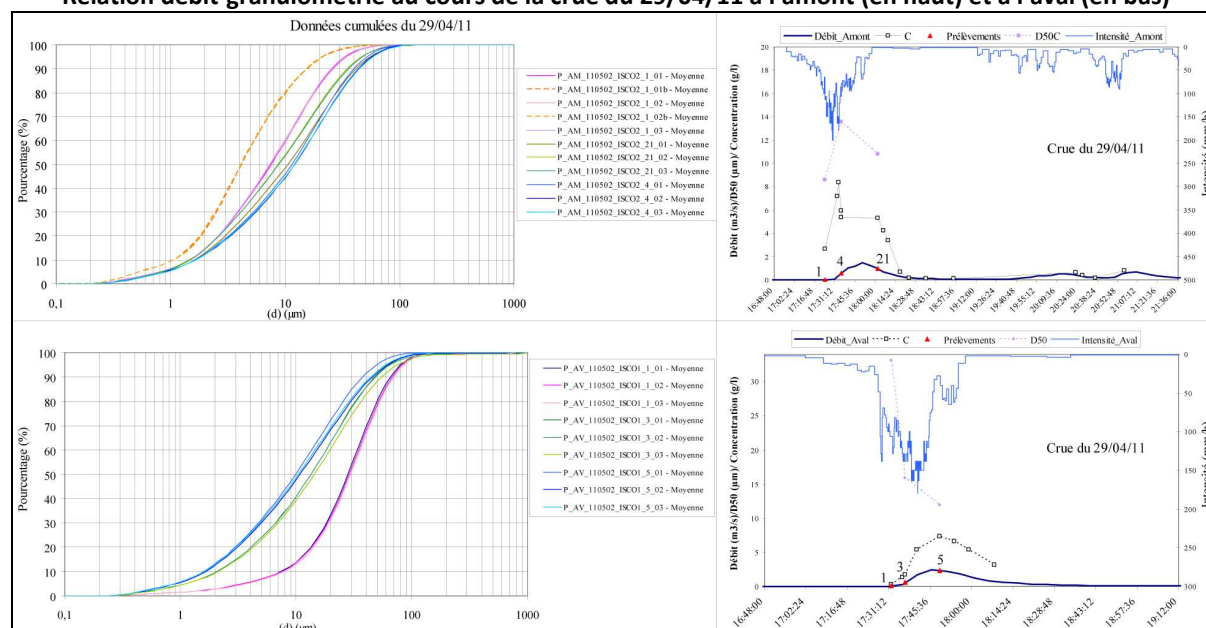
Il apparaît une évolution granulométrique certaine au cours des crues observées en 2011. L'examen des faisceaux granulométriques et des hydrogrammes pour les 6 crues analysées met en évidence une variation temporelle granulométrique.

A l'amont, on observe une relation synthétique entre le débit et le D50 (Figure ci-dessous, en haut). En effet, en début de crue la taille des particules est fine, en montée de crue celle-ci devient grossière alors qu'à la décrue les particules redeviennent relativement fines à intermédiaires.

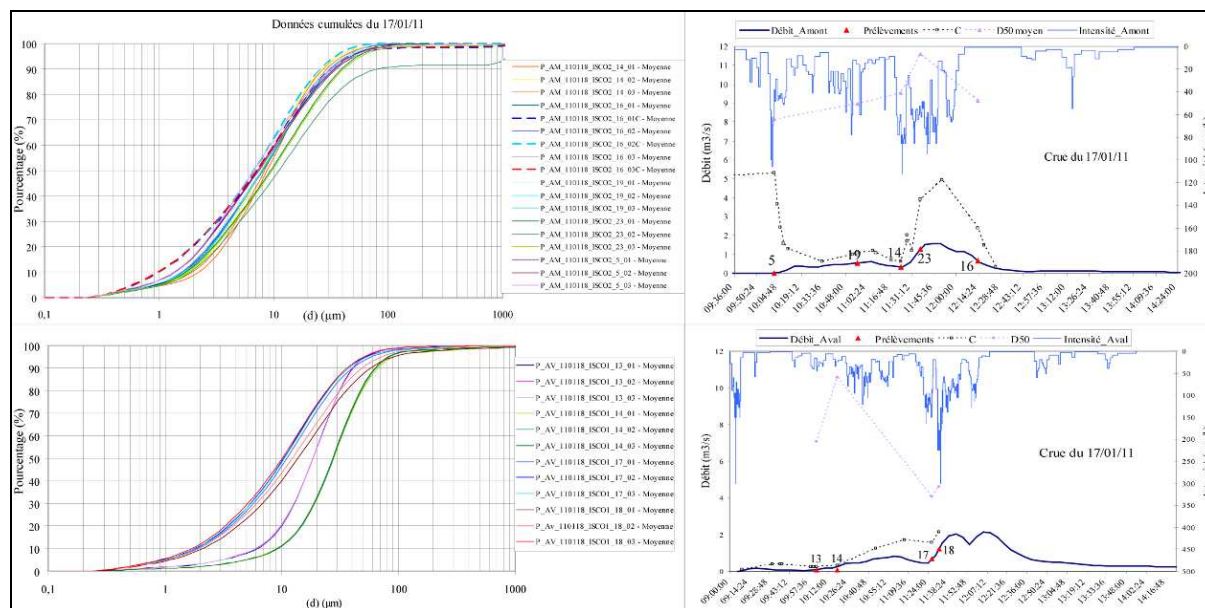
A l'inverse, l'aval présente plutôt une relation antithétique entre débit et D50 (Figure ci-dessous, en bas). En début de crue la taille des particules est grossière alors qu'en montée de crue et en décrue, la taille devient fine.



Relation débit-granulométrie au cours de la crue du 29/04/11 à l'amont (en haut) et à l'aval (en bas)



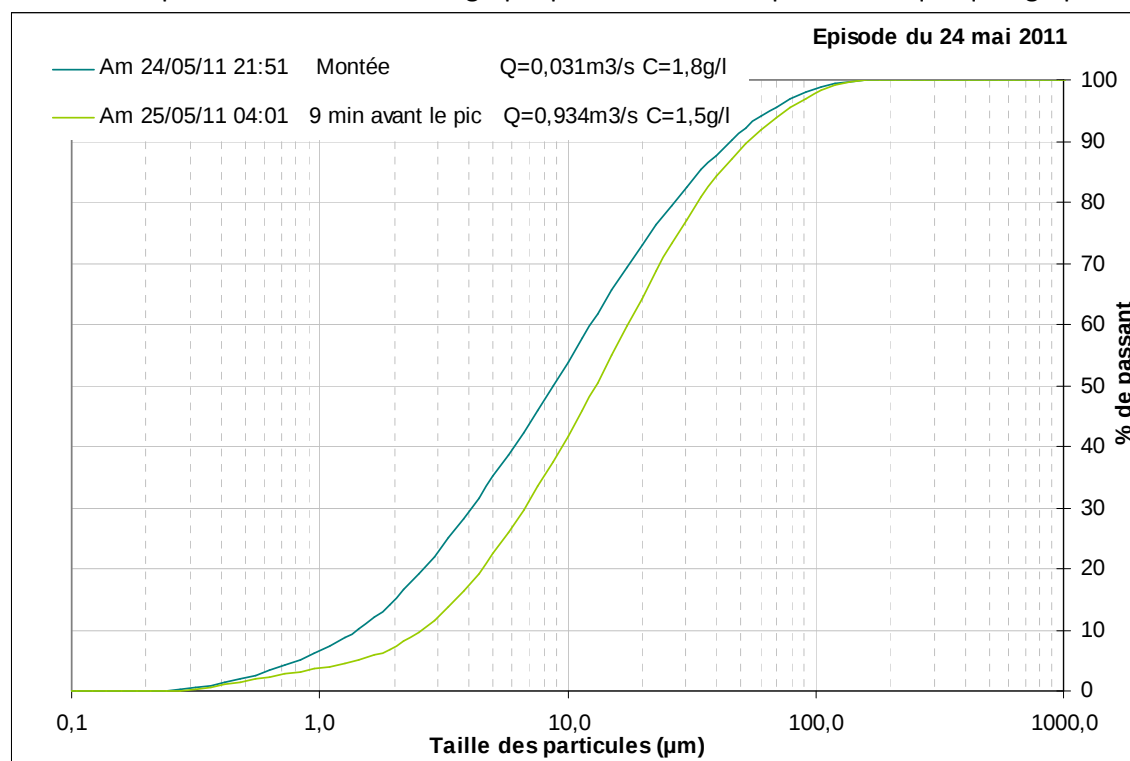
Evolution granulométrique au cours de la crue du 29/01/11 à l'amont (en haut) et à l'aval (en bas)

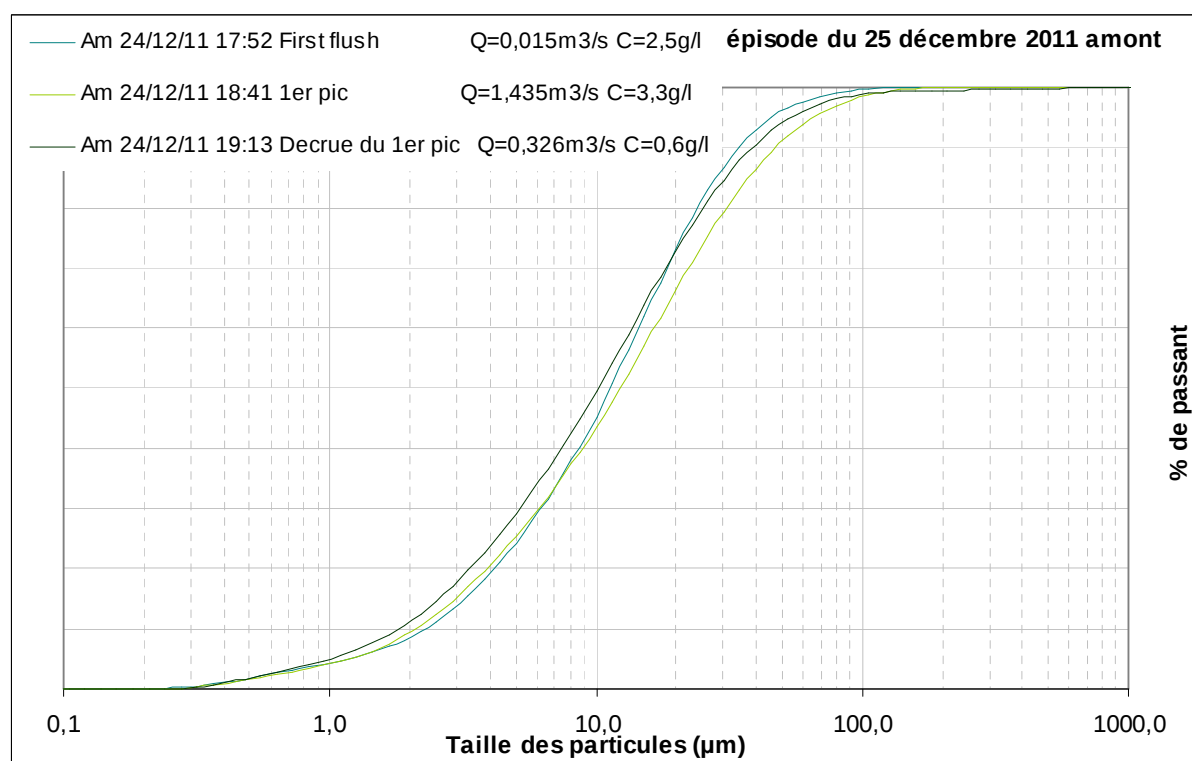
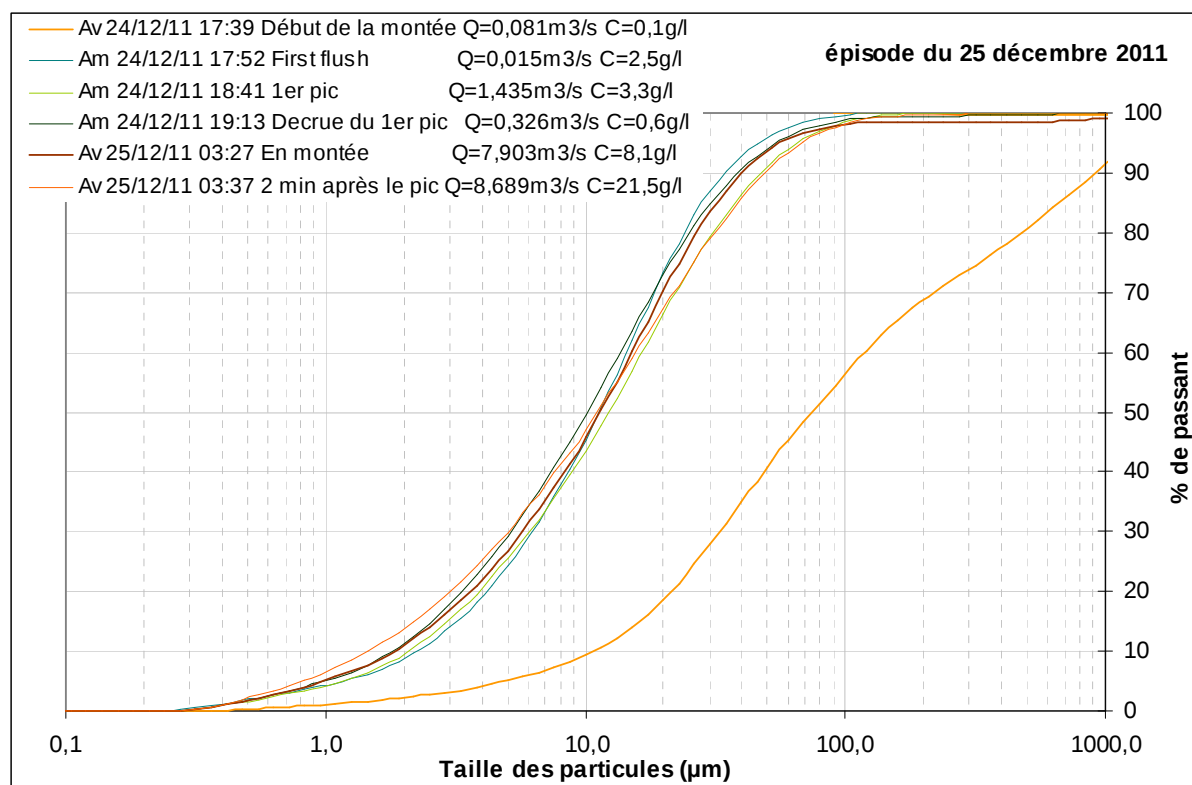


Evolution granulométrique au cours de la crue du 17/01/11 à l'amont (en haut) et à l'aval (en bas)

Campagne 2012

Pour plusieurs crues, des analyses granulométriques ont été réalisées pour des échantillons prélevés à différentes périodes de la crue et les graphiques ci-dessous en présentent quelques graphes :





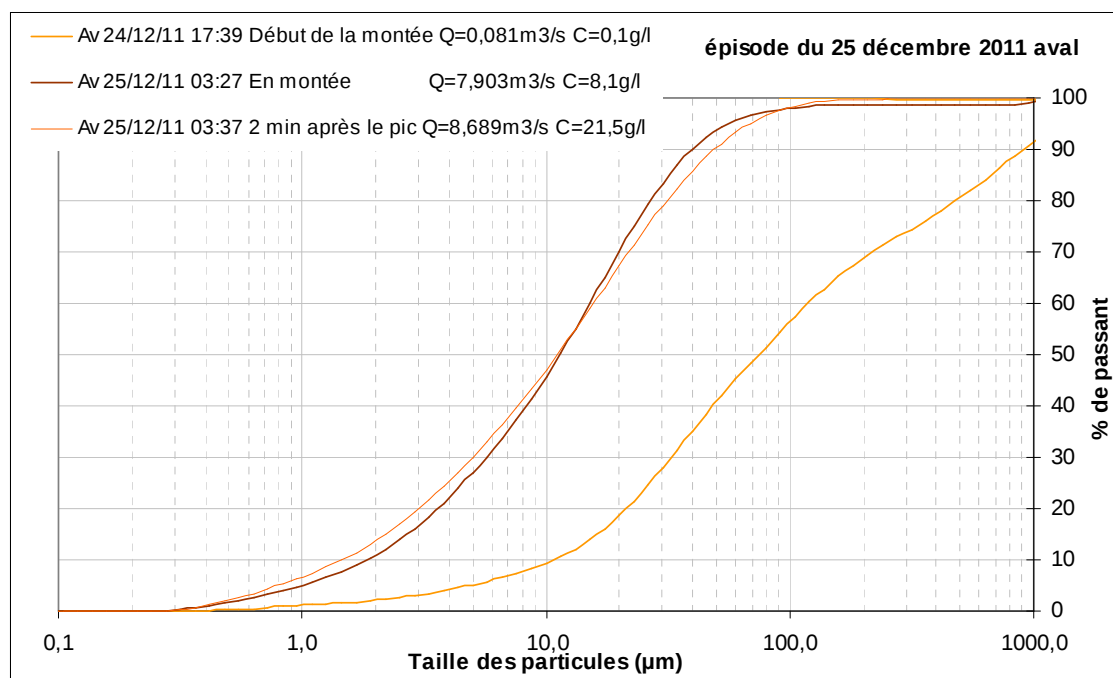


Tableau des résultats des analyses granulométriques 2012

N° épisode	Date	Pluie (mm)	Amont	Aval	C (g/l)	Q (m³/s)	Moment dans la crue	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)
230	24/05/2011 21:51	95			1,8	0,031	Montée	1,4	8,7	45,6
230	24/05/2011 04:01	95			1,5	0,934	9 min avant le Pic	2,6	13,0	53,9
261	24/12/2011 17:52	493			2,5	0,015	Montée	2,3	11,3	34,4
261	24/12/2011 19:13	493			0,6	0,326	Decrue 1er pic	1,8	10,2	38,8
261	24/12/2011 18:41	493			3,3	1,435	1er Pic	2,1	12,3	47,4
261	24/12/2011 17:39	493			0,1	0,081	Montée	8,2	56,4	692,6
261	25/12/2011 03:27	493			8,1	7,903	Montée	1,8	11,4	39,9
261	25/12/2011 03:37	493			21,5	8,689	2 min après le pic	1,5	11,1	49,2
287	13/02/2012 03:30	63			2,2	0,085	Montée	2,3	15,2	50,5
287	13/02/2012 03:40	63			3,1	0,673	Pic	2,5	17,6	57,2
296	09/03/2012 19:40	51			4,6	0,021	Montée	1,6	9,1	28,5
296	09/03/2012 21:45	51			0,4	0,567	5 min avant le pic	2,7	14,7	49,1
296	09/03/2012 22:15	51			0,8	0,201	5 min après le pic	8,7	28,5	71,7
300	13/03/2012 16:10	33			0,5	0,632	2 min après le pic	2,5	18,8	79,0
315	18/04/2012 13:55	81			2,8	0,043	Montée	1,6	10,0	38,3
315	18/04/2012 14:35	81			2,6	0,987	15 min avant le pic	2,1	14,9	65,3
315	18/04/2012 14:01	81			0,4	0,182	Montée	13,6	34,2	85,7
315	18/04/2012 14:29	81			3,9	1,388	13 min avant le pic	2,1	15,4	63,7
aaa	First flush	aaa		Max des prélèvements	aaa		First flush et max des prélèvements			

Annexe 12 : Modèle de prédiction du flux à partir du débit (Poro amont)

Le graphique de la Figure 92 présente un lien entre débit maximal et flux en catégorisant la pluie en deux catégories : épisode de plus de 85 mm et épisode de moins de 85 mm.

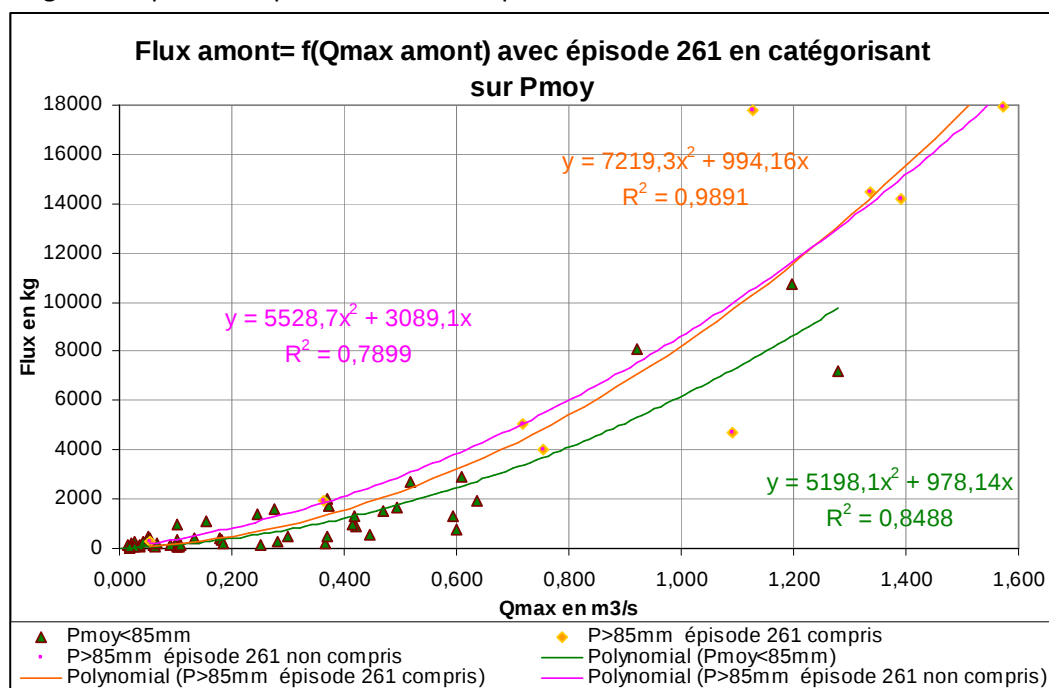


Figure 92 : relation flux-concentration par catégorie de pluie incidente

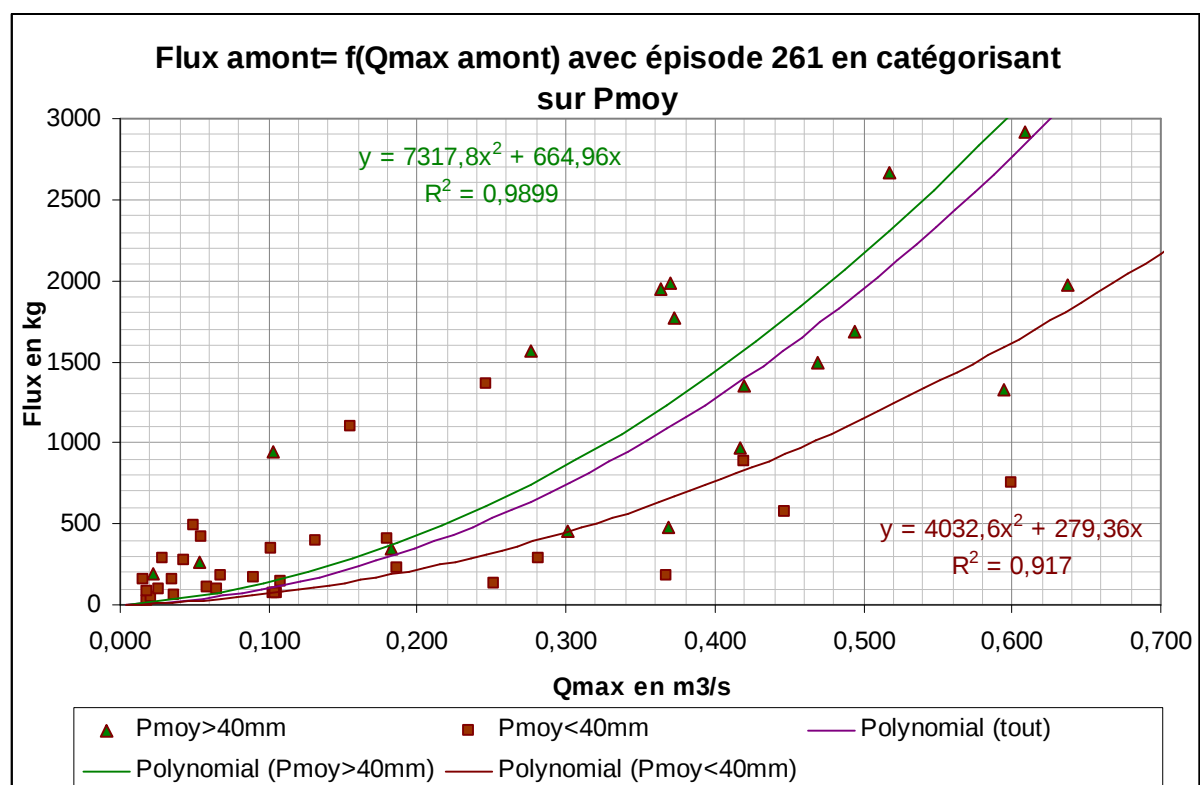
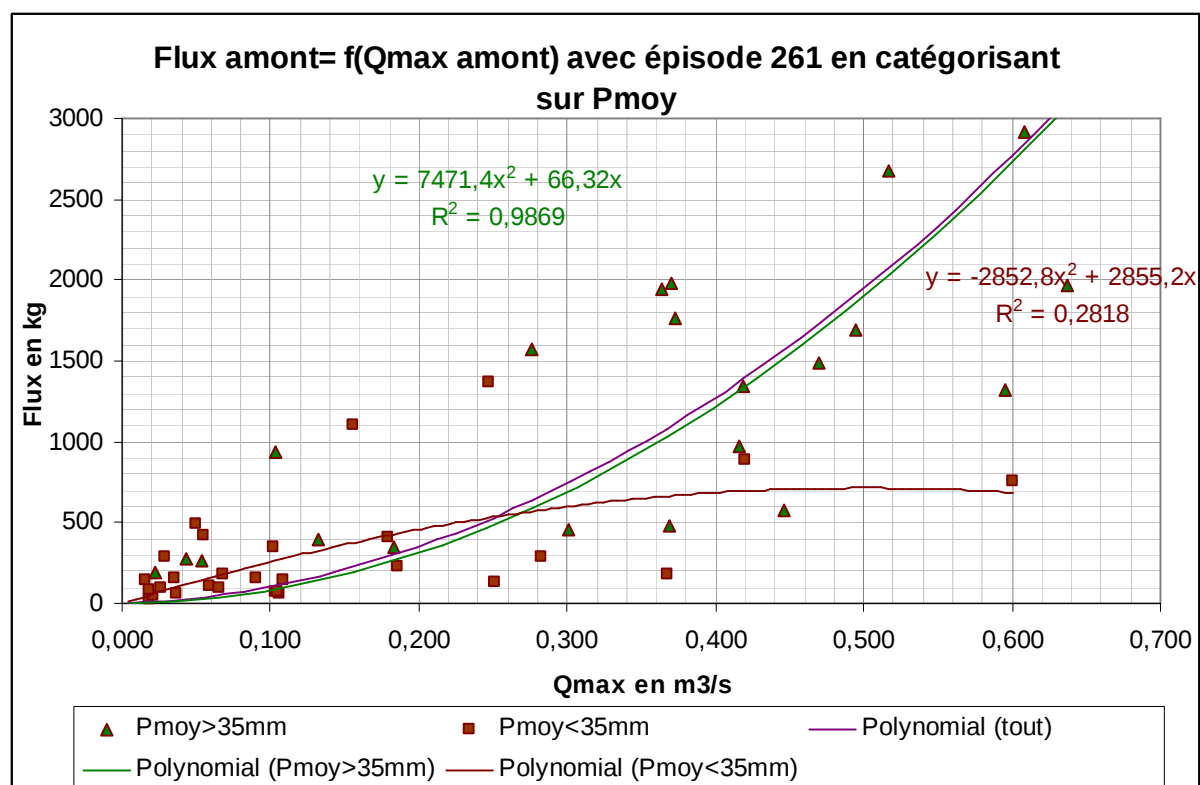
Pour les épisodes de moins de 85 mm, le coefficient de corrélation entre débit maximal et flux est bon, les points semblent bien répartis autour de la courbe. Pour les épisodes de plus de 85 mm, la prise en compte ou non, de l'épisode 261, joue plus sur la courbe de tendance que dans le cas précédent où tous les épisodes étaient pris en compte.

Plusieurs essais de catégorisation ont été menés :

- plus ou moins de 40 mm
- plus ou moins de 35 mm
- Moins de 20 mm, entre 20 et 85 mm, plus de 85 mm
- Moins de 20 mm, entre 20 et 40 mm, plus de 40 mm

La catégorisation en plus de deux parties ne donne pas de bons résultats. Le nombre d'épisodes échantillonnés dans chaque catégorie diminue avec le nombre de catégorie. La frontière à 35 mm ou 40 mm permet une bonne répartition du nombre d'épisodes dans chaque catégorie. La différence entre la frontière à 35 ou 40 mm est l'inclusion ou non d'un épisode avec un fort flux et un fort débit maximal dans la catégorie des épisodes en dessous du seuil. Cet épisode a la même incidence sur le coefficient de corrélation que l'épisode 261. Cependant sans lui il n'est pas possible d'établir une courbe de tendance correcte.

Les deux graphiques suivants présentent les résultats avec la frontière à 35 mm et à 45 mm.



Le tableau suivant présente les résultats sur les 60 épisodes échantillonnés avec les différentes méthodes essayées.

N° ép	Pmoy en mm	Flux en kg	Qmax en m3/s	tous épisode		sans 261		± 85mm		± 85mm sans 261		± 40mm		± 35mm	
				Fest	% ec	Fest	% ec	Fest	% ec	Fest	% ec	Fest	% ec	Fest	% ec
57	9	20	0,0184	1	93	9	57	20	1	20	1	6	68	53	167
316	10,0	66	0,1058	77	17	116	75	162	145	162	145	75	13	334	406
274	12	52	0,0206	2	96	10	81	22	57	22	57	7	86	60	15
302	14	99	0,0263	4	96	14	86	29	70	29	70	10	90	77	22
218	15	134	0,2514	459	243	535	299	574	329	574	329	325	143	898	570
214	15	150	0,0161	1	99	7	95	17	89	17	89	6	96	47	69
56	16	416	0,0549	19	95	40	90	69	83	69	83	27	93	165	60
174	17	79	0,0179	1	98	8	89	19	76	19	76	6	92	52	34
303	18	145	0,1084	82	44	121	17	167	15	167	15	78	46	343	137
204	19,8	226	0,1860	248	10	310	37	362	60	362	60	191	15	630	179
198	20,0	107	0,0592	23	79	45	58	76	29	76	29	31	71	179	67
34	21	351	0,1018	71	80	108	69	153	56	153	56	70	80	320	9
242	22	92	0,0649	28	70	52	43	85	7	85	7	35	62	197	115
177	24	183	0,3682	995	444	1089	495	1065	482	1065	482	649	255	1438	686
17	25,3	491	0,0501	16	97	35	93	62	87	62	87	24	95	150	69
301	25,3	1105	0,1555	172	84	225	80	278	75	278	75	141	87	513	54
182	26	285	0,0282	4	99	15	95	32	89	32	89	11	96	83	71
200	27	63	0,0361	8	88	22	66	42	33	42	33	15	76	107	69
201	27	162	0,0897	55	66	88	46	130	20	130	20	57	65	279	72
219	27	758	0,6001	2667	252	2765	265	2459	224	2459	224	1620	114	2741	262
184	29	1366	0,2469	442	68	518	62	558	59	558	59	315	77	879	36
46	29	77	0,1030	73	5	111	44	156	102	156	102	72	7	324	321
54	29	176	0,0677	30	83	56	68	90	49	90	49	37	79	206	17
306	29	68	0,1045	75	11	113	67	159	134	159	134	73	8	329	385
170	29	151	0,0354	7	95	21	86	41	73	41	73	15	90	105	31
61	32	284	0,2821	580	104	662	133	690	143	690	143	400	41	1032	264
310	32	412	0,1794	230	44	290	30	343	17	343	17	180	56	604	47
300	33	885	0,4203	1301	47	1400	58	1330	50	1330	50	830	6	1704	93
295	37	391	0,1323	123	68	170	57	220	44	220	44	108	72	140	64
47	37	7166	1,2791	12207	70	12065	68	9755	36	9755	36	6955	3	12308	72
205	39	576	0,4468	1471	155	1572	173	1475	156	1475	156	930	61	1521	164
180	39	276	0,0437	12	96	29	90	53	81	53	81	20	93	17	94
304	40,3	2914	0,6084	2742	6	2839	3	2519	14	2519	14	3113	7	2806	4
293	41	196	0,0225	2	99	11	94	25	87	25	87	19	90	5	97
286	44	345	0,1827	239	31	300	13	352	2	352	2	366	6	261	24
217	46	454	0,3011	662	46	747	65	766	69	766	69	864	90	697	54
215	49	1690	0,4940	1802	7	1904	13	1752	4	1752	4	2115	25	1856	10
296	51	1324	0,5950	2622	98	2720	105	2422	83	2422	83	2987	126	2685	103
64	54	1492	0,4699	1629	9	1730	16	1607	8	1607	8	1928	29	1681	13
196	54	1763	0,3729	1021	42	1116	37	1088	38	1088	38	1266	28	1064	40
60	57	8132	0,9208	6310	22	6342	22	5308	35	5308	35	6817	16	6396	21
41	58	1984	0,3702	1006	49	1101	45	1074	46	1074	46	1249	37	1048	47
216	62	477	0,3688	998	109	1093	129	1068	124	1068	124	1240	160	1040	118
287	63	968	0,4166	1278	32	1376	42	1310	35	1310	35	1547	60	1325	37
178	66	939	0,1032	74	92	111	88	156	83	156	83	146	84	86	91
255	68	1349	0,4191	1293	4	1392	3	1323	2	1323	2	1564	16	1340	1
123	70	2671	0,5173	1977	26	2079	22	1897	29	1897	29	2302	14	2033	24
93	70	1569	0,2760	555	65	636	59	666	58	666	58	741	53	587	63
305	74	1969	0,6370	3008	53	3102	58	2733	39	2733	39	3393	72	3074	56
315	81	10751	1,1957	10663	1	10571	2	8602	20	8602	20	11258	5	10762	0

65	88	1944	0,3634	969	50	1063	45	1315	32	1853	5	1208	38	1011	48
230	95	4731	1,0906	8865	87	8827	87	9671	104	9945	110	9429	99	8959	89
19	97	17815	1,1274	9475	47	9420	47	10297	42	10510	41	10051	44	9571	46
241	103	263	0,0533	18	93	38	85	74	72	180	31	56	79	25	91
223	108	14221	1,3902	14429	1	14212	0	15335	8	14980	5	15068	6	14533	2
175	112	17918	1,5742	18513	3	18152	1	19456	9	18564	4	19181	7	18620	4
126	145	5034	0,7192	3840	24	3923	22	4449	12	5082	1	4264	15	3912	22
43	188	4037	0,7557	4241	5	4317	7	4874	21	5491	36	4681	16	4316	7
15	269	14488	1,3377	13355	8	13175	9	14248	2	14025	3	13984	3	13458	7
261	493	100076	3,6523	99950	0	96054	4	99931	0	85031	15	100042	0	99905	0

« Fest » représente le flux estimé par la méthode et « %ec » l'écart relatif en pourcentage entre le flux réel et le flux calculé par la méthode. Le tableau est classé par pluie moyenne croissante. La méthode en deux catégories plus ou moins de 35 mm n'est pas bonne. Les écarts sont plus grands que celle catégorisant en plus ou moins 40 mm et la courbe pour les faibles valeurs n'est pas satisfaisante.

Si on sépare l'échantillon en deux au seuil de 85 mm, les résultats sont meilleurs quand l'ajustement ne prend pas en compte l'épisode 261. Dans ce cas, l'erreur sur le flux de l'épisode 261 ne dépasse pas 15%.

Une séparation de l'échantillon au seuil de 40 mm donne de meilleurs résultats que la séparation au seuil de 85 mm. mé

Parmi les méthodes prenant en compte une catégorisation de la pluie, la méthode séparant l'échantillon au seuil de 40 mm donne les meilleurs résultats.

Annexe 13 : méthode de l'arbre décisionnel

Tableau A13.1 : paramètres des classes pour Poro aval (en blanc valeur min, en gris valeur max)

Flux	Effectif	Pmoy (mm)	Pluie (mm)	durée (min)	ts (min)	Ts (h)	IPA M2 $\alpha=0,7$	P+IPA M2;0,7	I _{max} 06 (mm/h)	I _{max} 15 (mm/h)	I _{max} 60 (mm/h)	I _{max} 120 (mm/h)	I _{max} 1440 (mm/h)	htot 15 (mm)	htot 40 (mm)	durée de la crue (min)	t0 (min)	Po (mm)	Lame d'eau ruisselé (mm)	CE	Tc graph (min)	Q _{max} (m3/s)
1	3	81	90	238	236	84	2	21	135,0	112,0	49,0	25,5	3,7	78	58	268	38	5	20,6	0,23	12	1,854
		493	476	1583	5023	540	32	77	195,0	178,0	115,5	93,8	19,6	417	341	1647	180	15	268,5	0,56	17	9,240
2	3	97	104	316	54	11	8	7	110,0	82,0	34,5	18,5	4,3	83	63	405	26	5	35,4	0,27	12	1,433
		269	287	2750	7876	205	115	218	140,0	110,0	61,0	47,5	7,9	165	108	2320	423	32	80,8	0,36	29	2,521
3	5	49	43	127	460	8	9	22	50,0	46,0	34,0	17,3	1,8	37	25	75	40	2	5,8	0,09	16	0,797
		145	149	1220	2955	2490	76	192	115,0	90,0	49,0	30,0	6,2	94	43	655	1172	32	28,4	0,19	31	1,099
4	4	57	56	651	333	6	11	22	45,0	36,0	23,0	14,5	2,3	25	6	140	230	10	9,4	0,17	14	0,697
		119	131	1110	5996	100	35	66	65,0	58,0	34,5	22,8	5,5	60	29	820	464	18	26,2	0,26	27	1,254
5	7	20	25	52	196	5	2	6	35,0	22,0	12,0	7,3	1,0	20	4	75	-3	0	1,3	0,05	15	0,115
		88	90	1235	14036	1979	77	173	90,0	62,0	38,5	23,8	3,8	54	32	1340	128	31	40,2	0,58	35	0,819
6	6	10	12	78	172	3	12	8	30,0	22,0	11,0	6,0	0,5	7	1	129	1	0	3,3	0,10	16	0,230
		62	65	1032	457	8	135	179	75,0	58,0	29,0	20,5	2,7	34	17	740	109	7	11,0	0,33	29	0,697
7	5	25	28	51	0	0	6	9	40,0	24,0	14,0	11,8	1,1	19	4	138	1	0	2,5	0,04	15	0,267
		54	57	742	10948	182	107	138	100,0	76,0	46,0	23,8	2,4	46	37	370	454	11	9,2	0,20	37	0,444
8	10	15	13	97	157	3	4	24	35,0	18,0	8,0	5,3	0,5	6	2	35	4	2	1,7	0,07	7	0,102
		41	44	561	5809	185	135	234	125,0	76,0	25,5	13,5	1,8	37	31	515	245	8	10,8	0,49	34	0,347
9	9	10	11	18	154	8	0	12	10,0	10,0	9,0	5,3	0,4	1	0	63	-4	0	0,6	0,01	17	0,040
		44	42	775	18710	377	491	295	85,0	60,0	20,0	10,5	1,8	24	14	720	358	23	6,1	0,23	64	0,210

Tableau A13.1 : paramètres des classes pour Poro amont (en blanc valeur min, en gris valeur max)

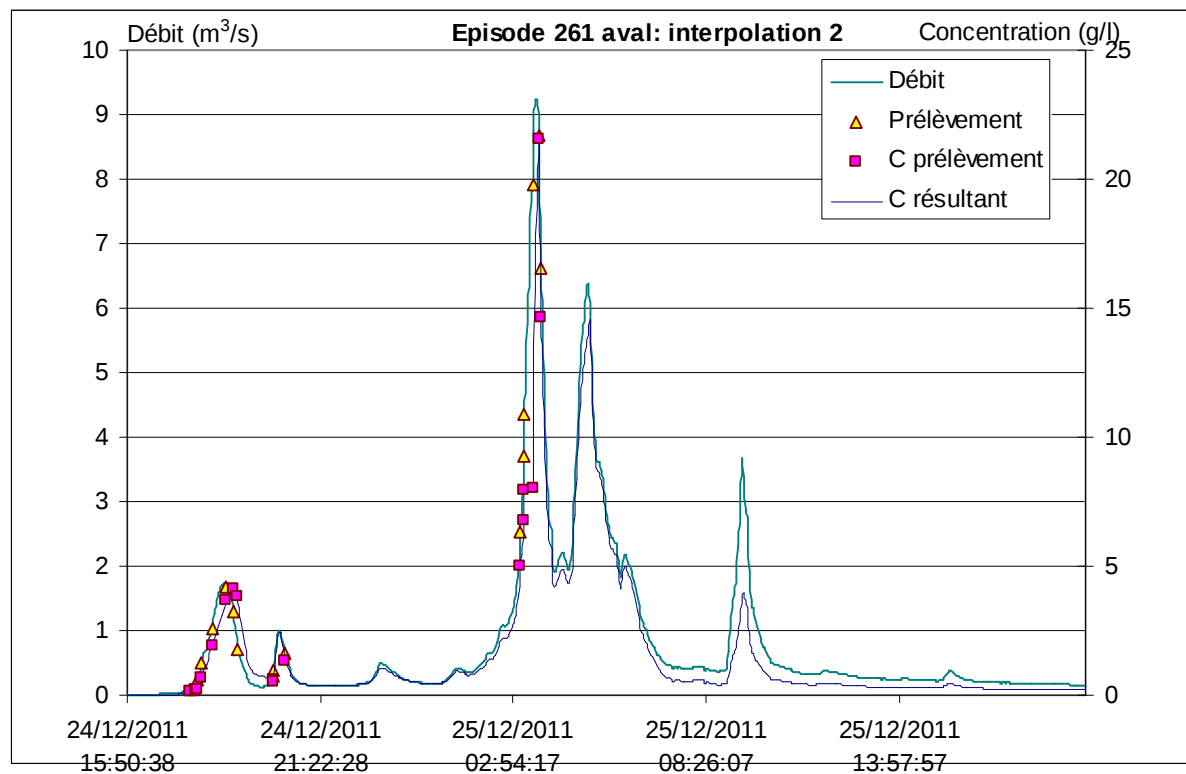
Flux	Effectif	Pmoy (mm)	Pluie (mm)	durée (min)	ts (min)	Ts (h)	IPA M2 $\alpha=0,7$	P+IPA M2;0,7	Imax 06 (mm/h)	Imax 15 (mm/h)	Imax 60 (mm/h)	Imax 120 (mm/h)	Imax 1440 (mm/h)	htot 15 (mm)	htot 40 (mm)	durée de la crue (min)	t0 (min)	Po (mm)	Lan d'ea ruiss (mm)
1	1	493	510	1541	5059	84	2	511	190	186	115	96	21,0	450	378	1427	226	17	398,
		493	510	1541	5059	84	2	511	190	186	115	96	21,0	450	378	1427	226	17	398,
2	4	97	91	355	54	1	8	132	75	64	28	19	3,8	64	44	320	19	4	61,0
		269	251	2879	7861	177	105	259	135	118	59	34	7,1	135	68	2755	419	28	137,
3	3	37	42	54	231	4	32	96	40	40	30	19	1,8	33	9	65	11	2	20,0
		81	73	656	2621	44	67	109	80	70	44	32	3,0	62	39	602	232	5	46,0
4	5	40	42	149	125	2	10	88	50	40	28	18	1,8	30	21	205	8	4	14,0
		188	188	2764	2844	47	82	242	115	84	34	28	5,9	87	30	2655	1154	37	131,
5	11	25	24	143	236	4	3	59	30	26	14	10	1,0	11	2	249	2	1	7,6
		88	85	996	13893	2489	491	515	130	94	44	24	3,5	60	41	870	463	25	58,0
6	5	27	24	65	173	3	11	46	35	24	13	8	1,0	19	4	150	3	0	14,0
		66	71	1277	3457	58	96	137	55	40	29	21	3,0	37	11	1300	40	3	29,0
7	8	16	16	59	274	5	0	35	20	14	7	4	0,6	4	0	111	0	0	2,4
		62	58	807	9896	165	147	169	110	70	35	17	2,4	40	20	820	135	7	26,0
8	14	15	14	52	44	1	4	22	10	10	6	5	0,6	1	0	75	3	1	0,3
		103	104	2545	15274	543	123	140	105	80	26	14	3,5	33	23	2190	613	17	20,0
9	9	9	8	25	103	2	12	20	15	6	4	3	0,3	1	0	60	7	1	0,2
		29	33	664	4183	70	500	517	65	58	29	16	1,4	26	19	695	390	12	6,6

Flux	Effectif	Pmoy (mm)	Pluie (mm)	durée (min)	ts (min)	Ts (h)	IPA M2 $\alpha=0,7$	P+IPA M2;0,7	Imax 06 (mm/h)	Imax 15 (mm/h)	Imax 60 (mm/h)	Imax 120 (mm/h)	Imax 1440 (mm/h)	htot 15 (mm)	htot 40 (mm)	durée de la crue (min)	t0 (min)	Po (mm)	Lame d'eau ruisselé (mm)	CE	Tc graph (min)	Qmax (m3/s)
1	1	493	510	1541	5059	84	2	511	190	186	115	96	21,0	450	378	1427	226	17	398,6	0,78	10	3,652
		493	510	1541	5059	84	2	511	190	186	115	96	21,0	450	378	1427	226	17	398,6	0,78	10	3,652
2	4	97	91	355	54	1	8	132	75	64	28	19	3,8	64	44	320	19	4	61,6	0,54	13	1,127
		269	251	2879	7861	177	105	259	135	118	59	34	7,1	135	68	2755	419	28	137,1	0,80	19	1,574
3	3	37	42	54	231	4	32	96	40	40	30	19	1,8	33	9	65	11	2	20,3	0,48	16	0,921
		81	73	656	2621	44	67	109	80	70	44	32	3,0	62	39	602	232	5	46,4	0,73	28	1,279
4	5	40	42	149	125	2	10	88	50	40	28	18	1,8	30	21	205	8	4	14,2	0,21	15	0,517
		188	188	2764	2844	47	82	242	115	84	34	28	5,9	87	30	2655	1154	37	131,9	0,70	23	1,091
5	11	25	24	143	236	4	3	59	30	26	14	10	1,0	11	2	249	2	1	7,6	0,14	11	0,156
		88	85	996	13893	2489	491	515	130	94	44	24	3,5	60	41	870	463	25	58,2	0,75	33	0,637
6	5	27	24	65	173	3	11	46	35	24	13	8	1,0	19	4	150	3	0	14,8	0,27	9	0,103
		66	71	1277	3457	58	96	137	55	40	29	21	3,0	37	11	1300	40	3	29,5	0,64	34	0,600
7	8	16	16	59	274	5	0	35	20	14	7	4	0,6	4	0	111	0	0	2,4	0,07	18	0,050
		62	58	807	9896	165	147	169	110	70	35	17	2,4	40	20	820	135	7	26,6	0,59	35	0,369
8	14	15	14	52	44	1	4	22	10	10	6	5	0,6	1	0	75	3	1	0,3	0,02	6	0,016
		103	104	2545	15274	543	123	140	105	80	26	14	3,5	33	23	2190	613	17	20,6	0,56	26	0,368
9	9	9	8	25	103	2	12	20	15	6	4	3	0,3	1	0	60	7	1	0,2	0,01	9	0,018
		29	33	664	4183	70	500	517	65	58	29	16	1,4	26	19	695	390	12	6,6	0,56	50	0,106

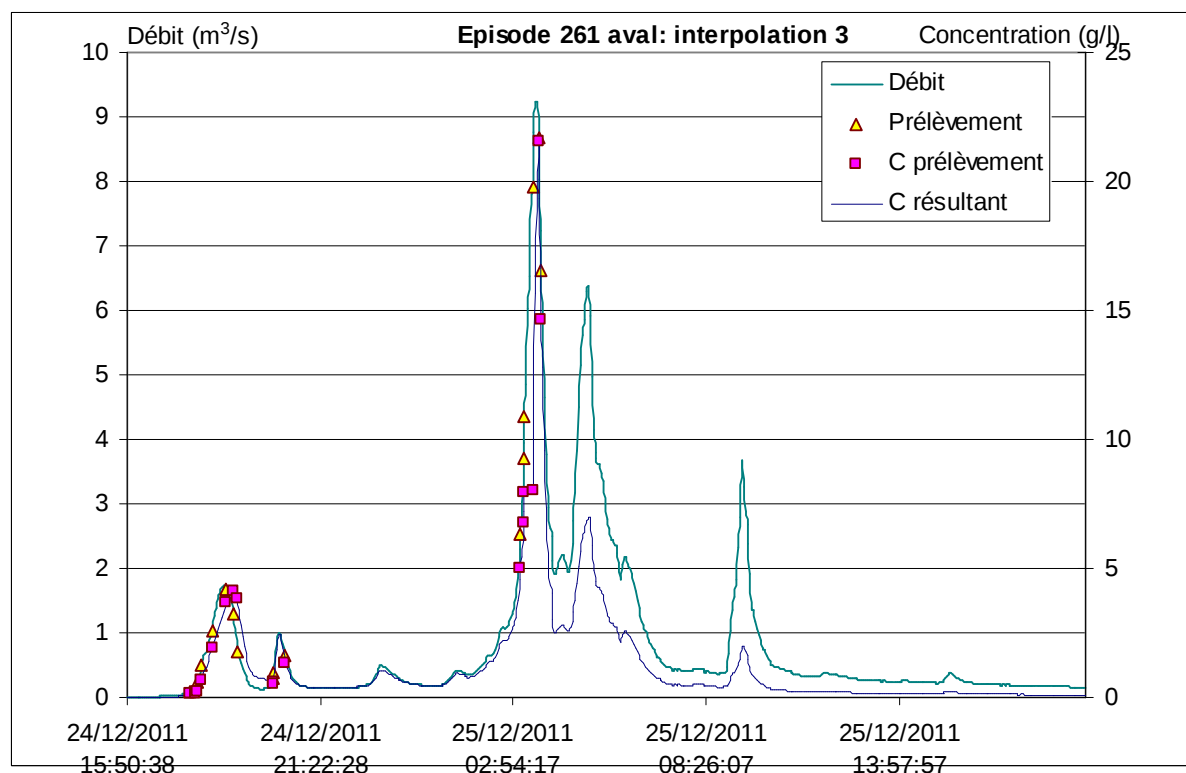
Annexe 14 : Scénarios de concentration pour l'épisode du 24 décembre 2011

Poro aval

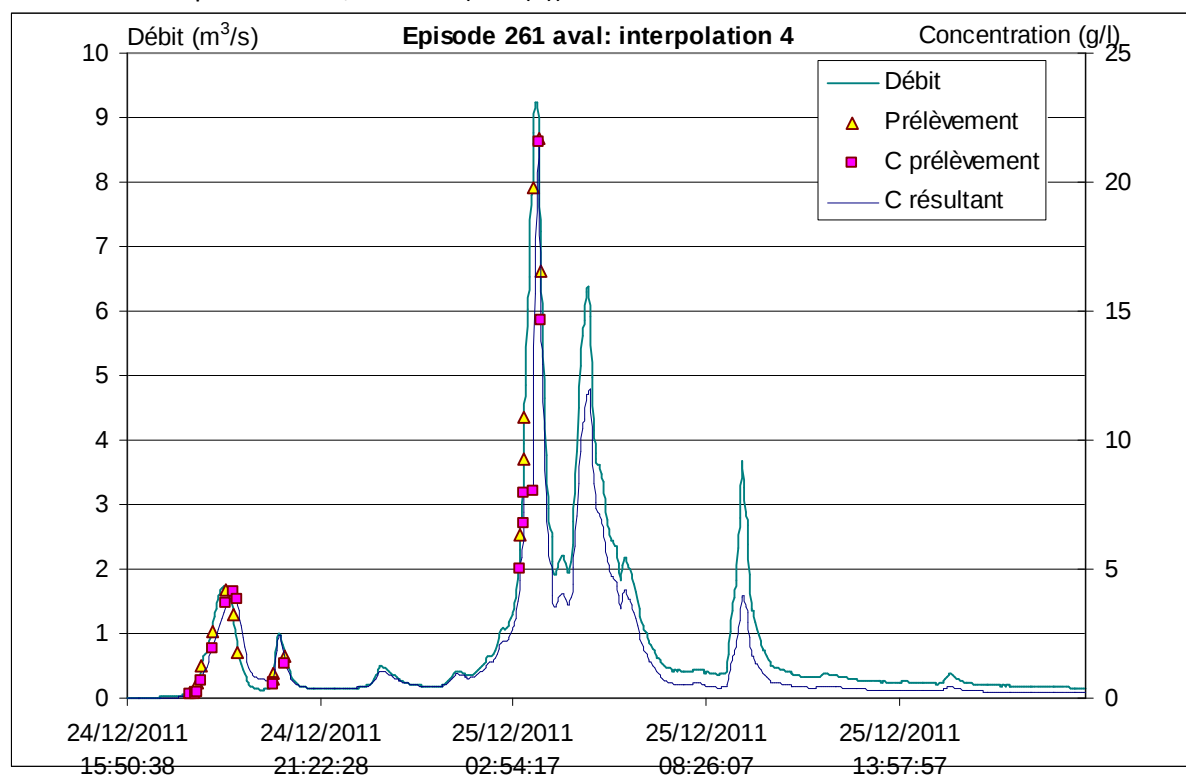
Seconde interpolation 546,5 tonnes (261 (2))



Troisième interpolation 411,8 tonnes (261 (3))

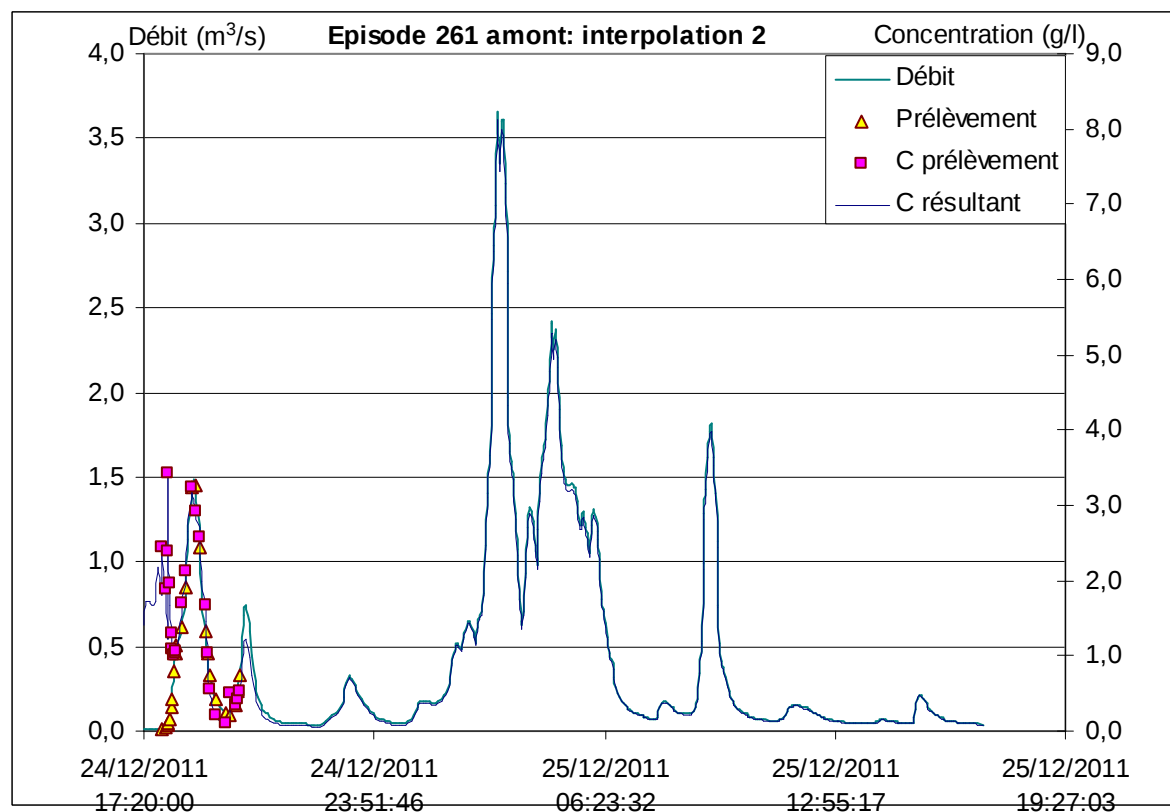


Quatrième interpolation 505,5 tonnes (261 (4))

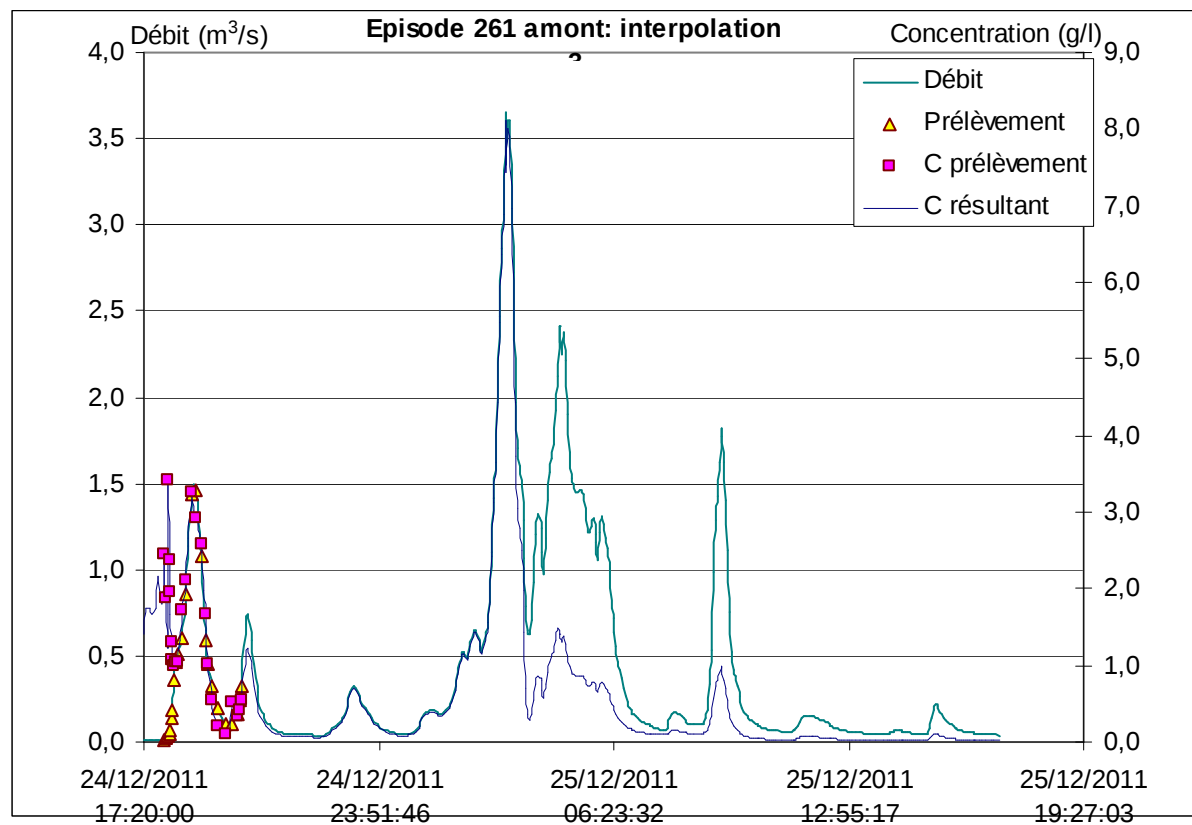


Poro amont

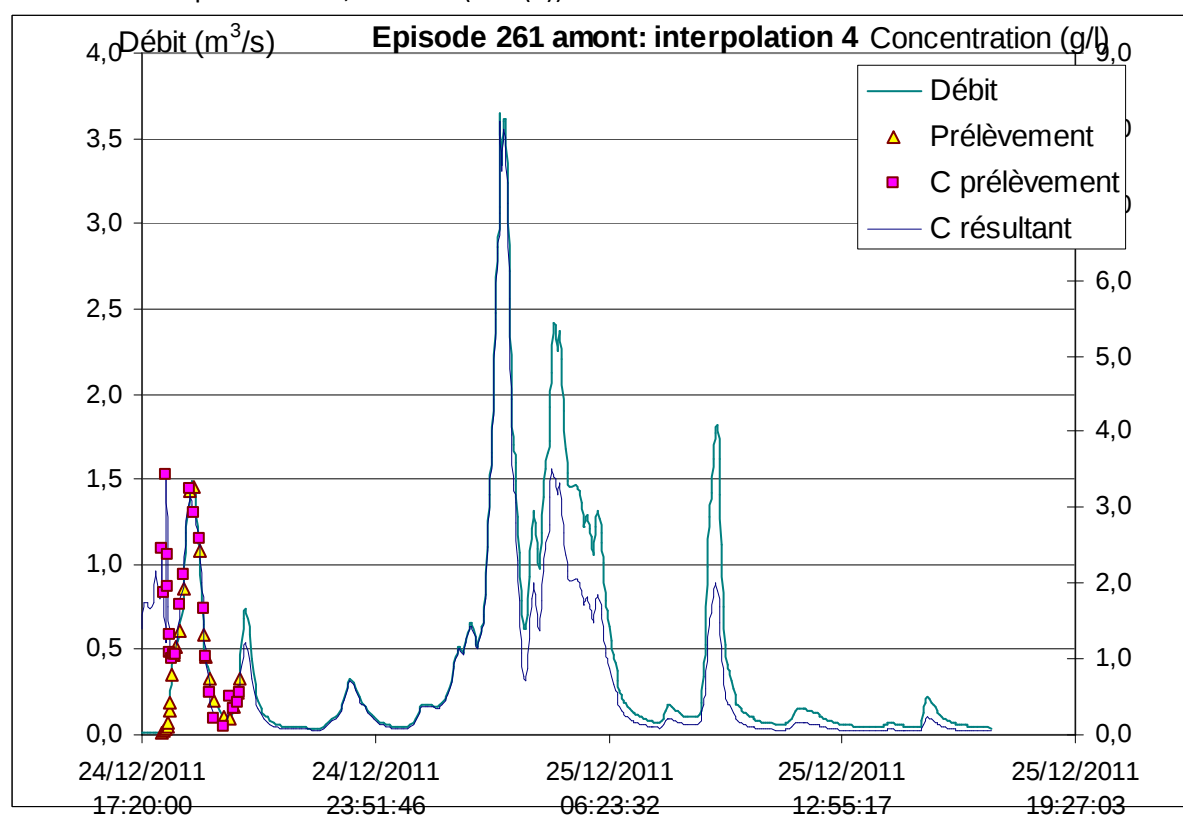
Seconde interpolation 121,9 tonnes (261 (2))



Troisième interpolation 79,4 tonnes (261 (3))



Quatrième interpolation 100,1 tonnes (261 (4))



Annexe 15 : Catalogue des épisodes pluvieux

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
1	4.5	02/01/09 04:45	02/01/09 04:56	3.5	3.5	4	0	0									
2	15.3	02/01/09 19:29	02/01/09 20:19	19.5	19.5	18	1	0	02/01/09 19:30	02/01/09 21:20	0.0340	0.6	0.03				
3	3.8	05/01/09 19:36	05/01/09 20:18	7.5	7.5	5	0	0									
4	21.0	06/01/09 14:30	06/01/09 20:15	23.5	8.0	3	1	0	06/01/09 15:40	06/01/09 20:45	0.0223	0.9	0.04	8			
5	4.5	12/01/09 21:17	12/01/09 21:29	7.0	7.0	7	0	0									
6	17.3	13/01/09 09:39	13/01/09 15:52	20.5	8.5	9	1	0	13/01/09 12:10	13/01/09 17:00	0.0354	0.8	0.04				
7	8.0	19/01/09 00:29	19/01/09 02:39	7.0	3.5	2	1	0	19/01/09 00:35	19/01/09 03:50	0.0091	0.4	0.05				
8	17.8	20/01/09 01:37	20/01/09 04:47	17.0	8.5	8	1	0	20/01/09 02:30	20/01/09 07:55	0.0592	1.4	0.08				
9	5.0	20/01/09 21:13	21/01/09 01:03	6.5	2.5	3	1	0	20/01/09 23:05	21/01/09 02:05	0.0058	0.4	0.06				
10	14.0	22/01/09 23:59	23/01/09 13:26	17.5	4.5	6	1	0	23/01/09 00:35	23/01/09 14:15	0.0076	1.1	0.06				
11	8.0	24/01/09 20:46	25/01/09 00:09	7.0	4.0	5	1	0	24/01/09 20:50	25/01/09 04:20	0.0087	0.5	0.07				
12	23.3	25/01/09 20:20	26/01/09 05:55	20.0	8.0	8	1	0	25/01/09 22:10	26/01/09 07:00	0.0404	2.2	0.11	12			
13	5.3	27/01/09 08:56	27/01/09 09:13	7.0	7.0	7	1	0	27/01/09 08:55	27/01/09 11:35	0.0139	0.2	0.03				
14	4.8	29/01/09 00:48	29/01/09 07:19	4.0	2.0	0	0	0									
15	269.0	03/02/09 18:21	05/02/09 18:20	251.0	28.0	135	1	1	04/02/09 01:20	05/02/09 23:15	1.3377	137.1	0.55	13	21.04	1.17	14488
16	5.3	06/02/09 01:35	06/02/09 02:57	4.0	4.0	1	1	0	06/02/09 01:55	06/02/09 08:10	0.0103	0.9	0.23				
17	25.3	06/02/09 16:04	06/02/09 23:18	22.0	7.0	4	1	1	06/02/09 18:20	07/02/09 07:05	0.0501	6.0	0.27	20	1.80	0.92	491
18	7.3	07/02/09 21:22	08/02/09 05:13	8.0	2.0	1	2	0	07/02/09 21:50	08/02/09 06:10	0.0080	0.9	0.12				
19	97.3	08/02/09 06:06	08/02/09 19:39	90.5	32.0	64	1	1	08/02/09 08:45	08/02/09 21:05	1.1274	72.2	0.80	19	19.06	0.74	17815
20	10.5	08/02/09 20:43	09/02/09 04:08	8.5	6.0	3	1	0	08/02/09 23:55	09/02/09 06:25	0.0542	3.2	0.38				
21	17.3	09/02/09 06:33	09/02/09 07:26	21.5	21.5	19	1	0	09/02/09 06:53	09/02/09 14:10	0.4092	11.7	0.54				
22	25.0	12/02/09 20:51	12/02/09 21:27	2.5	2.5	0	2	0	12/02/09 20:15	12/02/09 21:45	0.0741	2.3	0.93	5			
23	118.5	17/02/09 01:08	17/02/09 21:11	106.0	24.0	44	1	0	17/02/09 01:50	17/02/09 22:30	0.9979	80.1	0.76	15			
24	41.5	18/02/09 00:04	18/02/09 07:59	38.5	14.0	22	1	0	18/02/09 01:57	18/02/09 09:50	0.7378	33.2	0.86	17			
25	4.5	25/02/09 04:31	25/02/09 05:40	5.0	5.0	2	0	0									
26	4.0	27/02/09 04:06	27/02/09 05:06	7.0	7.0	3	0	0									
27	24.3	27/02/09 07:42	27/02/09 10:18	22.5	19.0	18	1	0	27/02/09 08:45	27/02/09 10:25	0.0968	2.7	0.12	15			
28	15.3	01/03/09 07:31	01/03/09 07:52	12.5	12.5	12	1	0	01/03/09 07:35	01/03/09 09:10	0.0600	1.2	0.10				
29	5.5	01/03/09 20:54	01/03/09 21:18	6.5	6.5	5	1	0	01/03/09 21:00	02/03/09 13:00	0.0205	2.5	0.38				
30	16.0	03/03/09 16:18	04/03/09 01:20	14.0	4.0	2	1	0	03/03/09 19:05	04/03/09 03:10	0.0325	3.6	0.26				
31	5.0	04/03/09 03:24	04/03/09 05:02	5.5	4.5	1	2	0	04/03/09 03:40	04/03/09 11:30	0.0153	1.9	0.34				
32	8.0	04/03/09 19:58	04/03/09 22:24	8.5	7.0	6	1	0	04/03/09 19:55	05/03/09 09:15	0.0060	0.7	0.08				
33	5.8	05/03/09 19:19	05/03/09 20:54	9.5	8.5	5	0	0									
34	21.0	07/03/09 15:30	07/03/09 21:32	22.5	14.0	15	1	1	07/03/09 17:00	07/03/09 21:50	0.1018	2.7	0.12	21	7.18	1.64	351
35	12.0	08/03/09 12:24	08/03/09 16:36	14.0	7.5	5	1	0	08/03/09 12:25	09/03/09 21:30	0.0083	1.4	0.10				
36	23.5	10/03/09 16:40	10/03/09 19:18	31.5	15.0	18	1	0	10/03/09 16:55	10/03/09 21:15	0.0216	1.4	0.05	55			
37	9.3	11/03/09 18:42	11/03/09 22:21	3.5	1.5	0	1	0	11/03/09 19:45	11/03/09 23:40	0.0083	0.5	0.14				

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
38	8.3	12/03/09 10:08	12/03/09 15:02	9.0	4.5	2	2	0									
39	12.3	16/03/09 11:33	16/03/09 16:31	12.0	10.5	8	1	0	16/03/09 15:15	16/03/09 17:30	0.0178	0.4	0.03				
40	17.3	20/03/09 15:49	20/03/09 22:23	20.0	10.0	6	1	0	20/03/09 16:20	20/03/09 23:15	0.0125	0.6	0.03				
41	57.8	21/03/09 04:16	21/03/09 20:21	60.0	28.5	28	1	1	21/03/09 12:00	21/03/09 21:05	0.3702	14.7	0.25	21	4.64	1.61	1984
42	16.0	22/03/09 09:02	22/03/09 12:34	19.5	11.0	8	1	0	22/03/09 09:15	22/03/09 21:20	0.0771	5.0	0.26				
43	198.3	23/03/09 10:41	25/03/09 15:05	198.5	28.0	87	1	1	23/03/09 13:25	25/03/09 17:35	0.7557	137.8	0.69	17	1.06	0.34	4037
44	0.0				6.5	6											
45	15.5	26/03/09 03:20	26/03/09 13:58	17.0	5.0	1	1	0	26/03/09 10:55	26/03/09 14:55	0.0287	2.3	0.14				
46	28.8	27/03/09 20:13	27/03/09 23:53	29.0	12.5	20	1	1	27/03/09 20:40	28/03/09 01:45	0.1030	4.2	0.15	9	0.46	0.20	77
47	37.0	29/03/09 19:34	29/03/09 20:27	42.0	42.0	40	1	1	29/03/09 19:45	29/03/09 20:50	1.2791	20.3	0.48	16	6.35	3.92	7166
48	11.5	30/03/09 20:03	31/03/09 00:17	12.0	9.0	7	2	0	30/03/09 20:10	31/03/09 11:05	0.0102	1.6	0.14				
49	9.5	31/03/09 17:13	31/03/09 17:55	13.0	13.0	10	1	0	31/03/09 17:15	31/03/09 18:50	0.0107	0.3	0.03				
50	28.3	31/03/09 21:06	01/04/09 05:49	30.0	11.0	21	1	0	31/03/09 22:00	01/04/09 07:30	0.1056	9.7	0.32	18			
51	6.5	01/04/09 13:06	01/04/09 15:12	6.5	5.5	4	1	0	01/04/09 14:00	01/04/09 17:00	0.1553	4.1	0.64				
52	6.0	11/04/09 11:36	11/04/09 16:41	6.0	2.5	0	1	0	11/04/09 16:00	11/04/09 20:05	0.0138	1.4	0.23				
53	4.8	11/04/09 20:27	12/04/09 00:37	6.0	4.5	4	1	0	12/04/09 00:20	12/04/09 02:15	0.0134	0.5	0.08				
54	28.8	12/04/09 01:21	12/04/09 14:29	33.0	10.0	12	1	1	12/04/09 11:35	12/04/09 19:30	0.0677	6.0	0.18	21	1.50	0.41	176
55	9.8	12/04/09 18:47	13/04/09 01:18	10.5	4.0	3	1	0	12/04/09 20:25	13/04/09 05:25	0.0318	4.6	0.44				
56	16.3	13/04/09 07:31	13/04/09 14:57	15.5	6.5	8	1	1	13/04/09 07:35	13/04/09 21:15	0.0549	9.2	0.59		1.10	0.50	416
57	9.0	14/04/09 01:15	14/04/09 09:16	9.5	3.5	4	1	1	14/04/09 03:15	14/04/09 10:20	0.0184	2.4	0.25		0.14	0.09	20
58	8.3	15/04/09 03:45	15/04/09 10:29	7.0	1.5	1	1	0	15/04/09 04:40	15/04/09 18:30	0.0079	1.9	0.27				
59	6.0	15/04/09 18:51	15/04/09 21:51	6.5	4.0	0	1	0	15/04/09 19:05	16/04/09 01:45	0.0054	0.8	0.13				
60	56.8	16/04/09 03:21	16/04/09 14:16	57.5	29.5	33	1	1	16/04/09 07:13	16/04/09 17:15	0.9208	41.7	0.73	28	5.34	2.17	8132
61	31.5	16/04/09 17:18	17/04/09 02:26	36.5	11.5	17	1	1	16/04/09 19:55	17/04/09 05:30	0.2821	20.6	0.56	18	0.66	0.15	284
62	5.0	01/05/09 10:28	01/05/09 12:52	7.5	5.0	3	1	0	01/05/09 12:50	01/05/09 18:10	0.0206	1.2	0.17				
63	3.5	15/05/09 19:00	15/05/09 21:34	5.0	3.5	1	0	0									
64	53.5	16/05/09 16:05	17/05/09 02:20	50.0	23.0	26	1	1	16/05/09 19:45	17/05/09 06:35	0.4699	15.5	0.31	14	2.91	1.07	1492
65	87.5	21/05/09 02:11	21/05/09 18:47	85.0	26.0	47	1	1	21/05/09 04:20	21/05/09 18:50	0.3634	50.7	0.60	21	3.77	0.42	1944
66	108.3	21/05/09 20:17	22/05/09 22:59	112.0	15.0	29	1	0	21/05/09 23:35	22/05/09 23:35	0.3310	94.7	0.85	22			
67	21.3	23/05/09 04:58	23/05/09 13:07	22.5	7.0	2	1	0	23/05/09 10:05	23/05/09 14:05	0.0783	8.6	0.38	10			
68	18.5	11/06/09 11:21	12/06/09 02:09	19.0	3.0	0	2	0	11/06/09 13:23	12/06/09 13:23	0.0058	3.5	0.19				
69	3.0	18/06/09 16:20	18/06/09 17:20	0.5	0.5	0	0	0									
70	9.8	19/06/09 06:35	19/06/09 12:46	10.5	5.0	0	0	0									
71	10.8	20/06/09 17:30	20/06/09 19:22	14.5	13.0	13	1	0	20/06/09 17:35	20/06/09 19:47	0.0281	0.1	0.01				
72	7.0	26/06/09 02:30	26/06/09 05:00	8.0	6.5	4	1	0	26/06/09 03:05	26/06/09 06:30	0.0058	0.2	0.02				
73	31.8	27/06/09 19:35	28/06/09 07:10	31.5	10.0	12	1	0	28/06/09 05:05	28/06/09 09:00	0.1665	5.0	0.16	20			
74	27.0	08/07/09 08:23	09/07/09 05:29	26.0	3.5	0	2	0									

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
75	26.0	09/07/09 19:24	10/07/09 04:32	28.0	16.5	14	1	0	10/07/09 03:05	10/07/09 06:50	0.1744	6.7	0.24	18			
76	12.3	10/07/09 07:17	10/07/09 11:28	13.0	7.5	3	1	0	10/07/09 09:35	10/07/09 13:25	0.0783	3.1	0.24				
77	62.3	16/07/09 04:01	17/07/09 00:58	66.0	32.5	32	1	0	16/07/09 12:35	17/07/09 05:00	0.7136	18.6	0.28	16			
78	6.0	29/07/09 12:50	29/07/09 14:46	8.0	4.0	3	2	0	29/07/09 16:00	30/07/09 06:38	0.0066	2.3	0.28				
79	19.0	08/08/09 19:01	08/08/09 22:14	17.0	11.5	9	2	0	08/08/09 18:59	09/08/09 01:56	0.0214	3.3	0.19				
80	7.8	27/08/09 17:26	27/08/09 21:26	6.5	3.0	0	0	0									
81	7.3	05/09/09 10:00	05/09/09 14:10	3.0	1.0	0	2	0	05/09/09 14:00	05/09/09 15:00	0.0043	0.0	0.02				
82	7.3	05/09/09 23:22	05/09/09 23:44	2.0	2.0	0	2	0	05/09/09 23:20	06/09/09 01:20	0.0135	0.3	0.16				
83	22.0	10/09/09 14:12	10/09/09 18:01	20.5	11.0	6	1	0	10/09/09 14:30	10/09/09 18:30	0.0144	0.7	0.03	18			
84	7.8	11/09/09 02:35	11/09/09 04:25	8.0	6.5	0	1	0	11/09/09 02:40	11/09/09 04:55	0.0064	0.3	0.03				
85	15.3	11/09/09 17:19	12/09/09 00:45	16.5	7.0	3	1	0	11/09/09 19:00	12/09/09 02:05	0.0076	0.7	0.04				
86	5.0	06/10/09 20:47	06/10/09 22:07	2.5	2.5	0	0	0									
87	6.3	08/10/09 16:17	08/10/09 16:34	6.0	6.0	6	1	0	08/10/09 16:30	08/10/09 17:35	0.0095	0.1	0.01				
88	8.0	02/11/09 01:10	02/11/09 04:48	8.0	3.5	0	0	0									
89	8.8	04/11/09 21:41	05/11/09 00:39	8.0	6.5	4	2	0	04/11/09 23:55	05/11/09 01:05	0.0040	0.1	0.01				
90	17.5	16/11/09 15:45	16/11/09 17:07	19.5	18.0	13	1	0	16/11/09 16:20	16/11/09 17:35	0.0200	0.3	0.02				
91	5.3	18/11/09 12:27	18/11/09 12:48	5.5	5.5	4	1	0	18/11/09 12:50	18/11/09 13:15	0.0080	0.1	0.01				
92	8.0	22/11/09 04:05	22/11/09 11:06	7.5	3.0	2	1	0	22/11/09 09:10	22/11/09 09:35	0.0052	0.0	0.01				
93	70.3	02/12/09 02:40	02/12/09 11:34	80.5	39.0	60	1	1	02/12/09 05:45	02/12/09 12:25	0.2760	14.5	0.18	20	8.28	1.20	1569
94	11.8	04/12/09 07:04	04/12/09 08:52	9.0	6.0	0	1	0	04/12/09 08:05	04/12/09 09:15	0.0170	0.3	0.04				
95	4.5	08/12/09 00:43	08/12/09 02:56	5.0	4.0	2	2	0	08/12/09 02:05	08/12/09 03:15	0.0103	0.3	0.07				
96	4.3	23/12/09 17:36	23/12/09 20:21	5.5	3.5	2	2	0	23/12/09 19:10	23/12/09 23:25	0.0052	0.6	0.11				
97	6.8	01/01/10 20:07	01/01/10 22:47	5.5	2.0	0	1	0	01/01/10 20:30	02/01/10 00:15	0.0103	0.9	0.17				
98	10.3	03/01/10 21:31	04/01/10 03:42	13.0	6.5	3	1	0	03/01/10 22:35	04/01/10 04:40	0.0112	1.2	0.09				
99	4.0	04/01/10 05:04	04/01/10 08:50	5.5	4.0	3	1	0	04/01/10 06:55	04/01/10 09:35	0.0174	0.5	0.10				
100	7.0	09/01/10 11:45	09/01/10 22:42	7.5	1.0	0	1	0	09/01/10 19:15	09/01/10 23:40	0.0068	1.0	0.13				
101	7.8	11/01/10 10:15	11/01/10 21:50	7.5	1.5	0	1	0	11/01/10 11:15	11/01/10 21:55	0.0126	3.4	0.45				
102	13.5	19/01/10 15:50	19/01/10 17:19	13.5	12.5	10	1	0	19/01/10 16:00	19/01/10 17:25	0.0126	0.4	0.03				
103	16.3	21/01/10 11:41	21/01/10 21:28	20.5	6.5	2	1	0	21/01/10 12:10	21/01/10 22:15	0.0076	1.6	0.08				
104	5.0	30/01/10 16:21	30/01/10 17:35	3.5	2.5	0	0	0									
105	4.8	05/02/10 20:07	05/02/10 22:59	4.0	2.0	1	0	0									
106	9.5	07/02/10 14:35	07/02/10 15:52	9.5	8.0	7	1	0	07/02/10 14:35	07/02/10 16:25	0.0288	0.5	0.05				
107	11.3	07/02/10 18:51	07/02/10 23:21	7.0	2.5	0	1	0	07/02/10 19:05	07/02/10 23:40	0.0149	0.9	0.12				
108	5.5	08/02/10 10:23	08/02/10 14:49	5.0	1.5	1	2	0	08/02/10 10:35	08/02/10 15:45	0.0058	0.9	0.19				
109	20.5	08/02/10 16:50	08/02/10 20:12	20.0	10.5	6	1	0	08/02/10 16:55	08/02/10 21:00	0.0223	1.3	0.07	7			
110	3.5	09/02/10 02:06	09/02/10 02:23	5.0	5.0	3	1	0	09/02/10 02:10	09/02/10 02:50	0.0159	0.2	0.04				
111	30.3	11/02/10 00:31	11/02/10 10:58	28.5	8.0	8	1	0	11/02/10 03:20	11/02/10 14:50	0.0282	5.4	0.19	9			

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
112	4.3	14/02/10 02:36	14/02/10 03:39	5.5	4.0	3	2	0	14/02/10 02:45	14/02/10 08:00	0.0121	1.3	0.23				
113	41.8	27/02/10 03:21	27/02/10 16:46	41.5	9.5	19	1	0	27/02/10 06:25	27/02/10 19:25	0.0159	1.6	0.04	11			
114	9.5	26/03/10 09:01	26/03/10 11:01	6.0	4.0	0	0	0									
115	13.0	30/03/10 00:07	30/03/10 02:01	13.0	11.0	10	1	0	30/03/10 00:15	30/03/10 01:25	0.0072	0.1	0.01				
116	5.0	30/03/10 07:07	30/03/10 08:44	3.5	2.5	0	1	0	30/03/10 07:15	30/03/10 10:00	0.0052	0.1	0.04				
117	8.3	04/04/10 18:21	04/04/10 18:51	10.5	10.5	10	0	0									
118	6.3	05/04/10 17:13	05/04/10 20:07	5.0	2.5	0	0	0									
119	7.8	06/04/10 18:24	06/04/10 23:57	15.5	9.0	10	0	0									
120	23.3	15/04/10 16:43	15/04/10 17:20	23.5	23.5	22	1	0	15/04/10 16:55	15/04/10 17:35	0.0159	0.1	0.01	4			
121	9.8	17/04/10 08:11	17/04/10 10:05	8.5	6.0	0	0	0									
122	33.8	03/05/10 18:32	04/05/10 07:16	34.0	21.0	19	1	0	03/05/10 23:55	04/05/10 07:25	0.0130	0.5	0.01	6			
123	69.5	06/05/10 06:40	07/05/10 02:49	68.0	31.5	41	1	1	07/05/10 01:55	07/05/10 05:20	0.5173	14.2	0.21	16	6.88	2.09	2671
124	8.3	19/05/10 00:51	19/05/10 11:02	8.0	2.0	0	2	0									
125	6.3	20/05/10 16:44	20/05/10 21:08	6.0	2.5	1	1	0	20/05/10 19:48	20/05/10 23:28	0.0158	1.2	0.20				
126	145.0	22/05/10 14:16	23/05/10 13:38	141.0	34.0	79	1	1	22/05/10 18:43	23/05/10 14:03	0.7192	76.6	0.54	15	1.40	0.73	5034
127	60.0	01/06/10 05:08	01/06/10 17:05	58.0	27.0	25	1	0	01/06/10 08:28	01/06/10 18:58	0.2201	8.9	0.15	25			
128	10.0	04/06/10 15:49	05/06/10 03:56	10.5	3.0	0	2	0	04/06/10 19:58	05/06/10 04:38	0.0114	2.1	0.20				
129	9.8	05/06/10 17:36	05/06/10 18:43	12.5	12.5	9	1	0	05/06/10 17:38	05/06/10 19:53	0.0233	0.8	0.06				
130	6.3	16/06/10 14:03	16/06/10 17:36	6.0	2.5	0	1	0	16/06/10 16:20	16/06/10 19:15	0.0080	0.6	0.10				
131	7.5	17/06/10 00:50	17/06/10 08:19	7.5	2.5	0	1	0	17/06/10 03:20	17/06/10 11:05	0.0076	1.6	0.21				
132	9.5	21/06/10 19:57	22/06/10 00:33	9.0	7.0	4	1	0	21/06/10 23:30	22/06/10 03:10	0.0083	0.6	0.06				
133	4.0	20/07/10 14:02	20/07/10 14:55	3.0	3.0	0	0	0									
134	4.0	02/08/10 06:13	02/08/10 08:03	5.5	3.5	1	1	0	02/08/10 06:35	02/08/10 13:15	0.0052	0.8	0.15				
135	10.8	06/08/10 05:17	06/08/10 16:29	11.5	4.5	0	0	0									
136	3.3	07/08/10 13:04	07/08/10 15:27	5.0	2.5	2	0	0									
137	169.0	13/08/10 03:23	14/08/10 00:01	176.0	53.5	118	1	0	13/08/10 04:50	14/08/10 00:50	0.6084	59.3	0.34	48			
138	5.8	01/10/10 04:34	01/10/10 07:19	6.0	3.0	1	0	0									
139	8.5	07/10/10 03:15	07/10/10 09:06	7.0	2.5	0	0	0									
140	31.0	17/10/10 22:52	18/10/10 02:13	27.5	14.0	12	1	0	17/10/10 23:20	18/10/10 04:00	0.0091	0.6	0.02	12			
141	20.0	18/10/10 12:43	18/10/10 21:46	19.5	10.0	9	1	0	18/10/10 14:55	18/10/10 22:00	0.0169	0.8	0.04	11			
142	23.5	19/10/10 15:32	20/10/10 01:54	26.5	12.0	7	1	0	19/10/10 19:50	20/10/10 02:55	0.0087	1.2	0.04	10			
143	14.8	24/10/10 03:06	24/10/10 16:32	15.5	5.0	0	2	0									
144	9.8	24/10/10 18:22	25/10/10 01:09	7.5	1.5	0	2	0	24/10/10 20:50	25/10/10 01:45	0.0055	0.9	0.12				
145	11.0	25/10/10 23:45	26/10/10 02:03	11.5	8.0	9	1	0	25/10/10 23:50	26/10/10 03:40	0.0091	0.6	0.06				
146	6.5	30/10/10 06:21	30/10/10 07:13	2.5	2.5	0	0	0									
147	9.8	30/10/10 21:19	30/10/10 23:31	8.5	7.0	5	1	0	30/10/10 21:20	01/11/10 03:15	0.0091	1.4	0.16				
148	6.0	01/11/10 22:52	02/11/10 00:06	3.0	3.0	0	0	0									

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
149	69.8	04/11/10 22:15	05/11/10 08:02	69.0	19.5	35	1	0	05/11/10 02:40	05/11/10 11:20	0.1617	11.6	0.17	23			
150	13.5	05/11/10 16:10	05/11/10 18:17	9.0	6.5	2	1	0	05/11/10 16:45	05/11/10 22:20	0.0550	3.0	0.33				
151	7.3	06/11/10 02:07	06/11/10 04:31	8.5	4.5	1	1	0	06/11/10 02:25	06/11/10 05:10	0.0064	0.5	0.06				
152	15.0	07/11/10 09:06	07/11/10 13:15	18.0	8.0	13	1	0	07/11/10 10:35	07/11/10 13:50	0.0126	0.5	0.03				
153	7.3	11/11/10 21:54	12/11/10 01:53	7.5	6.0	4	1	0	11/11/10 23:55	12/11/10 01:20	0.0112	0.2	0.03				
154	4.5	12/11/10 16:01	12/11/10 16:06	1.0	1.0	0	0	0									
155	9.8	12/11/10 19:07	12/11/10 21:06	9.0	6.5	1	1	0	12/11/10 19:20	12/11/10 23:00	0.0139	0.6	0.07				
156	4.8	15/11/10 11:28	15/11/10 16:32	6.0	2.5	1	0	0									
157	26.3	08/12/10 17:54	08/12/10 19:27	22.0	20.0	18	1	0	08/12/10 18:55	08/12/10 20:30	0.0234	0.3	0.01	7			
158	10.0	11/12/10 21:42	11/12/10 23:12	12.0	10.0	7	1	0	11/12/10 22:35	11/12/10 23:35	0.0064	0.1	0.01				
159	11.5	12/12/10 01:15	12/12/10 06:01	14.0	7.0	0	1	0	12/12/10 02:55	12/12/10 06:00	0.0058	0.4	0.03				
160	10.8	14/12/10 18:24	14/12/10 22:27	8.5	7.0	2	1	0	14/12/10 22:00	14/12/10 23:45	0.0061	0.2	0.02				
161	13.3	16/12/10 04:33	16/12/10 05:37	10.0	9.0	8	1	0	16/12/10 04:35	16/12/10 05:40	0.0121	0.2	0.02				
162	6.3	18/12/10 22:33	19/12/10 00:32	6.0	4.5	4	0	0									
163	15.8	22/12/10 23:53	23/12/10 09:36	22.0	5.0	15	1	0	23/12/10 01:20	23/12/10 12:10	0.0087	1.6	0.07				
164	3.3	30/12/10 08:46	30/12/10 09:50	5.0	5.0	1	0	0									
165	10.3	01/01/11 19:42	01/01/11 20:16	12.5	12.5	11	1	0	01/01/11 19:50	01/01/11 23:00	0.0108	0.3	0.02				
166	24.3	03/01/11 17:33	04/01/11 05:46	24.5	10.0	13	1	0	04/01/11 03:45	04/01/11 06:30	0.0164	0.7	0.03	8			
167	4.0	04/01/11 09:13	04/01/11 09:32	5.0	5.0	3	1	0	04/01/11 09:15	04/01/11 10:30	0.0112	0.2	0.05				
168	21.0	04/01/11 13:01	04/01/11 16:20	14.0	8.5	6	1	0	04/01/11 13:10	04/01/11 17:00	0.0159	0.7	0.05	12			
169	6.5	04/01/11 20:39	04/01/11 21:48	5.5	5.0	0	1	0	04/01/11 21:20	04/01/11 23:00	0.0095	0.5	0.08				
170	22.8	07/01/11 15:17	07/01/11 19:40	23.0	21.5	22	1	1	07/01/11 18:55	07/01/11 20:10	0.0354	0.4	0.02	6	5.39	1.05	151
171	4.0	12/01/11 10:27	12/01/11 14:20	5.0	3.0	1	0	0									
172	6.3	13/01/11 17:40	13/01/11 22:20	6.5	3.0	0	0	0									
173	36.8	14/01/11 09:52	15/01/11 07:09	41.5	7.0	3	1	0	14/01/11 13:54	15/01/11 08:55	0.0072	2.0	0.05	11			
174	16.8	16/01/11 17:41	16/01/11 21:35	16.0	12.0	9	1	1	16/01/11 20:14	16/01/11 22:00	0.0179	0.2	0.01		7.72	4.35	71
175	112.3	17/01/11 08:39	17/01/11 14:35	94.0	40.5	75	1	1	17/01/11 08:59	17/01/11 14:49	1.5742	72.5	0.77	15	7.46	2.74	16059
176	19.8	17/01/11 20:24	18/01/11 07:28	19.0	6.0	6	1	0	17/01/11 22:19	18/01/11 07:24	0.0698	6.4	0.34				
177	24.0	18/01/11 11:17	18/01/11 14:23	27.0	21.0	20	1	1	18/01/11 11:25	18/01/11 15:44	0.3682	10.4	0.38	26	1.16	0.51	164
178	65.8	20/01/11 23:59	21/01/11 21:16	71.0	12.5	30	1	1	21/01/11 00:39	21/01/11 22:19	0.1032	19.0	0.27	23	4.89	0.55	842
179	13.5	23/01/11 17:48	23/01/11 21:07	15.5	9.0	8	1	0	23/01/11 18:39	23/01/11 22:49	0.0099	0.7	0.05				
180	39.3	25/01/11 19:05	26/01/11 12:23	37.5	5.5	10	1	1	25/01/11 19:24	26/01/11 16:30	0.0437	10.1	0.27	12	1.00	0.30	247
181	8.5	27/01/11 15:39	27/01/11 16:05	11.0	11.0	9	1	0	27/01/11 15:49	27/01/11 17:04	0.0087	0.2	0.02				
182	25.8	31/01/11 17:46	31/01/11 22:10	28.0	16.5	22	1	1	31/01/11 19:34	31/01/11 22:44	0.0282	0.9	0.03	6	6.61	3.43	255
183	12.5	02/02/11 22:07	02/02/11 23:14	12.5	12.5	7	1	0	02/02/11 22:19	02/02/11 23:39	0.0154	0.5	0.04				
184	28.5	03/02/11 06:21	03/02/11 10:24	33.0	24.0	25	1	1	03/02/11 06:34	03/02/11 13:24	0.2469	10.6	0.32	11	3.70	1.43	1224
185	6.5	04/02/11 14:10	04/02/11 14:21	4.5	4.5	5	1	0	04/02/11 14:14	04/02/11 15:04	0.0169	0.2	0.04				

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
186	10.8	05/02/11 01:46	05/02/11 03:35	10.5	8.0	8	1	0	05/02/11 03:04	05/02/11 04:14	0.0200	0.4	0.04				
187	11.5	11/02/11 17:49	11/02/11 21:42	15.5	7.5	5	1	0	11/02/11 18:54	11/02/11 23:15	0.0130	0.9	0.06				
188	5.8	12/02/11 00:26	12/02/11 02:51	6.0	5.0	3	1	0	12/02/11 00:24	12/02/11 03:35	0.0130	0.9	0.15				
189	12.8	16/02/11 15:21	16/02/11 20:42	11.5	9.0	8	1	0	16/02/11 19:34	16/02/11 21:44	0.0200	0.3	0.02				
190	16.3	18/02/11 22:25	19/02/11 02:48	17.5	7.0	10	1	0	19/02/11 01:24	19/02/11 03:29	0.0117	0.4	0.02				
191	9.0	19/02/11 07:51	19/02/11 08:13	8.0	8.0	7	1	0	19/02/11 07:49	19/02/11 08:49	0.0154	0.3	0.03				
192	10.8	20/02/11 16:01	20/02/11 18:59	17.5	11.0	13	2	0	20/02/11 17:09	20/02/11 20:29	0.0040	0.3	0.02				
193	11.8	25/02/11 18:44	25/02/11 20:57	15.0	13.0	8	1	0	25/02/11 19:39	25/02/11 21:55	0.0139	0.7	0.05				
194	3.8	27/02/11 19:53	27/02/11 20:29	0.0	0.0	0	2	0	27/02/11 20:19	27/02/11 20:39	0.0103	0.1	0.03				
195	14.0	01/03/11 20:48	01/03/11 23:51	12.5	6.5	7	1	0	01/03/11 20:50	02/03/11 00:30	0.0135	1.0	0.08				
196	54.3	02/03/11 13:00	02/03/11 15:23	49.5	39.5	45	1	1	02/03/11 14:15	02/03/11 19:25	0.3729	16.0	0.32	18	28.36	1.22	1580
197	11.5	03/03/11 09:38	03/03/11 12:56	13.5	7.0	7	1	0	03/03/11 10:05	03/03/11 13:10	0.0149	0.5	0.04				
198	20.0	03/03/11 20:46	03/03/11 23:23	21.0	18.0	17	1	1	03/03/11 20:50	04/03/11 00:20	0.0592	3.0	0.14	23	2.59	0.40	96
199	5.5	06/03/11 15:33	06/03/11 21:08	6.0	2.0	0	2	0									
200	26.8	06/03/11 23:14	07/03/11 05:43	19.5	14.0	12	1	1	07/03/11 01:25	07/03/11 08:15	0.0361	3.5	0.18	11	0.60	0.20	56
201	26.8	07/03/11 09:22	07/03/11 13:54	24.5	7.5	5	1	1	07/03/11 10:05	07/03/11 18:20	0.0897	12.2	0.50	22	1.50	0.15	145
202	26.3	10/03/11 19:49	10/03/11 23:14	20.0	9.0	12	1	0	10/03/11 19:40	11/03/11 00:15	0.0080	0.2	0.01	4			
203	7.5	11/03/11 12:24	11/03/11 13:47	9.0	6.5	5	1	0	11/03/11 13:30	11/03/11 14:50	0.0068	0.1	0.01				
204	19.8	11/03/11 23:46	12/03/11 00:39	15.0	15.0	11	1	1	11/03/11 23:50	12/03/11 01:40	0.1860	5.1	0.34		5.72	0.49	203
205	38.5	12/03/11 03:32	12/03/11 07:38	31.5	14.0	19	1	1	12/03/11 03:50	12/03/11 08:20	0.4468	20.1	0.64	21	1.11	0.32	516
206	8.8	13/03/11 12:59	13/03/11 13:31	4.5	4.5	1	0	0									
207	3.5	14/03/11 17:19	14/03/11 18:57	5.5	3.5	3	0	0									
208	28.5	17/03/11 17:13	17/03/11 18:29	47.0	44.5	44	2	0	17/03/11 17:35	17/03/11 18:45	0.0080	0.1	0.00	5			
209	2.5	19/03/11 04:45	19/03/11 05:02	5.0	5.0	5	2	0									
210	5.0	03/04/11 14:59	03/04/11 20:00	5.5	3.0	1	0	0									
211	30.0	04/04/11 07:48	04/04/11 13:27	33.0	16.0	11	1	0	04/04/11 09:55	04/04/11 14:10	0.0169	1.3	0.04	23			
212	9.5	04/04/11 16:59	04/04/11 21:11	11.0	4.5	0	1	0	04/04/11 17:10	04/04/11 21:50	0.0091	1.0	0.10				
213	6.0	13/04/11 23:41	14/04/11 04:19	5.5	2.5	0	2	0									
214	15.3	14/04/11 08:49	14/04/11 12:27	14.0	9.5	7	1	1	14/04/11 10:20	14/04/11 12:40	0.0161	0.4	0.03		10.96	5.23	134
215	48.8	14/04/11 16:23	14/04/11 22:39	55.0	44.0	47	1	1	14/04/11 19:10	14/04/11 23:40	0.4940	12.6	0.23	23	7.92	1.49	1515
216	61.5	15/04/11 03:13	15/04/11 16:40	58.0	17.5	34	1	1	15/04/11 03:25	15/04/11 19:40	0.3688	30.3	0.52	18	0.62	0.20	428
217	45.5	16/04/11 02:20	16/04/11 08:39	45.5	16.0	22	1	1	16/04/11 03:00	16/04/11 10:15	0.3011	26.2	0.58	19	0.60	0.19	407
218	15.3	16/04/11 15:12	16/04/11 18:25	13.5	11.0	6	1	1	16/04/11 16:20	16/04/11 18:30	0.2514	6.9	0.51		0.40	0.22	120
219	27.3	17/04/11 00:34	17/04/11 01:39	24.0	23.0	20	1	1	17/04/11 00:45	17/04/11 03:15	0.6001	14.8	0.62	14	0.88	0.57	679
220	12.5	17/04/11 14:33	17/04/11 15:38	16.5	15.5	13	1	0	17/04/11 15:30	17/04/11 17:25	0.3140	5.6	0.34				
221	6.5	24/04/11 16:38	24/04/11 17:39	6.5	5.5	4	2	0									
222	25.0	29/04/11 00:10	29/04/11 10:35	26.5	8.0	2	2	0	29/04/11 02:40	29/04/11 11:20	0.0087	1.6	0.06	5			

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
223	107.5	29/04/11 14:18	29/04/11 22:34	113.0	59.0	93	1	1	29/04/11 14:45	29/04/11 22:40	1.3902	62.0	0.55	17	8.34	2.57	12746
224	8.3	04/05/11 17:41	05/05/11 00:14	16.5	9.0	10	0	0									
225	4.5	05/05/11 06:31	05/05/11 08:43	9.0	5.5	3	1	0	05/05/11 07:35	05/05/11 09:20	0.0121	0.4	0.04				
226	6.5	17/05/11 01:25	17/05/11 02:12	6.0	6.0	1	0	0									
227	16.8	17/05/11 22:06	18/05/11 08:47	16.5	8.5	0	1	0	17/05/11 22:50	18/05/11 15:20	0.0091	1.4	0.09				
228	5.5	23/05/11 20:40	23/05/11 23:12	6.0	5.0	4.5	2	0	23/05/11 22:00	24/05/11 00:10	0.0055	0.2	0.03				
229	6.0	24/05/11 13:30	24/05/11 17:00	5.0	3.5	0	2	0	24/05/11 16:30	24/05/11 17:40	0.0064	0.2	0.04				
230	95.0	24/05/11 19:05	25/05/11 10:06	92.0	29.0	51	1	1	24/05/11 21:00	25/05/11 12:35	1.0906	51.8	0.56	16	3.80	1.02	4240
231	10.3	25/05/11 23:50	26/05/11 04:20	10.5	5.0	2.5	1	0	26/05/11 01:55	26/05/11 05:50	0.0217	1.9	0.18				
232	12.3	26/05/11 06:38	26/05/11 09:15	14.5	13.0	9	1	0	26/05/11 06:55	26/05/11 12:00	0.1260	6.2	0.42				
233	9.5	29/05/11 11:21	29/05/11 12:51	9.5	5.0	3	1	0	29/05/11 11:25	29/05/11 14:10	0.0080	0.4	0.04				
234	8.5	29/05/11 21:27	29/05/11 21:57	4.5	4.5	2	1	0	29/05/11 21:45	29/05/11 22:35	0.0080	0.2	0.03				
235	9.3	31/05/11 03:55	31/05/11 04:18	10.5	10.5	9	2	0	31/05/11 03:55	31/05/11 04:45	0.0064	0.2	0.01				
236	4.5	31/05/11 22:11	01/06/11 02:55	4.0	2.5	1	2	0	01/06/11 00:40	01/06/11 05:50	0.0076	0.7	0.17				
237	9.8	16/06/11 14:46	16/06/11 20:05	15.5	9.0	5.5	0	0									
238	4.8	20/07/11 15:57	20/07/11 17:30	7.0	5.5	4.5	0	0									
239	52.8	28/07/11 05:21	29/07/11 14:23	57.0	6.0	0.5	2	0	28/07/11 14:30	29/07/11 17:45	0.0055	3.2	0.06	ND			
240	7.8	10/08/11 13:58	10/08/11 15:19	8.0	7.0	2.5	0	0									
241	103.3	21/08/11 05:53	23/08/11 00:18	104.0	8.0	0.5	1	1	21/08/11 12:10	23/08/11 00:40	0.0533	17.0	0.16	18	0.50	0.17	236
242	21.5	23/08/11 18:19	24/08/11 05:23	21.5	7.0	2	1	1	24/08/11 00:50	24/08/11 12:25	0.0649	6.6	0.31	21	0.50	0.15	82
243	7.5	06/09/11 04:36	06/09/11 09:37	7.5	5.0	1.5	0	0									
244	10.8	10/09/11 21:13	11/09/11 07:58	11.0	2.5	0	0	0									
245	5.0	03/10/11 00:10	03/10/11 01:09	5.0	5.0	0	0	0									
246	7.5	03/10/11 06:38	03/10/11 08:02	6.5	5.5	1	0	0									
247	15.0	28/10/11 21:17	28/10/11 22:56	16.0	14.5	10.5	0	0									
248	2.8	30/10/11 17:19	30/10/11 17:42	5.0	5.0	3.5	0	0									
249	6.3	02/11/11 12:55	02/11/11 17:22	8.0	3.5	0	0	0									
250	5.3	03/11/11 20:16	03/11/11 21:34	3.0	2.0	0	0	0									
251	9.8	03/11/11 23:53	04/11/11 04:53	10.5	4.0	0	0	0									
252	5.0	04/11/11 11:47	04/11/11 14:58	6.5	3.5	0	0	0									
253	5.5	30/11/11 08:11	30/11/11 13:46	6.0	3.0	0	0	0									
254	7.5	03/12/11 20:38	03/12/11 21:23	5.5	5.5	1.5	0	0									
255	67.5	05/12/11 22:35	06/12/11 04:38	72.0	41.5	58.5	1	1	06/12/11 00:20	06/12/11 05:45	0.4191	10.0	0.14	33	9.20	1.50	1209
256	7.5	07/12/11 12:35	07/12/11 15:14	9.5	5.5	3	2	0	07/12/11 13:45	07/12/11 17:35	0.0055	0.3	0.03				
257	21.3	07/12/11 18:30	07/12/11 23:19	16.0	10.5	5.5	1	0	07/12/11 19:00	08/12/11 01:20	0.0139	1.4	0.09	ND			
258	9.5	11/12/11 03:22	11/12/11 06:11	9.0	4.5	4	2	0	11/12/11 03:25	11/12/11 10:50	0.0068	0.7	0.07				
259	12.3	16/12/11 12:00	16/12/11 16:15	11.0	7.5	3	2	0	16/12/11 12:20	16/12/11 20:15	0.0080	1.0	0.09				

Catalogue Poro amont

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
260	21.8	20/12/11 16:55	21/12/11 01:15	21.5	6.5	2	1	0	20/12/11 17:10	21/12/11 02:20	0.0087	1.7	0.08	ND			
261	492.8	24/12/11 13:33	25/12/11 15:14	509.5	115.0	450	1	1	24/12/11 17:20	25/12/11 17:07	3.6523	398.6	0.78	10	8.11	2.79	89695
262	8.0	25/12/11 20:16	25/12/11 20:55	11.0	11.0	9	1	0	25/12/11 20:43	25/12/11 23:52	0.2159	7.0	0.63				
263	10.5	25/12/11 22:37	26/12/11 02:59	11.0	7.5	5.5	1	0	26/12/11 01:22	26/12/11 04:52	0.0942	7.0	0.64				
264	14.0	30/12/11 12:09	30/12/11 15:36	16.0	12.0	5.5	1	0	30/12/11 14:05	30/12/11 23:30	0.0431	7.5	0.47				
265	10.0	31/12/11 13:24	01/01/12 00:49	9.5	2.5	0	1	0	31/12/11 11:50	01/01/12 01:25	0.0189	5.8	0.61				
267	23.5	01/01/12 03:14	02/01/12 02:14	24.0	9.0	0	1	0	01/01/12 09:50	02/01/12 03:30	0.0437	12.9	0.54	ND			
268	9.3	02/01/12 04:04	02/01/12 11:31	10.5	3.0	0.5	1	0	02/01/12 10:25	02/01/12 18:50	0.0319	9.5	0.90				
269	12.3	04/01/12 09:37	04/01/12 13:01	10.0	9.0	3.5	1	0	04/01/12 12:20	04/01/12 13:30	0.0179	0.4	0.04				
270	10.8	04/01/12 16:13	04/01/12 19:45	13.0	7.5	5.5	2	0	04/01/12 16:40	04/01/12 20:10	0.0068	0.5	0.04				
271	8.0	13/01/12 22:09	13/01/12 22:48	6.5	6.5	4	0	0									
272	6.0	14/01/12 01:51	14/01/12 05:12	6.0	3.5	0	2	0	14/01/12 04:45	14/01/12 06:10	0.0068	0.3	0.05				
273	9.5	18/01/12 19:43	18/01/12 23:19	9.0	4.5	4	2	0	18/01/12 23:05	19/01/12 01:05	0.0072	0.2	0.02				
274	11.8	21/01/12 21:03	21/01/12 23:27	11.5	7.5	6.5	1	1	21/01/12 21:10	22/01/12 00:05	0.0206	0.4	0.04		3.00	1.23	47
275	18.5	22/01/12 01:44	22/01/12 04:49	18.0	12.5	9.5	1	0	22/01/12 02:00	22/01/12 05:30	0.0130	0.8	0.04				
276	5.3	22/01/12 22:39	23/01/12 02:09	4.5	3.0	2	2	0	23/01/12 02:00	23/01/12 02:40	0.0064	0.1	0.02				
277	4.8	26/01/12 03:49	26/01/12 07:51	5.5	2.5	1.5	0	0									
278	7.0	26/01/12 22:11	27/01/12 00:27	5.5	3.0	1	2	0	26/01/12 22:25	27/01/12 00:45	0.0103	0.4	0.07				
279	6.3	27/01/12 06:45	27/01/12 11:22	4.5	2.0	0	2	0	27/01/12 06:50	27/01/12 11:50	0.0076	0.7	0.16				
280	3.8	29/01/12 15:54	29/01/12 17:23	2.0	1.0	0	0	0									
281	19.5	06/02/12 20:37	06/02/12 23:35	20.5	12.0	8	2	0	06/02/12 21:25	07/02/12 00:15	0.0068	0.4	0.02	ND			
282	4.5	07/02/12 07:46	07/02/12 11:27	3.5	2.5	0	2	0	07/02/12 10:35	07/02/12 11:15	0.0072	0.1	0.03				
283	10.8	08/02/12 14:12	08/02/12 15:45	6.5	4.0	4	2	0	08/02/12 14:15	08/02/12 16:30	0.0068	0.3	0.04				
284	16.0	09/02/12 11:42	09/02/12 12:11	20.0	20.0	19	1	0	09/02/12 11:55	09/02/12 13:10	0.0130	0.2	0.01				
285	7.8	10/02/12 17:25	10/02/12 18:55	10.0	8.5	7	0	0									
286	44.3	11/02/12 18:14	12/02/12 00:22	53.0	22.0	40	1	1	11/02/12 19:55	12/02/12 01:20	0.1827	5.3	0.10	20	2.13	0.17	309
287	62.8	12/02/12 23:58	13/02/12 08:28	61.0	28.5	36.5	1	1	13/02/12 00:30	13/02/12 10:50	0.4166	29.5	0.48	34	3.00	0.36	868
288	5.8	13/02/12 22:47	14/02/12 02:04	8.0	3.5	1	0	0									
289	11.3	15/02/12 01:02	15/02/12 05:36	12.5	6.0	5.5	1	0	15/02/12 02:00	15/02/12 07:40	0.0126	1.2	0.09				
290	5.5	17/02/12 17:26	17/02/12 21:23	4.0	1.5	0	0	0									
291	6.5	17/02/12 23:35	18/02/12 04:59	6.0	2.0	1	2	0	18/02/12 00:11	18/02/12 07:11	0.0070	0.8	0.14				
292	4.0	19/02/12 00:53	19/02/12 03:19	2.5	1.5	0	2	0	19/02/12 01:43	19/02/12 06:58	0.0078	1.0	0.38				
293	40.5	23/02/12 00:17	23/02/12 04:36	37.5	25.5	32.5	1	1	23/02/12 01:07	23/02/12 05:46	0.0225	1.4	0.04	ND	5.50	1.51	176
294	5.5	24/02/12 03:40	24/02/12 07:05	5.0	2.5	2.5	2	0	24/02/12 03:40	24/02/12 12:25	0.0073	1.9	0.39				
295	36.5	02/03/12 04:01	02/03/12 05:00	34.5	34.5	33.5	1	1	02/03/12 04:01	02/03/12 05:52	0.1323	2.6	0.07	35	4.00	1.69	350
296	51.3	09/03/12 16:00	09/03/12 22:06	66.0	32.5	58	1	1	09/03/12 19:31	10/03/12 00:04	0.5950	21.9	0.33	22	5.00	0.67	1187
297	7.8	10/03/12 18:20	10/03/12 18:41	3.5	3.5	1.5	2	0	10/03/12 18:28	10/03/12 22:19	0.0150	1.3	0.36				

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm/h	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux (kg)
298	27.3	12/03/12 09:35	12/03/12 10:41	27.0	26.0	21.5	1	0	12/03/12 09:37	12/03/12 15:55	0.2404	11.0	0.41	44			
299	10.3	13/03/12 10:05	13/03/12 10:22	10.0	10.0	10	1	0	13/03/12 10:04	13/03/12 10:46	0.0329	0.4	0.04				
300	32.8	13/03/12 14:02	13/03/12 17:39	32.5	17.5	19.5	1	1	13/03/12 14:04	13/03/12 18:30	0.4203	20.7	0.64	9	2.92	0.48	793
301	25.3	15/03/12 09:00	15/03/12 11:31	24.0	14.0	11	1	1	15/03/12 09:05	15/03/12 13:13	0.1555	7.6	0.32	24	7.00	1.62	990
302	13.5	17/03/12 14:57	17/03/12 15:22	17.5	17.5	17.5	1	1	17/03/12 15:04	17/03/12 16:07	0.0263	0.6	0.03		3.20	1.98	89
303	18.0	18/03/12 18:57	18/03/12 20:20	15.5	12.5	11	1	1	18/03/12 19:01	18/03/12 23:13	0.1084	5.3	0.34		2.20	0.31	130
304	40.3	19/03/12 15:03	19/03/12 17:32	42.0	32.0	29.5	1	1	19/03/12 15:10	19/03/12 19:13	0.6084	24.1	0.57	23	9.11	1.35	2612
305	73.8	19/03/12 22:41	20/03/12 13:49	78.0	30.0	46.5	1	1	19/03/12 22:43	20/03/12 16:28	0.6370	60.4	0.77	12	1.00	0.38	1765
306	29.0	22/03/12 15:15	22/03/12 18:26	33	29.0	25.5	1	1	22/03/12 16:28	22/03/12 19:52	0.1045	4.9	0.15	50	0.75	0.15	61
307	6.0	23/03/12 14:42	23/03/12 15:17	8.5	8.5	7	0	0									
308	9.0	25/03/12 11:53	25/03/12 13:53	9	4.5	7	2	0	25/03/12 13:31	25/03/12 15:10	0.0087	0.2	0.02				
309	3.0	26/03/12 16:33	26/03/12 17:19	5.5	5.5	1	0	0									
310	32.3	26/03/12 22:12	27/03/12 00:26	32	29.0	25.5	1	1	26/03/12 22:37	27/03/12 01:46	0.1794	7.8	0.24	27	5.70	0.59	369
311	7.0	27/03/12 16:12	27/03/12 20:02	6.5	3.5	2.5	0	0									
312	11.8	06/04/12 05:06	06/04/12 06:08	19.5	18.5	14.5	1	0	06/04/12 05:07	06/04/12 07:55	0.0130	0.5	0.03				
313	17.3	10/04/12 04:29	10/04/12 14:44	17	4.5	0.5	2	0	10/04/12 07:34	10/04/12 16:49	0.0064	1.4	0.08				
314	35.8	17/04/12 17:15	18/04/12 07:53	36	7.0	15.5	1	0	17/04/12 17:19	18/04/12 08:25	0.0099	2.5	0.07	ND			
315	81.3	18/04/12 11:44	18/04/12 16:31	73	44.0	62	1	1	18/04/12 12:43	18/04/12 17:46	1.1957	46.4	0.64	16	4.00	0.26	9636
316	10.0	18/04/12 18:14	18/04/12 20:49	8	7.0	1	1	1	18/04/12 20:01	18/04/12 22:10	0.1058	4.5	0.56		0.29	0.16	59
317	6.8	19/04/12 04:50	19/04/12 09:21	6.5	4.0	0.5	1	0	19/04/12 04:55	19/04/12 11:25	0.0300	2.3	0.36				
318	6.3	21/04/12 00:48	21/04/12 02:49	6	3.0	2.5	1	0	21/04/12 00:46	21/04/12 03:10	0.0212	0.5	0.08				
319	4.8	03/05/12 22:45	04/05/12 02:20	5.5	2.0	0	1	0	04/05/12 02:15	04/05/12 02:40	0.0108	0.1	0.02				
320	208.5	05/05/12 10:14	06/05/12 12:00	197.5	19.5	80	1	1	05/05/12 17:25	06/05/12 13:52	0.7531	126.4	0.64	13	1.82	0.25	1311
321	9.5	02/06/12 12:51	02/06/12 20:39	8.5	3.5	0.5	0	0									
322	4.8	03/06/12 17:34	03/06/12 18:01	3.5	3.5	1	2	0	03/06/12 17:40	03/06/12 18:22	0.0055	0.1	0.02				
323	39.8	05/06/12 15:18	06/06/12 07:44	43	9.0	8.5	1	0	05/06/12 18:16	06/06/12 09:37	0.0117	2.2	0.05	ND			
324	14.0	06/06/12 16:47	06/06/12 22:45	15.5	5.0	0	2	0									
325	159.0	10/06/12 19:29	11/06/12 20:13	145.5	40.5	89.5	1	1	11/06/12 06:20	12/06/12 02:55	1.3745	95.2	0.65	20	3.60	0.27	5935

Catalogue Poro aval

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
1	4.5	02/01/09 04:40	02/01/09 04:55	5.5	5.5	5.0	0	0									
2	15.3	02/01/09 19:25	02/01/09 19:56	11.0	11.0	10.0	0	0									
3	3.8	05/01/09 19:36	05/01/09 20:18	0.0	0.0	0.0	0	0									
4	21.0	06/01/09 14:33	06/01/09 19:17	18.5	8.0	3.0	0	0						ND			
5	4.5	12/01/09 21:13	12/01/09 23:03	2.0	2.0	1.0	0	0									
6	17.3	13/01/09 11:04	13/01/09 16:41	14.0	6.5	3.5	0	0									
7	8.0	18/01/09 23:25	19/01/09 02:37	9.0	6.0	1.5	0	0									
8	17.8	20/01/09 00:51	20/01/09 05:12	18.5	10.5	8.5	0	0									
9	5.0	20/01/09 20:55	21/01/09 00:18	3.5	1.0	0.0	0	0									
10	14.0	23/01/09 01:06	23/01/09 13:24	10.5	2.5	3.5	0	0									
11	8.0	24/01/09 20:43	25/01/09 00:16	9.0	3.0	3.0	0	0									
12	23.3	25/01/09 20:53	26/01/09 05:55	26.5	12.0	15.0	2	0	25/01/09 19:21	26/01/09 07:21	0.020	1.6	0.06	14			
13	5.3	27/01/09 07:50	27/01/09 10:34	3.5	2.5	2.0	0	0									
14	4.8	29/01/09 00:44	29/01/09 07:15	5.5	3.5	0.5	0	0									
15	269.0	03/02/09 18:31	05/02/09 16:21	287.0	34.5	165	1	1	04/02/09 01:34	05/02/09 22:15	1.433	85.9	0.30	24	4.8	0.8	18585
16	5.3	06/02/09 00:15	06/02/09 02:45	6.5	5.5	2	2	0									
17	25.3	06/02/09 16:08	07/02/09 00:11	28.5	9.5	6	2	0	06/02/09 20:00	07/02/09 01:35	0.084	4.6	0.16	22			
18	7.3	07/02/09 21:22	08/02/09 05:13	6.5	1.5	2	0	0									
19	97.3	08/02/09 06:06	08/02/09 19:42	104.0	43.5	83	1	1	08/02/09 08:45	08/02/09 19:55	2.521	42.5	0.41	29	2.9	1.3	14988
20	10.5	08/02/09 21:14	09/02/09 03:01	12.5	7.0	2	0	0									
21	17.3	09/02/09 06:41	09/02/09 07:21	13.0	13.0	10	1	0	09/02/09 07:04	09/02/09 07:55	0.397	2.6	0.20				
22	25.0	12/02/09 20:02	12/02/09 21:18	47.5	46.0	46	1	1	12/02/09 20:15	12/02/09 22:35	0.444	4.3	0.09	21	0.5	0.3	428
23	118.5	17/02/09 01:14	17/02/09 19:44	131.0	23.0	60	1	1	17/02/09 05:05	17/02/09 20:45	0.824	27.5	0.21	27	0.8	0.4	3503
24	41.5	18/02/09 01:20	18/02/09 08:25	44.5	16.0	30	1	0	18/02/09 03:00	18/02/09 12:30	0.654	16.7	0.38	17			
25	4.5	25/02/09 04:47	25/02/09 05:54	4.0	4.0	1	0	0									
26	4.0	27/02/09 04:36	27/02/09 04:40	1.0	1.0	1	0	0									
27	24.3	27/02/09 07:56	27/02/09 10:24	26.0	22.5	20	1	1	27/02/09 09:10	27/02/09 12:30	0.144	1.8	0.07	16	14.7	5.6	1204
28	15.3	01/03/09 06:56	01/03/09 08:05	18.0	18.0	16	1	1	01/03/09 07:35	01/03/09 19:35	0.203	2.2	0.12		0.3	0.1	88
29	5.5	01/03/09 21:10	01/03/09 21:45	4.5	4.5	3	0	0									
30	16.0	03/03/09 17:34	04/03/09 01:24	18.0	8.0	5	2	0	03/03/09 19:26	04/03/09 01:40	0.048	1.5	0.08				
31	5.0	04/03/09 03:30	04/03/09 04:05	4.5	4.5	2	2	0									
32	8.0	04/03/09 19:54	04/03/09 22:06	7.5	5.0	4	2	0									
33	5.8	05/03/09 20:02	05/03/09 21:19	2.0	2.0	0	2	0									
34	21.0	07/03/09 14:45	07/03/09 21:06	19.5	10.0	6	1	0	07/03/09 17:25	07/03/09 22:05	0.085	1.4	0.07	34			
35	12.0	08/03/09 12:36	08/03/09 16:41	10.0	4.0	1	0	0									
36	23.5	10/03/09 17:04	10/03/09 19:34	15.5	9.0	1	2	1	10/03/09 18:35	10/03/09 20:30	0.040	0.8	0.05	64	0.1	0.0	64
37	9.3	11/03/09 19:32	11/03/09 22:43	15.0	11.5	9	1	0	11/03/09 19:50	12/03/09 01:50	0.086	1.8	0.12				

Catalogue Poro aval

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	Imax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
38	8.3	12/03/09 09:48	12/03/09 16:26	7.5	2.0	1	0	0									
39	12.3	16/03/09 15:24	16/03/09 16:07	12.5	12.5	9	2	0									
40	17.3	20/03/09 15:47	20/03/09 22:17	14.5	4.5	1	2	0									
41	57.8	21/03/09 06:26	21/03/09 19:53	55.5	24.5	25	1	1	21/03/09 11:45	21/03/09 21:45	0.748	21.5	0.39	21	1.1	0.7	2096
42	16.0	22/03/09 09:35	22/03/09 12:41	12.5	8.0	6	1	1	22/03/09 10:45	22/03/09 14:00	0.189	6.2	0.49		0.1	0.1	108
43	198.3	23/03/09 11:18	25/03/09 15:13	198.0	28.0	82	1	0	24/03/09 14:35	25/03/09 19:25	0.984	156.9	0.79	30			
44	0.0				5.0	3		0									
45	15.5	26/03/09 03:41	26/03/09 13:48	14.0	4.5	1	0	0									
46	28.8	27/03/09 20:25	28/03/09 00:02	28.5	13.0	19	2	0	27/03/09 21:50	28/03/09 01:25	0.346	11.8	0.41	11			
47	37.0	29/03/09 19:27	29/03/09 20:27	32.0	32.0	29	1	0	29/03/09 19:50	29/03/09 20:50	1.367	8.7	0.27	15			
48	11.5	30/03/09 19:43	31/03/09 00:25	11.0	6.5	4	0	0									
49	9.5	31/03/09 17:20	31/03/09 18:04	6.0	6.0	3	0	0									
50	28.3	31/03/09 21:06	01/04/09 06:42	26.5	9.0	17	1	0	31/03/09 22:10	01/04/09 06:45	0.283	20.8	0.78	17			
51	6.5	01/04/09 09:55	01/04/09 14:22	6.5	5.0	4	1	0	01/04/09 14:00	01/04/09 15:40	0.324	4.4	0.68				
52	6.0	11/04/09 10:28	11/04/09 17:21	6.0	2.5	0	0	0									
53	4.8	11/04/09 21:32	12/04/09 00:34	3.5	1.5	0	0	0									
54	28.8	12/04/09 04:17	12/04/09 14:29	24.5	8.5	7	2	0	12/04/09 12:24	12/04/09 19:50	0.072	2.9	0.12	20			
55	9.8	12/04/09 20:04	13/04/09 01:17	9.0	4.0	4	0	0									
56	16.3	13/04/09 07:31	13/04/09 13:28	17.0	5.5	9	2	0									
57	9.0	14/04/09 00:09	14/04/09 09:43	8.5	2.5	3	0	0									
58	8.3	15/04/09 04:10	15/04/09 12:25	9.5	5.0	4	2	0									
59	6.0	15/04/09 18:51	15/04/09 21:45	5.5	3.5	1	2	0									
60	56.8	16/04/09 03:18	16/04/09 14:09	56.0	34.5	38	1	1	16/04/09 11:02	16/04/09 15:44	1.254	14.8	0.26	14	1.9	1.0	4379
61	31.5	16/04/09 16:56	17/04/09 02:17	26.5	9.5	9	2	1	16/04/09 19:32	17/04/09 04:19	0.208	15.4	0.58	10	0.1	0.0	124
62	5.0	01/05/09 11:00	01/05/09 13:01	2.5	2.5	0	0	0									
63	3.5	15/05/09 18:30	15/05/09 20:56	2.0	1.0	0	2	0									
64	53.5	16/05/09 16:58	17/05/09 02:17	57.0	26.5	36	1	1	16/05/09 19:54	17/05/09 02:30	0.305	3.2	0.06	15	0.7	0.5	350
65	87.5	21/05/09 02:12	21/05/09 18:56	90.0	30.5	54	1	1	21/05/09 04:20	21/05/09 20:15	0.465	11.6	0.13	15	0.8	0.4	1427
66	108.3	21/05/09 21:10	22/05/09 23:08	104.5	15.0	26	1	0	21/05/09 23:19	23/05/09 01:50	0.447	39.6	0.38	23			
67	21.3	23/05/09 05:39	23/05/09 13:05	20.0	6.5	1	0	0									
68	18.5	11/06/09 11:36	12/06/09 02:48	18.0	3.0	0	0	0									
69	3.0	18/06/09 17:06	18/06/09 17:27	5.5	5.5	4	0	0									
70	9.8	19/06/09 07:21	19/06/09 12:48	9.0	4.0	0	0	0									
71	10.8	20/06/09 17:31	20/06/09 19:14	7.0	6.0	5	2	0	20/06/09 15:30	20/06/09 19:25	0.011	0.3	0.04				
72	7.0	26/06/09 02:24	26/06/09 03:58	6.0	5.0	3	0	0									
73	31.8	27/06/09 19:34	28/06/09 07:09	32.0	12.5	12	1	0	28/06/09 05:20	28/06/09 08:15	0.047	0.7	0.02	29			
74	27.0	08/07/09 07:27	09/07/09 05:56	28.0	3.0	0	0	0									

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
75	26.0	09/07/09 21:09	10/07/09 05:33	24.0	14.0	11	1	0	10/07/09 03:30	10/07/09 07:53	0.084	1.2	0.05	22			
76	12.3	10/07/09 07:14	10/07/09 11:16	11.5	6.5	2	1	0	10/07/09 09:43	10/07/09 14:21	0.024	0.6	0.05				
77	62.3	16/07/09 05:26	17/07/09 02:02	58.5	29.5	31	1	0	16/07/09 11:10	17/07/09 02:50	1.119	7.8	0.13	14			
78	6.0	29/07/09 13:33	29/07/09 16:02	4.0	2.0	1	0	0									
79	19.0	08/08/09 17:10	08/08/09 22:14	21.0	9.0	12	0	0									
80	7.8	27/08/09 17:36	27/08/09 21:46	9.0	4.0	1	0	0									
81	7.3	05/09/09 12:20	05/09/09 14:03	11.5	9.0	8	0	0									
82	7.3	05/09/09 23:17	06/09/09 00:11	12.5	12.5	8	0	0									
83	22.0	10/09/09 14:18	10/09/09 18:11	23.5	14.5	10	1	0	10/09/09 15:45	10/09/09 18:50	0.030	0.2	0.01	23			
84	7.8	11/09/09 02:33	11/09/09 05:18	7.5	6.0	1	0	0									
85	15.3	11/09/09 18:20	12/09/09 00:51	14.0	5.5	1	0	0									
86	5.0	06/10/09 19:37	06/10/09 21:42	7.5	5.5	1	0	0									
87	6.3	08/10/09 16:17	08/10/09 16:32	6.5	6.5	6	0	0									
88	8.0	02/11/09 01:15	02/11/09 04:53	8.0	3.5	0	0	0									
89	8.8	04/11/09 19:47	05/11/09 00:45	9.5	8.5	5	0	0									
90	17.5	16/11/09 15:40	16/11/09 17:07	15.5	13.5	11	0	0									
91	5.3	18/11/09 12:41	18/11/09 12:59	5.0	5.0	4	0	0									
92	8.0	22/11/09 05:31	22/11/09 10:51	8.5	6.0	6	0	0									
93	70.3	02/12/09 04:47	02/12/09 11:32	60.0	31.5	44	1	1	02/12/09 06:20	02/12/09 12:15	0.278	4.4	0.07	35	3.0	1.4	1821
94	11.8	04/12/09 04:49	04/12/09 08:37	14.5	13.0	12	1	0	04/12/09 08:25	04/12/09 09:25	0.018	0.1	0.01				
95	4.5	08/12/09 00:28	08/12/09 02:41	4.0	3.0	1	0	0									
96	4.3	23/12/09 17:44	23/12/09 20:36	3.0	2.0	0	0	0									
97	6.8	01/01/10 20:28	01/01/10 22:33	8.0	5.5	2	1	0	01/01/10 20:30	02/01/10 00:05	0.024	0.7	0.08				
98	10.3	03/01/10 21:30	04/01/10 02:34	7.5	5.0	3	1	0	03/01/10 22:05	04/01/10 03:10	0.026	0.7	0.10				
99	4.0	04/01/10 06:54	04/01/10 08:38	2.5	1.5	2	1	0	04/01/10 06:55	04/01/10 13:35	0.042	0.8	0.31				
100	7.0	09/01/10 11:27	09/01/10 22:47	6.5	1.0	0	1	0	09/01/10 19:15	09/01/10 23:40	0.017	0.8	0.12				
101	7.8	11/01/10 09:01	11/01/10 21:40	8.0	1.5	0	1	0	11/01/10 11:15	11/01/10 21:40	0.026	2.3	0.29				
102	13.5	19/01/10 15:49	19/01/10 16:35	13.5	13.0	11	1	0	19/01/10 16:00	19/01/10 16:50	0.028	0.2	0.01				
103	16.3	21/01/10 11:52	21/01/10 18:23	12.0	4.5	0	1	0	21/01/10 12:10	21/01/10 18:50	0.017	0.9	0.07				
104	5.0	30/01/10 16:22	30/01/10 17:26	6.5	6.0	1	0	0									
105	4.8	05/02/10 20:49	05/02/10 23:08	5.5	4.0	3	0	0									
106	9.5	07/02/10 14:01	07/02/10 15:50	9.5	8.0	7	0	0									
107	11.3	07/02/10 18:42	08/02/10 00:32	15.5	6.5	6	0	0									
108	5.5	08/02/10 10:23	08/02/10 14:45	6.0	2.5	0	0	0									
109	20.5	08/02/10 16:47	08/02/10 20:15	21.0	15.0	11	1	0	08/02/10 19:49	08/02/10 21:50	0.009	0.2	0.01	35			
110	3.5	09/02/10 01:54	09/02/10 02:18	2.0	2.0	1	0	0									
111	30.3	11/02/10 00:52	11/02/10 10:53	32.0	8.5	11	1	0	11/02/10 06:30	11/02/10 11:37	0.014	0.4	0.01	31			

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	Imax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
112	4.3	14/02/10 01:02	14/02/10 04:02	3.0	1.5	1	0	0									
113	41.8	27/02/10 03:52	27/02/10 16:47	42.0	20.0	24	1	1	27/02/10 09:50	27/02/10 12:00	0.107	0.6	0.01	20	0.2	0.1	22
114	9.5	26/03/10 08:55	26/03/10 11:00	13.0	8.5	6	0	0									
115	13.0	29/03/10 23:51	30/03/10 03:54	13.0	11.5	10	0	0									
116	5.0	30/03/10 04:45	30/03/10 08:42	6.5	4.5	3	0	0									
117	8.3	04/04/10 18:10	04/04/10 19:08	6.0	6.0	3	0	0									
118	6.3	05/04/10 17:14	05/04/10 22:21	7.5	3.0	0	0	0									
119	7.8	06/04/10 18:24	06/04/10 23:57	0.0	0.0	0	0	0									
120	23.3	15/04/10 16:30	15/04/10 17:09	23.0	23.0	22	1	0	15/04/10 17:25	15/04/10 18:15	0.012	0.1	0.002	30			
121	9.8	17/04/10 07:37	17/04/10 10:10	11.0	7.5	1	0	0									
122	33.8	03/05/10 18:37	04/05/10 06:44	33.5	20.0	18	1	0	04/05/10 01:00	04/05/10 11:25	0.009	0.3	0.008	62			
123	69.5	06/05/10 06:28	07/05/10 02:48	71.0	43.5	49	1	1	07/05/10 02:00	07/05/10 05:50	1.093	7.8	0.11	18	14.4	3.2	7494
124	8.3	19/05/10 01:52	19/05/10 10:47	8.5	2.5	0	0	0									
125	6.3	20/05/10 19:38	20/05/10 21:24	6.5	3.0	0	0	0									
126	145.0	22/05/10 14:12	23/05/10 08:54	149.0	34.0	94	1	1	22/05/10 20:05	23/05/10 11:20	0.804	30.7	0.21	16	1.6	0.7	5586
127	60.0	01/06/10 04:23	01/06/10 16:57	62.0	33.5	31	1	0	01/06/10 09:10	01/06/10 18:30	0.937	5.9	0.10	18			
128	10.0	04/06/10 19:13	05/06/10 03:38	9.5	2.5	0	0	0									
129	9.8	05/06/10 17:41	05/06/10 18:35	7.0	7.0	3	1	0	05/06/10 18:15	05/06/10 21:15	0.034	0.3	0.05				
130	6.3	16/06/10 14:08	16/06/10 17:14	6.5	3.0	0	0	0									
131	7.5	17/06/10 00:52	17/06/10 08:33	7.5	2.5	0	0	0									
132	9.5	21/06/10 22:51	22/06/10 00:22	10.0	8.5	4	0	0									
133	4.0	20/07/10 13:45	20/07/10 15:10	5.0	4.0	0	0	0									
134	4.0	02/08/10 06:01	02/08/10 07:54	2.5	1.0	0	0	0									
135	10.8	06/08/10 05:43	06/08/10 16:25	10.0	3.0	0	0	0									
136	3.3	07/08/10 14:38	07/08/10 14:47	1.5	1.5	0	0	0									
137	169.0	13/08/10 03:38	13/08/10 23:59	162.0	45.0	107	1	0	13/08/10 05:05	14/08/10 01:35	1.022	20.6	0.13	21			
138	5.8	01/10/10 04:34	01/10/10 07:56	5.5	2.0	0	0	0									
139	8.5	07/10/10 03:07	07/10/10 07:45	10.0	3.5	1	0	0									
140	31.0	17/10/10 23:11	18/10/10 02:01	34.5	17.5	21	0	0									
141	20.0	18/10/10 14:13	18/10/10 21:42	20.5	7.5	9	0	0						ND			
142	23.5	19/10/10 15:52	20/10/10 01:51	20.5	7.5	1	0	0									
143	14.8	24/10/10 03:25	24/10/10 11:27	14.0	5.0	2	0	0									
144	9.8	24/10/10 13:55	25/10/10 01:39	12.0	1.5	0	0	0									
145	11.0	25/10/10 23:43	26/10/10 01:39	10.5	7.5	5	0	0									
146	6.5	30/10/10 05:48	30/10/10 07:19	10.5	8.5	6	0	0									
147	9.8	30/10/10 21:03	31/10/10 00:29	11.0	8.0	5	0	0									
148	6.0	01/11/10 22:53	02/11/10 00:24	9.0	7.5	4	0	0									

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	Imax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
149	69.8	04/11/10 22:26	05/11/10 08:20	70.5	18.5	42	1	0	05/11/10 03:05	05/11/10 10:38	0.185	5.2	0.07	28			
150	13.5	05/11/10 16:20	05/11/10 19:31	18.0	16.0	11	1	0	05/11/10 16:55	05/11/10 21:32	0.074	0.9	0.05				
151	7.3	06/11/10 02:19	06/11/10 04:50	6.0	2.5	0	0	0									
152	15.0	07/11/10 09:08	07/11/10 11:15	12.0	6.5	7	1	0	07/11/10 10:52	07/11/10 13:37	0.011	0.2	0.01				
153	7.3	11/11/10 21:49	12/11/10 00:14	7.0	6.0	4	2	0									
154	4.5	12/11/10 15:53	12/11/10 16:13	8.0	8.0	7	0	0									
155	9.8	12/11/10 19:39	12/11/10 22:01	10.5	9.0	5	2	0	12/11/10 20:02	13/11/10 04:32	0.020	0.6	0.06				
156	4.8	15/11/10 09:55	15/11/10 16:37	3.5	1.0	0	0	0									
157	26.3	08/12/10 17:58	08/12/10 19:58	30.5	26.0	24	1	0	08/12/10 19:02	08/12/10 20:08	0.248	1.0	0.03	8			
158	10.0	11/12/10 20:49	11/12/10 22:37	8.0	6.5	2	0	0									
159	11.5	12/12/10 01:10	12/12/10 05:24	9.0	5.0	0	0	0									
160	10.8	14/12/10 20:35	14/12/10 22:25	13.0	10.0	5	0	0									
161	13.3	16/12/10 04:27	16/12/10 05:46	16.5	15.5	13	1	0	16/12/10 04:37	16/12/10 09:58	0.023	0.4	0.02				
162	6.3	18/12/10 22:34	18/12/10 23:47	6.5	4.5	4	0	0									
163	15.8	23/12/10 02:21	23/12/10 10:04	9.5	2.5	2	0	0									
164	3.3	30/12/10 08:54	30/12/10 09:46	1.5	1.5	0	0	0									
165	10.3	01/01/11 19:40	01/01/11 20:14	8.0	8.0	6	0	0									
166	24.3	03/01/11 18:18	04/01/11 05:39	24.0	12.5	11	1	0	04/01/11 04:56	04/01/11 06:12	0.022	0.3	0.01	10			
167	4.0	04/01/11 09:18	04/01/11 09:26	3.0	3.0	2	0	0									
168	21.0	04/01/11 10:09	04/01/11 16:20	28.0	13.5	17	1	0	04/01/11 13:13	04/01/11 18:27	0.032	0.8	0.03	17			
169	6.5	04/01/11 21:06	04/01/11 21:48	7.5	7.5	4	0	0									
170	22.8	07/01/11 18:53	07/01/11 19:44	22.5	22.0	21	1	1	07/01/11 18:57	07/01/11 22:25	0.317	4.6	0.20	15	0.7	0.5	132
171	4.0	12/01/11 09:20	12/01/11 12:35	3.0	2.0	2	0	0									
172	6.3	13/01/11 17:47	13/01/11 22:14	6.0	3.0	0	2	0	13/01/11 21:39	13/01/11 21:50	0.014	0.0	0.00				
173	36.8	14/01/11 09:30	15/01/11 07:11	32.0	6.5	3	1	0	14/01/11 16:28	15/01/11 10:05	0.024	3.3	0.10	21			
174	16.8	16/01/11 17:17	16/01/11 21:35	17.5	16.0	12	1	1	16/01/11 20:10	16/01/11 22:05	0.067	0.6	0.04		0.2	0.1	15
175	112.3	17/01/11 08:39	17/01/11 13:54	130.5	61.0	116	1	1	17/01/11 09:05	17/01/11 15:50	1.883	35.4	0.27	12	2.8	1.8	16984
176	19.8	17/01/11 18:44	18/01/11 04:39	20.5	7.0	8	1	0	17/01/11 22:15	18/01/11 08:00	0.133	7.1	0.35				
177	24.0	18/01/11 11:26	18/01/11 14:22	21.0	17.5	17	1	1	18/01/11 13:15	18/01/11 18:35	0.315	6.5	0.31	29	0.7	0.3	454
178	65.8	21/01/11 00:30	21/01/11 21:05	60.5	12.0	25	1	1	21/01/11 01:30	21/01/11 23:50	0.115	11.4	0.19	24	1.7	0.4	1103
179	13.5	23/01/11 18:57	23/01/11 21:32	11.5	7.5	3	1	0	23/01/11 20:25	23/01/11 22:05	0.046	0.7	0.06				
180	39.3	25/01/11 16:40	26/01/11 12:17	41.0	5.5	10	1	0	25/01/11 19:35	26/01/11 15:35	0.064	6.5	0.16	23			
181	8.5	27/01/11 15:47	27/01/11 16:15	6.0	6.0	3	1	0	27/01/11 16:00	27/01/11 17:10	0.031	0.4	0.06				
182	25.8	31/01/11 17:05	31/01/11 22:07	23.5	16.0	19	1	1	31/01/11 21:10	31/01/11 23:50	0.222	1.7	0.07	15	0.5	0.3	122
183	12.5	02/02/11 22:05	02/02/11 23:19	12.5	11.5	8	1	0	02/02/11 22:25	03/02/11 00:25	0.052	0.6	0.04				
184	28.5	03/02/11 06:29	03/02/11 10:32	24.0	17.0	18	1	1	03/02/11 06:35	03/02/11 15:10	0.157	4.1	0.17	7	0.4	0.1	154
185	6.5	04/02/11 14:12	04/02/11 14:23	8.5	8.5	8	1	0	04/02/11 14:15	04/02/11 15:45	0.029	0.4	0.04				

Catalogue Poro aval

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
186	10.8	04/02/11 22:58	05/02/11 04:00	11.0	7.5	7	1	0	05/02/11 03:05	05/02/11 05:05	0.052	0.5	0.05				
187	11.5	11/02/11 17:32	11/02/11 22:07	7.5	4.5	2	1	0	11/02/11 19:00	11/02/11 22:50	0.005	0.1	0.01				
188	5.8	12/02/11 00:15	12/02/11 01:45	5.5	3.0	1	1	0	12/02/11 00:20	12/02/11 03:00	0.004	0.1	0.01				
189	12.8	16/02/11 16:39	16/02/11 20:52	14.0	10.0	10	1	0	16/02/11 19:35	16/02/11 21:55	0.074	0.3	0.02				
190	16.3	18/02/11 22:20	19/02/11 02:47	15.0	6.5	9	1	0	19/02/11 01:20	19/02/11 04:15	0.019	0.2	0.02				
191	9.0	19/02/11 04:12	19/02/11 08:18	10.0	9.0	9	1	0	19/02/11 07:55	19/02/11 12:00	0.066	0.7	0.07				
192	10.8	20/02/11 17:10	20/02/11 19:06	4.0	2.5	2	0	0									
193	11.8	25/02/11 19:05	25/02/11 20:11	8.5	8.5	3	1	0	25/02/11 20:00	25/02/11 21:15	0.010	0.1	0.01				
194	3.8	27/02/11 19:53	27/02/11 20:29	7.5	7.5	5	1	0	27/02/11 20:20	27/02/11 21:10	0.009	0.0	0.01				
195	14.0	01/03/11 19:34	02/03/11 00:00	15.5	8.5	6	2	0	01/03/11 23:55	02/03/11 00:35	0.002	0.0	0.00				
196	54.3	02/03/11 13:18	02/03/11 15:25	59.0	49.0	54	1	1	02/03/11 14:10	02/03/11 19:10	0.797	8.3	0.14	18	3.5	2.8	6244
197	11.5	03/03/11 09:37	03/03/11 12:38	9.5	7.0	5	1	0	03/03/11 10:05	03/03/11 15:14	0.016	0.3	0.03				
198	20.0	03/03/11 20:40	03/03/11 23:04	19.0	16.5	16	1	1	03/03/11 20:40	04/03/11 01:55	0.082	1.4	0.07	23	0.2	0.1	30
199	5.5	06/03/11 18:03	06/03/11 20:54	5.0	2.0	0	0	0									
200	26.8	06/03/11 23:28	07/03/11 06:19	34.0	17.5	19	1	1	07/03/11 01:46	07/03/11 07:11	0.160	2.8	0.08	17	0.2	0.1	67
201	26.8	07/03/11 09:18	07/03/11 13:55	29.0	9.5	7	1	1	07/03/11 10:16	07/03/11 16:01	0.102	3.9	0.13	17	0.1	0.1	102
202	26.3	10/03/11 19:37	10/03/11 23:12	32.5	17.0	23	1	1	10/03/11 19:51	11/03/11 03:01	0.225	2.8	0.09	27	0.5	0.2	151
203	7.5	11/03/11 12:16	11/03/11 13:47	6.0	4.5	3	1	0	11/03/11 13:31	11/03/11 16:01	0.024	0.4	0.07				
204	19.8	11/03/11 23:42	12/03/11 00:34	24.5	24.5	21	1	1	11/03/11 23:46	12/03/11 01:36	0.316	3.0	0.12		1.8	1.1	904
205	38.5	12/03/11 03:26	12/03/11 07:36	45.5	24.5	34	1	1	12/03/11 03:46	12/03/11 09:36	0.681	9.2	0.20	21	0.7	0.3	728
206	8.8	13/03/11 12:59	13/03/11 13:28	13.0	13.0	12	1	0	13/03/11 12:51	13/03/11 14:36	0.074	0.6	0.05				
207	3.5	14/03/11 16:36	14/03/11 18:46	1.5	0.5	0	0	0									
208	28.5	17/03/11 17:23	17/03/11 18:41	10.0	8.0	3	1	0	17/03/11 17:56	17/03/11 20:01	0.070	0.6	0.06	41			
209	2.5	19/03/11 04:45	19/03/11 05:02	0.0	0.0	0	0	0									
210	5.0	03/04/11 16:24	03/04/11 18:35	4.5	3.5	0	0	0									
211	30.0	04/04/11 06:49	04/04/11 13:43	27.0	12.0	4	1	0	04/04/11 10:56	04/04/11 13:51	0.020	0.2	0.01	32			
212	9.5	04/04/11 16:55	04/04/11 21:23	8.0	2.5	1	0	0									
213	6.0	13/04/11 22:19	14/04/11 06:08	6.5	3.0	0	0	0									
214	15.3	14/04/11 08:59	14/04/11 11:02	16.5	12.5	11	2	0	14/04/11 16:15	14/04/11 16:41	0.009	0.0	0.00				
215	48.8	14/04/11 18:42	14/04/11 23:38	42.5	34.5	37	1	1	14/04/11 19:21	15/04/11 02:36	1.099	6.9	0.16	21	6.2	4.8	7910
216	61.5	15/04/11 03:16	15/04/11 20:27	65.0	15.0	33	1	1	15/04/11 03:31	15/04/11 19:46	0.344	8.0	0.12	24	0.7	0.3	515
217	45.5	15/04/11 20:27	16/04/11 08:49	45.5	14.0	19	1	1	16/04/11 04:01	16/04/11 10:11	0.332	9.2	0.20	37	0.3	0.2	429
218	15.3	16/04/11 15:11	16/04/11 16:49	17.0	14.5	13	1	1	16/04/11 16:21	16/04/11 17:56	0.347	3.0	0.18		0.2	0.1	100
219	27.3	17/04/11 00:25	17/04/11 01:43	30.5	29.0	28	1	1	17/04/11 00:41	17/04/11 03:01	0.697	6.0	0.20	16	0.6	0.3	531
220	12.5	17/04/11 15:00	17/04/11 16:08	8.5	7.5	7	1	0	17/04/11 15:36	17/04/11 16:51	0.306	1.8	0.21				
221	6.5	24/04/11 16:43	24/04/11 17:09	6.5	6.5	6	0	0									
222	25.0	29/04/11 02:11	29/04/11 10:46	23.5	6.5	1	0	0									

Catalogue Poro aval

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	Imax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
223	107.5	29/04/11 14:43	29/04/11 22:37	102.0	49.0	84	1	1	29/04/11 17:32	29/04/11 23:52	2.160	26.7	0.26	13	7.3	3.4	24537
224	8.3	04/05/11 17:41	05/05/11 00:14	0.0	0.0	0	1	0	04/05/11 19:32	05/05/11 01:27	0.014	0.7	0.00				
225	4.5	05/05/11 06:31	05/05/11 08:43	0.0	0.0	0	1	0	05/05/11 08:12	05/05/11 10:32	0.027	0.4	0.00				
226	6.5	17/05/11 01:23	17/05/11 02:51	7.0	6.0	2	0	0									
227	16.8	17/05/11 21:58	18/05/11 08:50	17.0	9.0	3	1	0	17/05/11 23:06	18/05/11 15:42	0.013	0.9	0.05				
228	5.5	23/05/11 20:45	23/05/11 23:11	5.0	4.0	4	0	0									
229	6.0	24/05/11 14:03	24/05/11 17:01	7.0	5.5	3	0	0									
230	95.0	24/05/11 19:07	25/05/11 09:57	98.0	39.5	61	1	0	24/05/11 21:17	25/05/11 12:52	1.317	19.8	0.20	18			
231	10.3	25/05/11 23:56	26/05/11 04:37	10.0	4.5	3	2	0	26/05/11 01:42								
232	12.3	26/05/11 06:40	26/05/11 07:43	10.0	10.0	5	1	0	26/05/11 07:02	26/05/11 11:27	0.101	2.6	0.26				
233	9.5	29/05/11 11:20	29/05/11 12:55	9.5	6.0	5	2	0	29/05/11 11:22	29/05/11 15:02	0.017	0.6	0.06				
234	8.5	29/05/11 19:17	29/05/11 22:02	12.5	10.5	8	1	0	29/05/11 21:32	30/05/11 00:12	0.031	0.6	0.04				
235	9.3	31/05/11 03:48	31/05/11 04:53	8.0	7.0	6	1	0	31/05/11 03:52	31/05/11 05:17	0.023	0.3	0.03				
236	4.5	31/05/11 21:43	01/06/11 03:14	5.0	2.0	0	0	0									
237	9.8	16/06/11 16:08	16/06/11 20:01	4.0	2.0	0	0	0									
238	4.8	20/07/11 14:11	20/07/11 17:17	2.5	1.5	0	0	0									
239	52.8	28/07/11 05:21	29/07/11 14:20	48.5	5.5	0	0	0						ND			
240	7.8	10/08/11 13:59	10/08/11 14:58	7.5	7.5	1	0	0									
241	103.3	21/08/11 05:46	23/08/11 00:25	102.5	8.5	0	1	0	21/08/11 22:40	22/08/11 23:25	0.063	2.6	0.03	42			
242	21.5	23/08/11 18:42	24/08/11 04:23	21.5	8.0	3	1	0	24/08/11 00:50	24/08/11 12:15	0.025	1.0	0.05	55			
243	7.5	06/09/11 03:52	06/09/11 08:54	7.5	4.5	1	0	0									
244	10.8	10/09/11 20:40	11/09/11 08:42	10.5	3.0	0	0	0									
245	5.0	02/10/11 23:40	03/10/11 01:06	5.00	5.0	1	0	0									
246	7.5	03/10/11 06:21	03/10/11 08:37	8.5	7.0	2	0	0									
247	15.0	28/10/11 20:44	28/10/11 22:28	14.0	11.0	10	0	0									
248	2.8	30/10/11 16:29	30/10/11 17:29	0.5	0.5	0	0	0									
249	6.3	02/11/11 13:07	02/11/11 17:25	4.5	2.0	0	0	0									
250	5.3	03/11/11 19:55	03/11/11 20:23	7.5	7.5	6	0	0									
251	9.8	03/11/11 23:36	04/11/11 04:41	9.0	3.5	0	0	0									
252	5.0	04/11/11 13:21	04/11/11 15:00	3.5	2.5	0	0	0									
253	5.5	30/11/11 08:40	30/11/11 13:46	5.0	3.0	0	0	0									
254	7.5	03/12/11 20:56	03/12/11 21:19	9.5	9.5	9	0	0									
255	67.5	05/12/11 22:34	06/12/11 04:43	63.0	38.0	46	1	1	06/12/11 00:50	06/12/11 06:35	0.798	5.8	0.09	31	5.4	3.8	6076
256	7.5	07/12/11 13:37	07/12/11 16:14	5.5	2.0	1	0	0									
257	21.3	07/12/11 18:51	08/12/11 00:45	26.5	14.5	11	1	1	07/12/11 20:20	08/12/11 04:14	0.206	2.6	0.10	34	0.6	0.3	202
258	9.5	11/12/11 03:01	11/12/11 06:09	10.0	4.5	2	2	0	11/12/11 03:17	11/12/11 09:11	0.011	0.4	0.04				
259	12.3	16/12/11 12:00	16/12/11 17:18	13.5	6.5	4	2	0	16/12/11 11:05	16/12/11 18:32	0.009	0.3	0.03				

Catalogue Poro aval

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
260	21.8	20/12/11 16:56	21/12/11 01:07	22.0	7.5	0	1	0	20/12/11 17:05	21/12/11 02:47	0.012	0.5	0.02	ND			
261	492.8	24/12/11 12:50	25/12/11 15:13	476.0	115.5	417	1	1	24/12/11 15:50	25/12/11 19:17	9.240	268.5	0.56	17	21.5	6.2	453087
262	8.0	25/12/11 20:19	25/12/11 20:58	5.0	5.0	4	1	0	25/12/11 20:41	25/12/11 23:05	0.259	4.8	0.96				
263	10.5	25/12/11 22:08	26/12/11 03:02	10.0	6.0	4	1	0	26/12/11 01:44	26/12/11 04:56	0.178	5.6	0.56				
264	14.0	30/12/11 13:39	30/12/11 15:28	12.0	10.0	4	2	0	30/12/11 14:05	30/12/11 17:20	0.024	0.8	0.07				
265	10.0	31/12/11 14:10	01/01/12 00:42	10.5	3.5	0	0	0									
267	23.5	01/01/12 04:14	02/01/12 01:44	23.0	6.5	0	1	0	01/01/12 21:38	02/01/12 02:02	0.029	1.2	0.05	39			
268	9.3	02/01/12 04:10	02/01/12 11:28	8.0	3.0	0	0	0									
269	12.3	04/01/12 11:21	04/01/12 13:05	14.5	14.5	11	1	0	04/01/12 12:23	04/01/12 13:53	0.151	1.3	0.09				
270	10.8	04/01/12 16:37	04/01/12 20:15	8.5	6.0	3	1	0	04/01/12 16:38	04/01/12 20:53	0.063	1.4	0.17				
271	8.0	13/01/12 21:53	13/01/12 22:43	9.5	9.5	5	2	0	13/01/12 22:11	14/01/12 00:38	0.008	0.2	0.02				
272	6.0	14/01/12 01:29	14/01/12 05:17	6.0	2.0	0	0	0									
273	9.5	18/01/12 19:44	19/01/12 01:25	10.0	5.0	5	0	0									
274	11.8	21/01/12 21:02	21/01/12 22:13	12.0	11.0	8	0	0									
275	18.5	22/01/12 01:42	22/01/12 04:53	19.0	10.0	8	2	0	22/01/12 03:23	22/01/12 06:17	0.012	0.3	0.02				
276	5.3	22/01/12 22:36	23/01/12 02:18	6.0	3.0	3	0	0									
277	4.8	26/01/12 04:50	26/01/12 07:50	4.0	1.0	2	0	0									
278	7.0	26/01/12 22:14	27/01/12 02:03	8.5	3.5	2	0	0									
279	6.3	27/01/12 06:42	27/01/12 11:23	8.0	6.0	2	0	0									
280	3.8	29/01/12 13:51	29/01/12 17:31	5.5	3.0	1	0	0									
281	19.5	06/02/12 20:40	07/02/12 01:21	18.5	9.0	5	0	0						ND			
282	4.5	07/02/12 10:37	07/02/12 11:05	5.5	5.5	4	0	0									
283	10.8	08/02/12 12:18	08/02/12 15:56	15.0	7.0	10	0	0									
284	16.0	09/02/12 11:59	09/02/12 12:26	12.0	12.0	10	1	0	09/02/12 11:59	09/02/12 15:35	0.017	0.4	0.03				
285	7.8	10/02/12 17:32	10/02/12 18:51	5.5	4.5	1	0	0									
286	44.3	11/02/12 18:56	12/02/12 00:21	35.5	11.5	21	1	1	11/02/12 20:20	12/02/12 01:17	0.141	1.8	0.05	47	0.2	0.1	42
287	62.8	12/02/12 20:50	13/02/12 08:27	64.5	27.0	37	1	1	13/02/12 01:53	13/02/12 09:32	0.697	12.8	0.20	17	3.1	0.8	2934
288	5.8	13/02/12 22:32	14/02/12 01:43	3.5	1.5	0	0	0									
289	11.3	15/02/12 01:40	15/02/12 06:12	10.0	4.5	3	1	0	15/02/12 02:59	15/02/12 07:02	0.044	1.5	0.15				
290	5.5	17/02/12 17:28	17/02/12 21:16	7.0	3.5	4	0	0									
291	6.5	18/02/12 00:15	18/02/12 05:02	7.0	2.0	0	0	0									
292	4.0	19/02/12 01:39	19/02/12 03:10	5.5	3.5	1	0	0									
293	40.5	22/02/12 22:52	23/02/12 04:27	43.5	25.5	37	1	1	23/02/12 01:05	23/02/12 05:47	0.193	3.8	0.09	27	0.4	0.1	134
294	5.5	24/02/12 03:39	24/02/12 07:06	6.0	4.5	4	0	0									
295	36.5	02/03/12 03:59	02/03/12 04:56	38.5	38.5	38	1	1	02/03/12 04:02	02/03/12 06:05	0.363	3.5	0.09	20	3.0	1.2	1098
296	51.3	09/03/12 19:24	09/03/12 22:10	36.5	21.5	25	1	1	09/03/12 19:41	09/03/12 23:05	0.267	3.0	0.08	23	1.0	0.3	278
297	7.8	10/03/12 18:24	10/03/12 18:50	12.0	12.0	11	2	0	10/03/12 18:26	10/03/12 19:41	0.018	0.2	0.02				

Catalogue Poro aval

N°	pluie moy mm	Début averse	Fin averse	Pluie en mm	lmax60 mm	htot15 mm	R	P	Début ruiss	Fin crue	Qmax m ³ /s	Lr	CE	Tc graph en min	Cmax en g/l	Cmoy en g/l	Flux kg
298	27.3	12/03/12 09:40	12/03/12 10:31	27.5	27.5	26	1	1	12/03/12 09:41	12/03/12 11:59	0.329	3.6	0.13	36	0.8	0.4	381
299	10.3	13/03/12 10:03	13/03/12 10:21	10.5	10.5	10	1	1	13/03/12 09:59	13/03/12 11:02	0.118	0.7	0.07		0.1	0.1	13
300	32.8	13/03/12 14:01	13/03/12 17:34	33.0	13.5	22	1	1	13/03/12 14:02	13/03/12 20:53	0.660	11.0	0.33	25	0.1	0.3	779
301	25.3	15/03/12 08:55	15/03/12 11:32	26.5	14.5	16	1	1	15/03/12 09:08	15/03/12 15:17	0.210	6.1	0.23	38	0.2	0.0	55
302	13.5	17/03/12 15:07	17/03/12 15:31	9.5	9.5	8	1	0	17/03/12 15:08	17/03/12 16:32	0.144	1.0	0.11				
303	18.0	18/03/12 19:02	18/03/12 20:39	20.5	14.5	18	1	0	18/03/12 19:02	18/03/12 21:59	0.463	3.4	0.17				
304	40.3	19/03/12 15:15	19/03/12 17:47	38.5	27.5	30	1	0	19/03/12 15:14	19/03/12 18:53	0.725	8.8	0.23	17			
305	73.8	19/03/12 22:38	20/03/12 10:29	69.5	26.5	46	1	1	19/03/12 22:35	20/03/12 11:50	0.819	40.2	0.58	25	0.3	0.1	1422
306	29.0	22/03/12 16:18	22/03/12 18:36	25.0	21.0	17	1	0	22/03/12 16:20	22/03/12 21:30	0.230	4.8	0.19	26			
307	6.0	23/03/12 15:06	23/03/12 15:15	3.5	3.5	4	0	0									
308	9.0	25/03/12 12:05	25/03/12 14:03	9.0	7.0	7	2	0	25/03/12 13:30	25/03/12 15:10	0.024	0.4	0.05				
309	3.0	26/03/12 15:35	26/03/12 16:35	0.5	0.5	0	0	0									
310	32.3	26/03/12 22:32	27/03/12 00:30	32.5	29.5	26	1	0	26/03/12 22:40	27/03/12 00:50	0.363	3.7	0.12	23			
311	7.0	27/03/12 16:10	27/03/12 21:54	7.5	3.0	3	0	0									
312	11.8	06/04/12 05:12	06/04/12 07:59	4.0	3.0	0	0	0									
313	17.3	10/04/12 04:48	10/04/12 14:48	17.5	3.5	0	0	0									
314	35.8	17/04/12 17:16	18/04/12 07:33	35.5	9.0	13	0	0						ND			
315	81.3	18/04/12 12:36	18/04/12 16:35	89.5	67.5	78	1	1	18/04/12 13:15	18/04/12 17:42	1.854	20.6	0.23	12	5.8	3.7	20653
316	10.0	18/04/12 19:42	18/04/12 21:08	12.0	11.0	7.0	1	1	18/04/12 20:12	18/04/12 22:21	0.230	3.3	0.27		0.96	0.68	599
317	6.8	19/04/12 04:49	19/04/12 09:22	7.0	4.5	1.5	2	0	19/04/12 04:36	19/04/12 10:42	0.063	2.7	0.39				
318	6.3	20/04/12 23:03	21/04/12 02:52	6.5	5.5	4.5	1	0	21/04/12 02:39	21/04/12 03:39	0.121	0.7	0.11				
319	4.8	03/05/12 22:01	04/05/12 02:32	4.0	3.0	0.5	0	0									
320	208.5	05/05/12 10:16	06/05/12 14:04	219.5	28.5	96.5	1	1	05/05/12 17:18	06/05/12 15:55	1.104	85.6	0.39	13	1.6	0.40	9055
321	9.5	02/06/12 12:45	02/06/12 20:40	10.5	4.5	3.0	0	0									
322	4.8	03/06/12 17:14	03/06/12 18:03	6.0	6.0	2.5	0	0									
323	39.8	05/06/12 15:25	06/06/12 06:58	36.5	9.5	9.0	1	0	05/06/12 21:46	06/06/12 12:54	0.035	2.9	0.08	18			
324	14.0	06/06/12 16:48	06/06/12 21:25	12.5	5.0	0.0	2	0									
325	159.0	10/06/12 19:21	11/06/12 20:14	172.5	58.5	122.5	1	1	11/06/12 11:17	11/06/12 21:38	3.580	54.7	0.32	16	7.43	1.17	40190

