



Construction des courbes de tarage

Site atelier de la baie du Robert

12 juin 2009

**Unité de Recherche « Agriculture et
espace insulaire »**

Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique
Quartier Petit Morne – BP 214 – 97 285 Lamentin Cedex 2

Résumé

Le travail entrepris par l'équipe du Cemagref de la Martinique a pour objectif d'évaluer les phénomènes d'érosion hydrique et les transferts de polluants depuis les zones occupées autour de la baie du Robert, généralement des petits bassins versants montagneux, en direction du milieu récepteur marin.

La relation arithmétique qui s'établit dans un cours d'eau entre la hauteur d'eau (millimètres) et le débit (litres/secondes) est représentée par une « courbe de tarage ». Cette courbe étant établie, il devient aisé en mesurant la hauteur d'eau d'en déduire le débit.

L'objectif du présent document est de présenter les cinq méthodes qui ont été utilisées par l'équipe du Cemagref de la Martinique, unité de recherche « Agriculture et espace insulaire » (AEMA), pour construire les courbes de tarage en 4 points de mesure, situés sur le bassin versant de la baie du Robert.

L'originalité de l'étude conduite par AEMA est de s'intéresser pour partie à des cours d'eau intermittents, jusqu'à présent peu étudiés du point de vue de leur réponse hydrologique aux événements climatiques.

Mots clés

Courbe de tarage, jaugeage, bassin versant, climat tropical, Baie du Robert, Martinique

Abstract

The Cemagref research unit of Martinique (AEMA) aims to determine the hydrological erosion and polluting flows from Robert bay occupied areas, which generally are small mountain catchments, to coastal zone.

The arithmetic relationship between the water level of a river or a gutter (millimetres) and the water flow (liters per second) is named rating curve. Then, it becomes easy to calculate the flow when the water level is known.

This document aims to introduce the five methods AEMA undertook to build rating curves at four probing-points, in Robert watershed area.

The novelty is to study occasional gutters which were not specially designed as far as hydrological and erosional response is concerned.

Key words

Rating curve, stream gaging, watershed, tropical climate, Robert bay, Martinique

Synthèse (1 page)

L'objectif de la synthèse est de rendre le projet compréhensible par un non spécialiste

La relation arithmétique qui s'établit dans un cours d'eau entre la hauteur d'eau (millimètres) et le débit (litres/secondes) est représentée par une « courbe de tarage ». Cette courbe étant établie, il devient aisé en mesurant la hauteur d'eau d'en déduire le débit.

L'objectif du présent document est de présenter les cinq méthodes qui ont été utilisées par l'équipe du Cemagref de la Martinique, unité de recherche « Agriculture et espace insulaire » (AEMA), pour construire les courbes de tarage en 4 points de mesure, situés sur le bassin versant de la baie du Robert.

L'originalité de l'étude conduite par AEMA est de s'intéresser pour partie à des cours d'eau intermittents, jusqu'à présent peu étudiés du point de vue de leur réponse aux événements climatiques.

Il est apparu que les méthodes utilisées s'adaptent à différents contextes et qu'elles permettent d'atteindre une évaluation satisfaisante de la relation entre la hauteur d'eau et le débit, par rapport à l'objectif fixé qui est d'évaluer quantitativement les phénomènes d'érosion et les transferts de polluants depuis les zones occupées par les activités humaines en direction de la baie.

Ainsi, les méthodes de mesures conjointes des hauteurs d'eau et des débits peuvent faire appel (1) à des ouvrages calibrés, de type « canal venturi » qui présentent l'avantage d'être simples à mettre en œuvre, mais nécessitent une connaissance préalable des ordres de grandeurs des débits à mesurer pour choisir correctement l'équipement. D'autres techniques utilisent des appareils de mesure. Par exemple (2) le débitmètre à hélice, placé dans l'eau, se révèle difficile à pratiquer dans les cours d'eau à fort courant, et (3) le jaugeage au sel fondé sur la mesure de la conductivité électrique de l'eau dont la salinité a été artificiellement provoquée en amont du point de mesure. Enfin, des formules mathématiques comme (4) la « formule du seuil » ou (5) la « formule de Manning-Strickler », permettent d'évaluer les débits à partir de quelques paramètres physiques mesurés dans le lit du cours d'eau.

Il est essentiel de pouvoir analyser conjointement les événements pluvieux et les variations des débits dans les cours d'eau permanents et intermittents, car les circulations d'eau sont, en milieu tropical humide, les facteurs majeurs de l'érosion et des transferts des polluants vers le milieu récepteur marin.

Titre du projet : « Construction des courbes de tarage des cours d'eau instrumentés pour l'étude des transferts de pesticide sur le bassin versant de la baie du Robert »

Nom du responsable scientifique du projet : Julie GRESSER, Cemagref – UR Aema

Equipe du projet : Albert ARIMONE, Anne-Claire NIVET, Anne CATLOW, Sabrina EDMOND, Pierre MARIE, Kevin PINTE, Nicolas ROCLE, François-Xavier DE LA FOYE

Partenaires financiers : MEDAAT - DIREN Martinique – Convention du 23/11/2007

Partenaires scientifiques et institutionnels : Ifremer, DIREN (Direction Régionale de l'Environnement), ODE (Office de l'Eau de la Martinique), Ville du Robert, Impact Mer.

Calendrier : Mars 2007 à juin 2009

Remerciements

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, nous tenons à remercier pour leur aide précieuse sur le terrain, leurs conseils pédagogiques et leur soutien à la jeune équipe hydrologie du Cemagref, Pascal MARRAS et Jean Guillaume LACAS de la DIREN Martinique, Pierre MARCHAND et Alain LARAQUE de l'IRD Martinique, Renaud SAINT CYR du CG972 et l'équipe pédagogique de la spécialité GEME de l'agro Montpellier notamment Marc VOLTZ et Gilles BELAUD.

Sommaire

Introduction	9
1.OBJECTIFS-ETAT DE L'ART- QUESTIONS DE RECHERCHE.....	12
11. <i>Contexte et objectifs de l'étude</i>	10
12. <i>Etat de l'Art et des connaissances.....</i>	11
121. Ouvrage calibré	11
122. Techniques de jaugeage terrain	13
a) Jaugeage au moulinet	13
Principe de jaugeage par courantomètre	13
b) Jaugeage au sel.....	16
c) Calculs mathématiques.....	17
Formules de seuil	17
Formule de Manning Strickler.....	18
2. PROTOCOLE ET MODES OPERATOIRES	20
21 Le Bassin versant étudié – Caractérisation	20
211. Situation du bassin versant et de sa baie au sein de la Martinique.....	20
212. Un bassin versant autour d'une baie	20
213. Milieu physique : entre atouts et contraintes.....	20
a) Un relief très disséqué.....	20
b) Un climat peu contraignant.....	22
c) Des sols très argileux	22
d) Les mangroves : un milieu tampon.....	23
214. Développement du bassin : entre ruralité et urbanisation	24
a) Un territoire en pleine mutation	24
b) Une agriculture diversifiée.....	25
22. Description des stations de mesure	25
23. Le recueil des données : mesure de la hauteur d'eau – évaluation du débit	26
231. Stations Mansarde aval et amont.....	27
232. Station de la ravine Voltaire.....	28
233. Station de la rivière Gaschette.....	32
3. RESULTATS	36
3.1 Courbe de tarage Mansarde.....	36
3.2 Courbe de tarage station Voltaire.....	37
3.1.1 Utilisation du logiciel Barème.....	37
3.1.2 Utilisation du logiciel Excel.....	38
3.2 Courbe de tarage station Gaschette	40
3.2.1 Utilisation du logiciel Barème.....	40
3.2.2 Utilisation du logiciel Excel.....	41
4. ANALYSE CRITIQUE DES RESULTATS – PROSPECTIVE.....	43
41. Dispositifs et méthodologies de suivi.....	43
4.1.1 Analyse méthodes de jaugeage sur Mansarde.....	43
4.1.2 Analyse méthode de Manning Strickler sur Gaschette	43
4.2. Ravine Voltaire : comparaison avec la courbe de tarage « ORSTOM 1975 ».....	44
43. Evènements de la nuit du 4 au 5 mai 2009 : conséquences sur les stations de mesure et l'application de la courbe de tarage pour la ravine Voltaire	45
Conclusion.....	47
Bibliographie	48
Annexes.....	50

Liste des figures

Figure 1 : Canal venturi installé en ravine	11
Figure 2 : Canal venturi installé en ravine, principe de mesure	12
Figure 3 : Echelle de graduation Canal venturi	12
Figure 4 : Montage du matériel de jaugeage	13
Figure 5 : Section transversale du cours d'eau	14
Figure 6 : Jaugeage en étiage, rivière Voltaire	14
Figure 7 : Feuille de terrain pour le jaugeage	15
Figure 8 : Remplissage des sacs, pesée et stockage	16
Figure 9 : Etalonnage du conductimètre	16
Figure 10 : Jaugeage au sel en rivière	17
Figure 11 : seuil en béton	18
Figure 12 : localisation du BV du Robert	20
Figure 13 : Carte du relief du bassin versant du Robert	21
Figure 14 : Moyennes des cumuls mensuels sur 13 années de mesure	22
Figure 15 : Carte Pédologique simplifiée au 1/20 000 ^{ème}	23
Figure 16 : Occupation du Sol sur le bassin versant de la baie du Robert	24
Figure 17 : Carte de localisation des stations de mesures, BV du Robert	26
Figure 18 : Station Mansarde aval (à gauche) et station Mansarde amont (à droite)	27
Figure 19 : Courbe de tarage constructeur canal venturi Mansarde	27
Figure 20 : Seuil de Voltaire	28
Figure 21 : Mise en place d'une passerelle	29
Figure 22 : Section transversale de Voltaire	30
Figure 23 : Illustrations du jaugeage en crue depuis la passerelle	30
Figure 24 : Illustrations du jaugeage en étiage (canalisation du flux et mesure)	31
Figure 25 : Tableau récapitulatif des jaugeages sur Voltaire	31
Figure 26 : Station de mesure Gaschette	32
Figure 27 : tableau récapitulatif des jaugeages au moulinet sur Gaschette	32
Figure 28 : Dimension du canal	33
Figure 29 : Illustrations de la mesure de la pente du canal au théodolite	33
Figure 30 : Tableau récapitulatif des jaugeages au sel	34
Figure 31 : Etablissement de la relation du coefficient de seuil	35
Figure 32 : Tableau récapitulatif des valeurs de débit obtenues par la formule de seuil	35
Figure 33 : Courbe de tarage Mansarde	36
Figure 34 : Courbe de tarage de Voltaire sous Barème	37
Figure 35 : Zoom sur les basses eaux, courbe de tarage Voltaire	38
Figure 36 : Courbe de tarage de Voltaire « basses eaux » sous Excel	39
Figure 37 : Courbe de tarage de Voltaire « moyennes eaux » sous Excel	39
Figure 38 : Courbe de tarage de Gaschette sous Barème	40
Figure 39 : Zoom basses eaux, courbe de tarage Gaschette	41
Figure 40 : Courbe de tarage « basses eaux » de Gaschette sous Excel	42
Figure 41 : Superposition des courbes de tarage Cemagref et ORSTOM de Voltaire sous Barème	44
Figure 42 : Photographies avant et après du lit en amont de la station de mesure Voltaire	46
Figure 43 : Vues de la passerelle : avant / après l'évènement	46

Liste de tableaux

Tableau 1 : Gamme de canaux venturi Eijelkamp	12
Tableau 2 : Coefficient de Manning Strickler en fonction du type de cours d'eau.....	18
Tableau 3 : Points de géo référencement des stations de mesure.....	26
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des visées.....	34
Tableau 5 : Table des données de jaugeage en basses eaux.....	41
Tableau 6 : Point de géo référencement de la station Voltaire.....	55
Tableau 7 : Points de jaugeages en « basses eaux ».....	55
Tableau 8 : Points de jaugeages en « moyennes eaux ».....	55

Introduction

La DIREN Martinique, en charge de la mise en œuvre de la Directive cadre européenne sur l'eau, a souhaité engager des actions complémentaires aux réseaux de surveillance et programmes d'actions en cours. A ce titre, une convention de recherche partagée a été dressée avec le CEMAGREF Martinique, institut de recherche finalisée pour la gestion durable des eaux et des territoires. La caractérisation et le suivi de la qualité physico-chimique des eaux superficielles nécessitent en effet l'acquisition de données et de références utiles à la compréhension des phénomènes de dégradation et de restauration de l'état des masses d'eau, singulièrement sur la baie du Robert, site de nos études.

Si l'approche des cours d'eau permanents en région Martinique bénéficie d'une antériorité notoire avec les travaux de l'ex-Orstom devenu IRD et l'actuel réseau de surveillance de la DIREN, les cours d'eau temporaires en revanche sont encore mal connus ; leurs comportements en événement de crue, qui impactent dans des proportions à déterminer sur les mécanismes de transferts de polluants, ont été peu étudiés. De ce fait les questions méthodologiques acquièrent dans ce projet une importance particulière et justifient la production d'un rapport propre à l'élaboration des courbes de tarage que tout hydrologue considérerait normalement comme une opération de routine. Pour cette raison, les techniques utilisées ont été diversifiées.

Dans cette optique, quatre stations de mesures ont été installées sur le bassin versant de la baie du Robert. Les mesures en continu qui y sont faites visent à évaluer les transferts de produits phytosanitaires et de particules solides (transport par charriage et matières en suspension) à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux de la baie.

Les débits calculés à partir des courbes de tarage construites pour chacun des points de mesure permettront d'une part de caractériser la réponse du bassin versant aux événements pluvieux (temps de réponse) et d'autre part d'évaluer les flux de MES et de matières actives, en partie dissoutes et en partie adsorbées, ceci à partir des concentrations mesurées par analyses d'eau et de sédiments. Nous aurons ainsi produit une évaluation quantitative des contributions des zones aménagées et cultivées aux phénomènes d'érosion/transferts qui menacent les écosystèmes littoraux de la baie du Robert. Nos travaux sont structurés en trois études séparées et complémentaires : (1) « Etude des transferts de pesticides » et (2) « Caractérisation du transport solide en ravine et cours d'eau permanent », et (3) « Construction des courbes de tarage » qui fait l'objet du présent rapport.

Après avoir présenté d'une part les objectifs et l'état de l'art (paragraphe 1), d'autre part le protocole et les modes opératoires (paragraphe 2), nous détaillerons les résultats pour les cinq méthodes utilisées (paragraphe 3) et enfin nous engagerons une analyse critique du travail accompli (paragraphe 4).

1. OBJECTIFS – ETAT DE L'ART – QUESTIONS DE RECHERCHE

11. Contexte et objectifs de l'étude

L'étude du transfert des pesticides sur le bassin versant de la baie du Robert, sur la commune du même nom, a été initiée en février 2007 par le Cemagref – PRAM. Ce projet avait pour objectif de valoriser l'existence d'un réseau de quatre stations de mesure en rivière, sur cours d'eau permanents et temporaires, afin de déterminer des protocoles de suivi de certains produits phytosanitaires en fonction de leurs usages et des conditions climatiques. Des connaissances nouvelles quant à la dynamique de transfert dans les eaux superficielles de certaines de ces substances devaient ainsi participer à l'acquisition de références utiles dans les programmes d'actions à l'œuvre pour préserver ou restaurer la qualité des masses d'eau.

Les connaissances hydrologiques des cours d'eau suivis constituent une étape essentielle de la démarche proposée. Si des premiers résultats généraux sur le fonctionnement torrentiel des cours d'eau martiniquais existent¹, la faiblesse des informations quantitatives sur notre zone en période de crue est à combler. La taille et la topographie des bassins versants concernés ont pour conséquence une réponse rapide à un événement climatique. On s'intéressera donc à l'échelle événementielle du phénomène dans un premier temps et nous tenterons de répondre aux questions suivantes : qu'en est-il vraiment de la réponse des bassins versants à des événements pluvieux de différentes intensités et durées ? Comment caractériser et suivre au mieux le régime hydrologique des cours d'eau durant ces phénomènes parfois extrêmes ?

Il s'agissait ainsi d'associer à l'étude des transferts de pesticides une analyse hydrologique des cours d'eau instrumentés. Nous rappelons à ce titre que l'originalité du réseau en place tient à deux composantes majeures :

- Suivi de deux cours d'eau à écoulement permanent, et d'une ravine à écoulement temporaire (par une instrumentation en série en amont et en aval de parcelles de banane),
- Suivi en temps réel du régime hydrologique des cours d'eau, avec une attention particulière portée aux phénomènes de crues, qu'il conviendra suite à cette étude de bien caractériser en fonction des conditions atmosphériques et pédologiques rencontrées lors de ces événements.

Dans ce contexte, l'objectif principal de la présente étude est d'ajuster les calculs de débits instantanés de ces quatre sites, par la construction ou l'amélioration des courbes de tarage. Pour ce faire, les objectifs suivants étaient recherchés :

- Un objectif méthodologique : proposer et valider des techniques de jaugeage adaptées au contexte, précises et pertinentes au regard des données à produire pour les besoins de l'étude ;

¹ Meunier, M., 1999, Les torrents du Nord-Ouest de la Martinique - Hydrologie des crues, hydraulique et dynamiques torrentielles. Cemagref Editions. 403 p

- Un objectif heuristique : produire les courbes de tarage des écoulements suivis, via les méthodes de jaugeage préconisées et l'utilisation d'outils adaptés pour ce faire.

12. Etat de l'Art et des connaissances

La hauteur d'eau est reliée au débit sur une section du lit du cours d'eau par une fonction appelée « courbe de tarage ». Cette relation peut être établie par diverses méthodes de mesures. Parmi les méthodes connues à l'heure actuelle et au vu de l'hétérogénéité des sites instrumentés, cinq techniques de mesures ont été envisagées pour définir les courbes de tarage recherchées. Nous présentons ci-dessous ces techniques dites de « jaugeage » pour un aperçu des possibles dans le cadre de notre étude.

121. Ouvrage calibré

Pour mesurer le débit, il existe des ouvrages en dur qui canalisent l'écoulement et qui, de par leurs dimensions, permettent d'obtenir la valeur de débit : on parle alors d'ouvrages calibrés. Le canal Venturi fait partie de cette catégorie d'ouvrages calibrés. Il s'agit d'un canal de forme trapézoïdal placé dans le cours d'eau, au fond duquel un trou est percé et relié à une colonne dans laquelle on place la sonde de pression.

Par le principe des vases communicants, la hauteur d'eau dans le canal et dans la colonne d'eau est toujours la même, on mesure alors la hauteur d'eau via la sonde de pression dans la colonne. Cette hauteur correspond à un débit variable en fonction des dimensions du canal. La relation hauteur-débit est donnée par le constructeur.



Figure 1 : Canal venturi installé en ravine

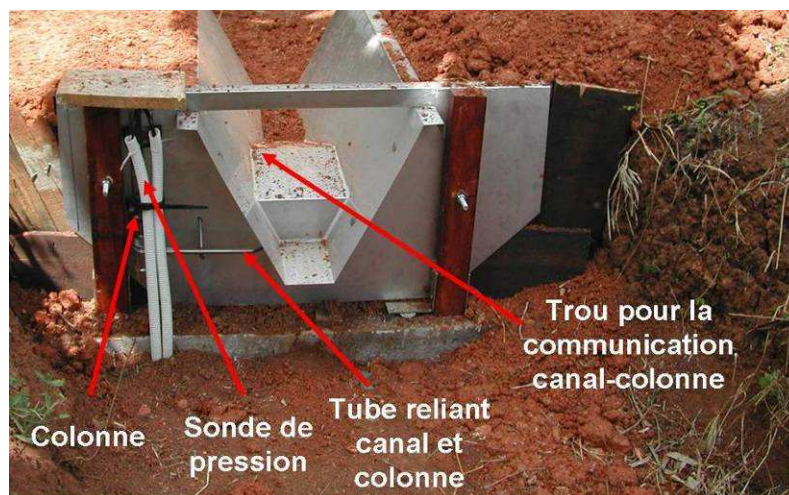


Figure 2 : Canal venturi installé en ravine, principe de mesure

Pour chaque taille de Venturi, on a donc une relation différente $Q = f(H)$ de la forme $Q = a \cdot h^3 + b \cdot h^2 + c \cdot h + d$. Cette formule est applicable pour une gamme de débits variable donnée par le constructeur.

Avant le choix du canal venturi et afin d'optimiser son dimensionnement en fonction des caractéristiques de site, il convient d'estimer le débit théorique, ceci pour une gamme de débits susceptible d'être rencontrée dans le cours d'eau lors de la campagne d'analyses (généralement une année hydrologique). Pour exemple, le tableau ci-dessous présente la gamme de taille des canaux Venturi « RBC flume » du fournisseur Eijelkamp.

Type	Débit minimum mesuré (l/s)	Débit maximum mesuré (l/s)
13.17.02	0.076	9.0
13.17.04	0.403	50.0
13.17.06	0.715	86.0
13.17.08	1.946	145.0

Tableau 1 : Gamme de canaux venturi Eijelkamp

Sur le terrain, la correspondance hauteur-débit peut être connue de manière instantanée grâce à une échelle graduée à l'intérieur du canal.



Figure 3 : Echelle de graduation Canal venturi

La relation fournie par le constructeur peut ainsi être vérifiée en tout temps par des observations directes.

122. Techniques de jaugeage terrain

a) Jaugeage au moulinet

La méthode du jaugeage au moulinet est couramment utilisée pour la mesure du débit instantané d'un cours d'eau. Le principe est décrit dans l'encadré ci-dessous.

Principe de jaugeage par courantomètre

- Principe du courantomètre : l'hélice du moulinet tourne à une vitesse proportionnelle à celle de la lame d'eau qu'elle rencontre. La vitesse d'écoulement est calculée à partir du nombre de rotations (impulsions de moulinet) pour un temps donné, fonction de l'équation propre du matériel (étalonnage des hélices d'un moulinet).
- Principe de jaugeage : La section mouillée du cours d'eau est divisée en sections élémentaires selon sa géométrie (largeur de plein bord, hauteur d'eau moyenne...). Différentes verticales sont ainsi arrêtées par rapport à une distance de la berge, les vitesses d'écoulement sont mesurées à l'aide du courantomètre en plusieurs points d'une verticale. Par une intégration des différentes vitesses sur ces verticales et sur les surfaces élémentaires, on obtient le débit instantané sur la section totale du cours d'eau.



Figure 4 : Montage du matériel de jaugeage

Sur le terrain, pour une hauteur donnée lue sur l'échelle limnimétrique, on mesure la section de la rivière : largeur totale, profondeur des rives et sur plusieurs verticales, puis on réalise le maximum de mesures de vitesse (points de jaugeages)

le long de ces verticales à différentes profondeurs. Tous ces éléments ainsi que des renseignements complémentaires sont notés sur la fiche terrain de jaugeage.

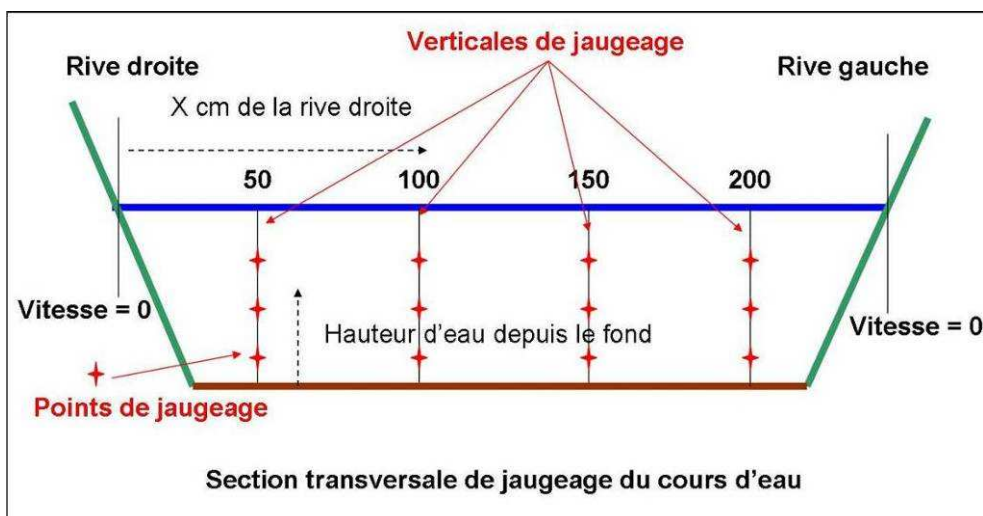


Figure 5 : Section transversale du cours d'eau

Technique de relevés de mesures de jaugeage

Sur les fiches terrain :

Noter le nom de la station et de la rivière, la date, l'heure et la côte de début et l'heure et la côte de fin.

Préciser le moulinet utilisé, l'hélice, le temps de comptage et le nom des jaugeurs.

Choisir le point zéro. On choisira le zéro au fond et les hauteurs seront données en cm depuis le fond du lit.

Préciser les abscisses des rives ainsi que leur profondeur.

Pour chaque point de mesure, noter l'abscisse, la profondeur totale, la hauteur (position de l'hélice en cm par rapport au sol) et le nombre de tours enregistrés.

Il est possible de préciser pour chaque point, la côte afin de conserver une marque de l'évolution de la hauteur d'eau.

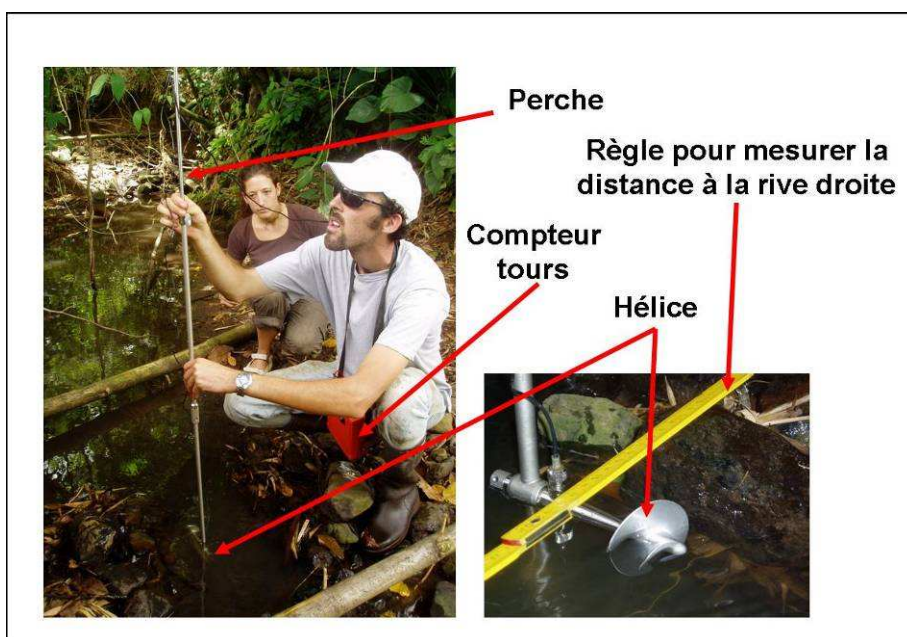


Figure 6 : Jaugeage en étiage, rivière Voltaire

[illegible]

Les mesures de jaugeage sont ensuite enregistrées dans le logiciel Barème®, qui permet le calcul du débit suite aux mesures de sections et vitesses effectuées. Voir l'**annexe 1** pour un résumé de l'utilisation du logiciel Barème®.

b) Jaugeage au sel

Une autre technique de terrain proposée est le jaugeage au sel.

Il s'agit d'une mesure du débit par dilution chimique qui fonctionne selon la méthode par intégration. Le principe de base consiste en l'injection dans le cours d'eau d'un traceur bien choisi, en l'occurrence du sel de cuisine. A l'aval de l'injection, lorsque la dispersion du traceur est uniforme, la mesure de la dilution permet de calculer le débit. La condition d'application est le parfait mélange du traceur dans le cours d'eau (bon brassage). La sonde de mesure de salinité est placée dans le cours d'eau. En amont, à une distance suffisamment grande (30 à 300m), une certaine quantité de sel dilué dans un récipient avec l'eau de la rivière (2 à 12 g par l/s de débit estimé). Lors du passage du nuage, l'appareil mesure et enregistre les valeurs de salinité. Une fois le nuage passé, le débit est calculé et affiché.

Dans la pratique, des sacs de sel de cuisine d'un poids variant de 50 g à 500 g sont préparés à l'avance.



Figure 8 : Remplissage des sacs, pesée et stockage

On étalonne aussi la sonde (conductimètre) au laboratoire avant de se rendre sur le terrain.

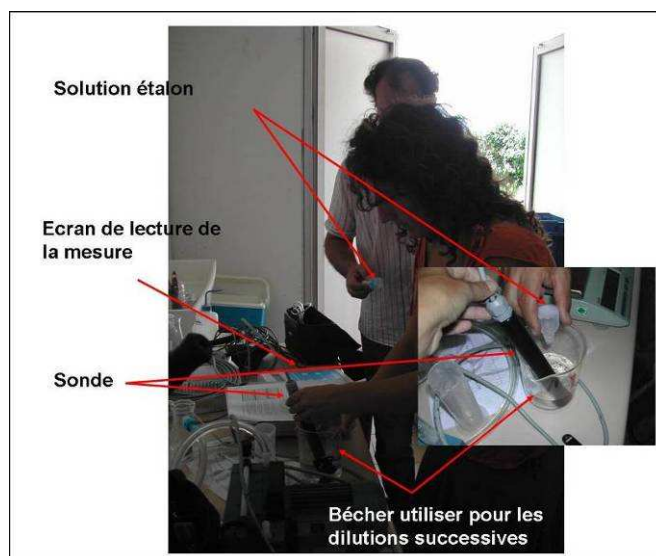


Figure 9 : Etalonnage du conductimètre

Sur le terrain, on mélange la dose de sel nécessaire (selon une estimation visuelle du débit) et on jette cette solution à l'amont du point de mesure.

	
<p>Choix du point de mesure en aval de la zone de largage du sel</p>	<p>Dissolution du sel dans quelques litres d'eau avant d'être jeter dans la rivière</p>
	
<p>Installation de la sonde (conductimètre) au fond de la rivière</p>	<p>Lecture de la valeur de débit</p>

Figure 10 : Jaugeage au sel en rivière

Au point de mesure, on enregistre sur plusieurs minutes la courbe de passage du sel. De cette courbe une valeur du débit est déduite et peut être lue sur l'écran.

c) Calculs mathématiques

Formules de seuil

Pour mesurer le débit, un seuil en béton peut être installé dans le lit de la rivière afin d'avoir une section de contrôle.

La formule est alors de la forme $Q = \mu \cdot S \cdot (g \cdot h)^{1/2}$

Avec Q = débit en m^3/s

S = surface de la section de l'écoulement (section mouillée)

g = constante gravitationnelle 9,81

h = hauteur d'eau

μ = variable en fonction du rayon hydraulique (section mouillée/périmètre mouillée). Cette valeur augmente avec l'augmentation du débit.

Pour connaître la valeur du coefficient de seuil, des approximations peuvent être réalisées via des valeurs obtenues par d'autres techniques de jaugeage, ou par le choix d'ordre de grandeur.



Figure 11 : seuil en béton

Formule de Manning Strickler

La formule de Manning Strickler est utilisée pour la mesure mathématique des débits dans des écoulements à surface libre. A partir des dimensions de la section du cours d'eau, de la pente de celui-ci et d'un coefficient de rugosité dépendant de la nature des matériaux du cours d'eau ou du canal (appelé coefficient de Strickler), on peut obtenir le débit en fonction de la hauteur d'eau dans le cas d'un régime permanent et uniforme.

$$\text{Formule de Manning Strickler : } Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K * R_h^{2/3} * S * I^{1/2}$$

K : coefficient de Strickler (m^{1/3}/s)

R_h : Rayon hydraulique = S/P_e (S = surface hydraulique / P_e = Périmètre mouillé)

I_f : pente du canal

Le tableau ci-dessous propose quelques valeurs de K à utiliser en fonction de la classe de rugosité du cours d'eau ou canal

Type de cours d'eau	Valeurs de K (m ^{1/3} /s)
Canal bétonné, très lisse	75-100
Canal bétonné, état moyen	50-75
Canal en terre	30-50
Cours d'eau régulier, bien entretenu	40-50
Cours d'eau ordinaire	30-40
Cours d'eau avec embâcles	20-30

Tableau 2 : Coefficient de Manning Strickler en fonction du type de cours d'eau

Conclusion sur les techniques disponibles

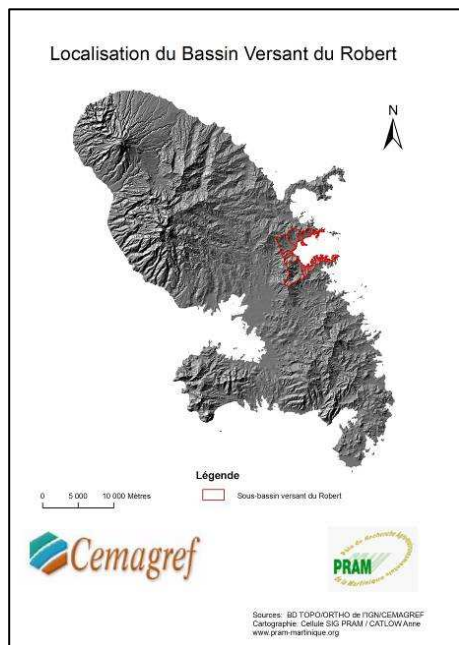
Les techniques de mesure présentées constituent donc les moyens disponibles les plus courants pour calculer, à une hauteur d'eau donnée, la valeur du débit instantané du cours d'eau. Lorsque plusieurs points de corrélation hauteur-débit sont établis, on peut en déduire par ajustement la courbe de tarage de la station.

Si les techniques de mesure décrites ci-dessus sont couramment utilisées et simples d'utilisation, la (ou les) technique(s) réellement mises en œuvre doivent être choisies selon les caractéristiques des sites étudiés. L'adaptation aux conditions de terrain est ainsi primordiale afin de pouvoir mesurer, en toute sécurité et de manière adaptée, la hauteur d'eau ou la vitesse instantanée en un point donné d'un cours d'eau. C'est ce que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

2. PROTOCOLE ET MODES OPERATOIRES

21 Le Bassin versant étudié – Caractérisation

211. Situation du bassin versant et de sa baie au sein de la Martinique



La commune du Robert fait partie des communes du Centre Martinique. Elle se trouve sur la façade Est de l'île, qui reçoit les vents principaux.

Le bassin versant de la baie du Robert (23 km²) se trouve presque entièrement sur le territoire de la commune du Robert (43 km²). Seule l'extrémité sud ouest, constituée par la partie amont du bassin versant de la rivière Cacao, appartient à la commune voisine du François. Cette position privilégiée du bassin, par unicité administrative, est un atout en terme de coordination des projets d'étude lancés dans le cadre du site atelier de la baie du Robert.

La portion de la commune non concernée par le bassin versant de la baie est occupée par le bourg du vert pré situé au nord ouest du bassin.

Figure 12 : localisation du BV du Robert

212. Un bassin versant autour d'une baie

Le bassin versant de la baie du Robert est très particulier de par sa forme, qui le différencie des bassins versants de rivières. Il est en effet ramassé autour de la baie, qu'on qualifie de semi fermée, et est drainé par un grand nombre de rivières ou ravines auxquelles sont attachés autant de bassins versants élémentaires. Pour l'étudier, il faut donc passer par un découpage en sous bassins versants à exutoire unique.

Lors d'une étude précédente, réalisée par le CEMAGREF (Marie et Lucas, 2005) sur le diagnostic des pollutions agricoles diffuses, un découpage en 22 sous bassins versants avait été réalisé. Ce découpage fait ressortir 3 sous bassins de taille supérieure. Il s'agit des sous bassins comportant les rivières Cacao (6,3 km²), Mansarde (4,2 km²) et la rivière Gaschette (3 km²).

213. Milieu physique : entre atouts et contraintes

a) Un relief très disséqué

Le relief s'organise de façon circulaire autour de la baie. La ligne de crête, constituée de mornes, est bien dessinée et culmine à 366 m au niveau de Morne Pavillon.

Dans la partie centrale, une plaine, majoritairement occupée par le bourg du Robert, borde le front de la baie. Dans la moitié sud du bassin (sous bassin versant de la rivière Cacao), la plaine laisse rapidement place à un relief marqué par de très fortes pentes. On constate ainsi 300 m de dénivelé sur environ 2 km de distance au niveau de Pontaléry, soit une pente moyenne de 15%. Dans la moitié nord, la transition entre la plaine et les versants abrupts sous

la ligne de crête est plus douce avec une zone intermédiaire de collines, bien visible sur le sous bassin versant de la rivière Mansarde.

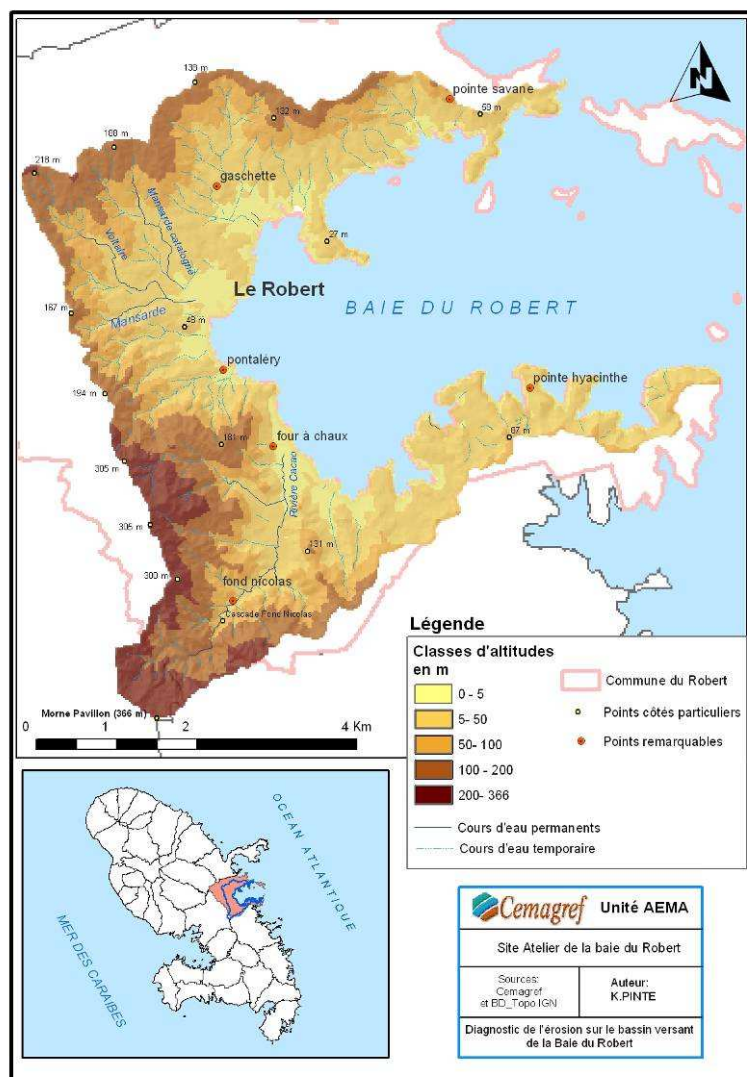


Figure 13 : Carte du relief du bassin versant du Robert

On peut ainsi définir, en s'intéressant au paysage géomorphologique du bassin, 3 grands ensembles paysagers :

- Les plaines qui bordent le fond de la baie,
- La zone d'arrière plaine constituée de collines peu élevées avec des pentes moyennes,
- Le fond de bassin avec les mornes de la ligne de crête et les versants longs et abrupts qui arrivent parfois directement à la baie (zone de Four à Chaux).

L'organisation assez simple du relief et le caractère ramassé du bassin font que le réseau hydrographique est constitué de rivières et ravines qui partent des lignes de crêtes et arrivent sans détour jusqu'à la baie. La rivière la plus longue est la rivière Cacao qui depuis les hauteurs de Fond Nicolas jusqu'à son exutoire totalise un linéaire de 4,6 km. Dans les parties amont des sous bassins, le réseau est très encaissé, comme peuvent en témoigner les cascades et gorges de Fond Nicolas sur le sous bassin versant de la rivière Cacao.

b) Un climat peu contraignant

Le bassin versant de la baie est soumis à un climat tropical à saison sèche relativement marquée. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1500 mm à 2000 mm.

Les parties du bassin les plus à l'est, constituées par Pointe Savane et Pointe Hyacinthe sont moins arrosées et ont un carême très marqué. Ces zones, situées à une altitude très faible et éloignées des premiers reliefs, ne reçoivent pas de pluie pendant la saison sèche.

Par contre les parties plus centrales du bassin (fond de la baie, et ligne de crête centrale) ont une saison sèche moins prononcée. Ces zones, à altitude plus marquée ou se trouvant au pied de reliefs, reçoivent pendant la saison sèche de faibles pluies issues de la conjonction entre nuages poussés par les alizés et turbulences formées sur les reliefs. La figure des cumuls résume les moyennes mensuelles réalisées sur 13 années et pour deux stations pluviométriques.

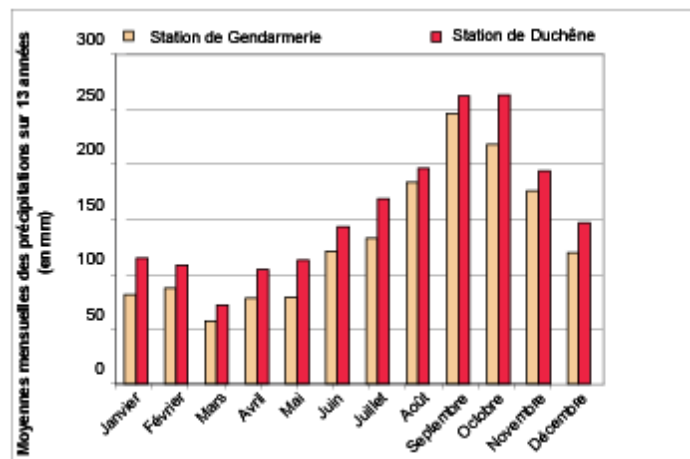


Figure 14 : Moyennes des cumuls mensuels sur 13 années de mesure
(source : données météo-France issues du Diagnostic de l'érosion, Pinte, 2006)

L'ensemble du bassin reste concerné par les épisodes pluvieux d'hivernage plus conséquents (ondes tropicales, tempêtes tropicales et ouragans).

c) Des sols très argileux

Selon la cartographie de Colmet-Daage (1969) réactualisée par l'IRD (Unité Valpédo de Montpellier), les sols présents sur le bassin versant sont presque exclusivement issus de formations volcaniques anciennes. Soumis à un climat relativement humide, ces formations ont subi une altération chimique poussée pour donner des sols très argileux. On rencontre ainsi une majorité de sols brun rouge à montmorillonite et ferrisols compacts. Les vertisols se rencontrent en majorité sur la pointe Sud du bassin (Pointe Hyacinthe), zone occupée d'ailleurs par des pâturages.

Ces sols argileux constituent des terres agricoles à fort potentiel agricole.

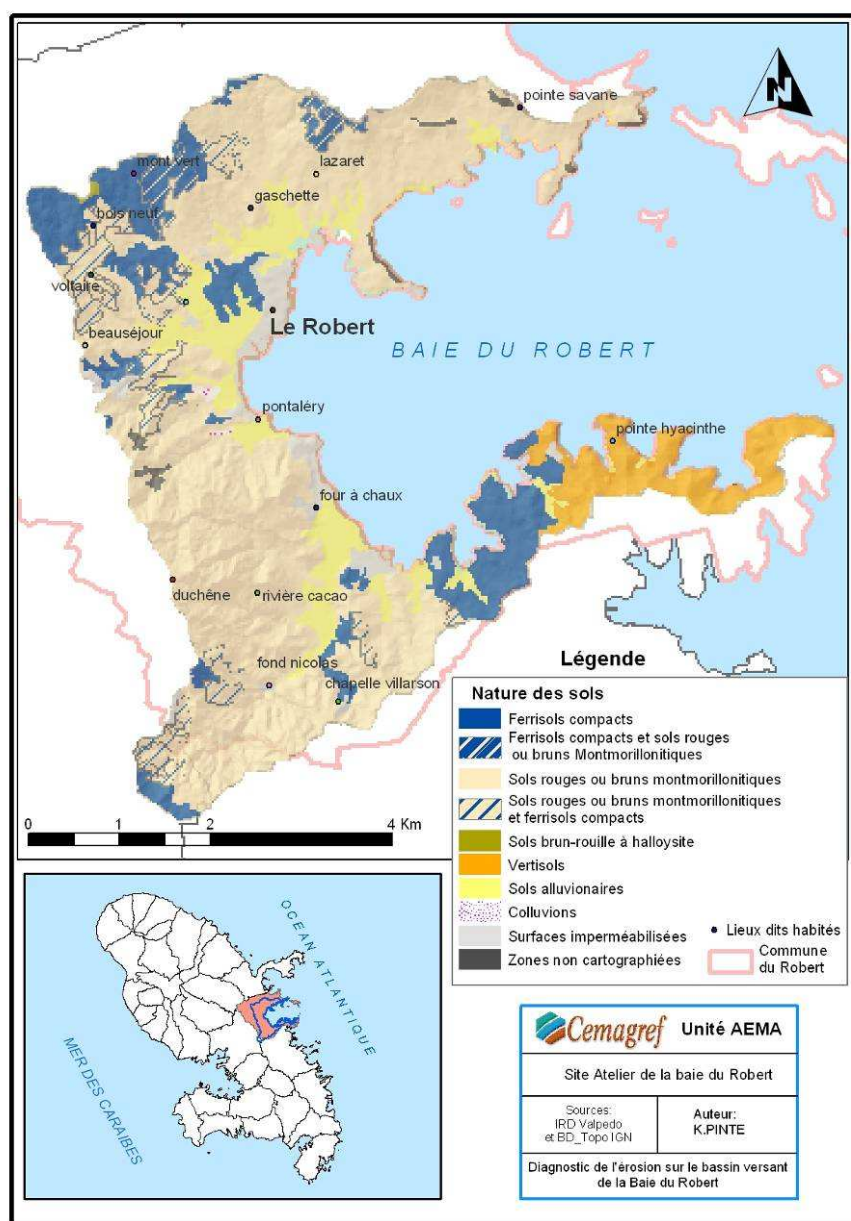


Figure 15 : Carte Pédologique simplifiée au 1/20 000^{ème}

d) Les mangroves : un milieu tampon

Les mangroves constituent un écosystème particulier à l'interface entre milieu marin et milieu terrestre qui se développe au sein de la zone intertidale (Desse et Saffache, 2005). Dans la présente étude, les zones couvertes par la mangrove n'ont pas été considérées comme faisant partie du bassin versant. Néanmoins, les mangroves de la baie du Robert font partie intégrante de la richesse écologique de la baie grâce notamment au rôle tampon (rétention des sédiments et phytoremédiation) qu'elles peuvent jouer.

214. Développement du bassin : entre ruralité et urbanisation

a) Un territoire en pleine mutation

Selon Marie et Lucas (2005), la commune du Robert connaît aujourd'hui des modifications territoriales importantes en termes d'habitat, que ce soit sur sa frange littorale ou son arrière-pays. Les avantages offerts par la baie du Robert (cadre de vie agréable, activités écotouristiques de plus en plus développées) expliquent en partie l'évolution positive de la démographie.

Depuis cinquante ans, les recensements successifs enregistrent en effet un solde moyen de +15% (Plan local d'urbanisme de la commune, ou P.L.U, 2002). Actuellement, le Robert se classe comme la troisième commune du département, avec une densité de 449 habitants au km².

Cette augmentation de la population n'est pas sans conséquence sur la gestion de l'habitat. On constate ainsi une occupation diffuse du territoire, avec une installation éclatée des nouvelles propriétés. Le bourg lui-même ne concentre que 14% des logements (P.L.U, 2002). Ceci signifie que plus de trois habitants sur quatre vivent dans les mornes de l'arrière pays. On constate donc une mutation de l'organisation urbaine, qui se traduit notamment sur le territoire par un mitage du tissu rural.

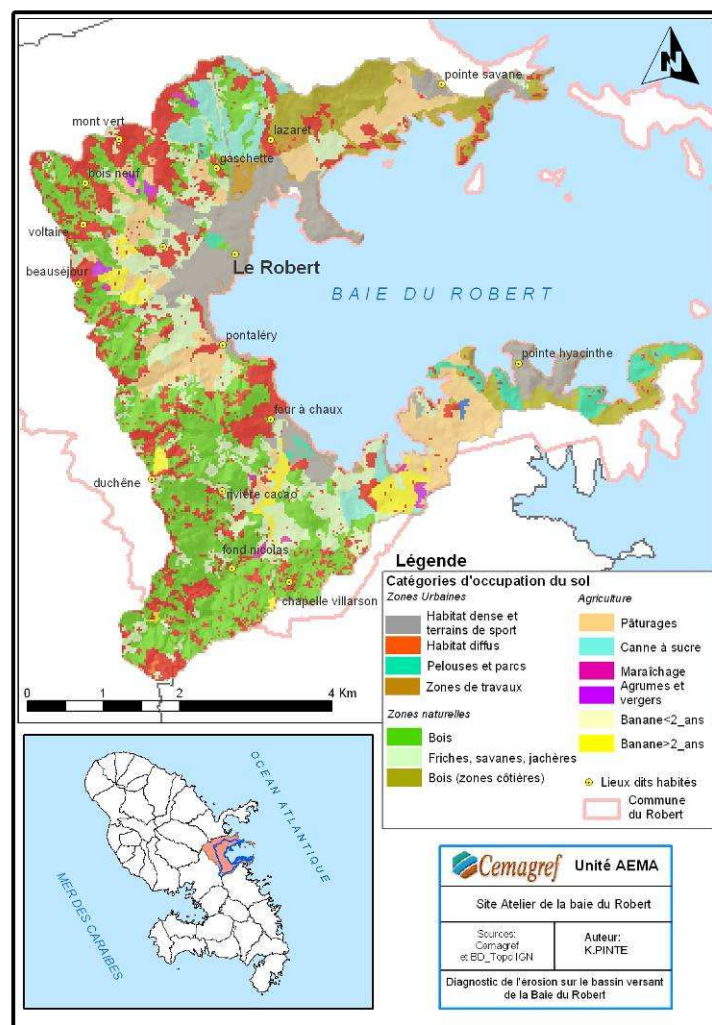


Figure 16 : Occupation du Sol sur le bassin versant de la baie du Robert

b) Une agriculture diversifiée

Les informations données ici, sont majoritairement issues de l'étude spatiale des risques agro-environnementaux menée par le Cemagref (Marie et Lucas, 2005) dans le cadre du projet Liteau II. Pour mener cette étude, des enquêtes chez les agriculteurs ont été réalisées (correspondant à 68 % de la surface agricole du bassin).

Cette surface agricole ne représente que 24% de la superficie totale du bassin. Le reste du territoire est occupé par l'habitat et les zones naturelles (bois et savanes) comme en témoigne la carte de l'occupation du sol. Trois activités agricoles dominent, en termes de surface : l'élevage (57%), la culture de la canne à sucre (14%) et celle de la banane (12%). Les élevages intensifs (porcins, cunicoles, avicoles), les vergers (plantés en goyaves et agrumes) et le maraîchage se partagent le reste de la surface agricole.

Une des principales difficultés dans le diagnostic de l'agriculture sur le bassin versant de la baie (remarque identique pour le reste de la Martinique) est de faire la part entre l'agriculture déclarée et commerciale et l'agriculture non déclarée, pratiquée dans les jardins ou sur des terrains annexes. Ainsi, même si le maraîchage n'occupe que 2% de la surface agricole du bassin, les potagers individuels se comptent-ils en grand nombre sur le territoire.

La taille des exploitations est relativement faible (10 ha en moyenne) mais la répartition des surfaces est très hétérogène selon les activités. Les parcelles de pâturage sont en moyenne plus grandes que celles vouées à la culture de canne et de banane (respectivement 9 ha, 4,5 ha, 2,35 ha). Les parcelles fruitières et maraîchères, toujours identifiées sur des exploitations tournées vers une activité principale différente (banane ou élevage), sont en revanche à la limite du jardin individuel.

L'activité agricole du bassin versant de la baie se caractérise donc par une diversité importante, tant par les activités recensées que par la structure d'exploitation. Le morcellement des parcelles domine (petites surfaces, parcelles en friche), lié en partie à la pression urbaine croissante (Scherer, communication personnelle).

Le bassin versant de la baie du Robert est donc un territoire qui représente à la fois les spécificités de l'île (climat, contraste du relief) mais aussi un certain nombre de particularités qui en font un terrain d'étude tout à fait intéressant. Autour d'une baie aux enjeux économiques et environnementaux multiples, le bassin versant se positionne comme un territoire en mutation dont les activités exercent des pressions sur le milieu récepteur (pollutions diffuses, apports solides terrigènes, etc.). Ce constat a été réalisé alors que la situation devient de plus en plus préoccupante et que l'écosystème de la baie semble réellement menacé.

22. Description des stations de mesure

Le choix de l'implantation des stations de mesure ainsi que la description complète des stations et des équipements de mesure sont décrits en détails dans le rapport sur « l'étude des transferts de produits phytosanitaires dans les eaux superficielles ». On se reportera donc à ce document pour toute information sur ce sujet. Nous indiquons simplement pour rappel une carte de localisation avec le géo-référencement des stations de mesure.

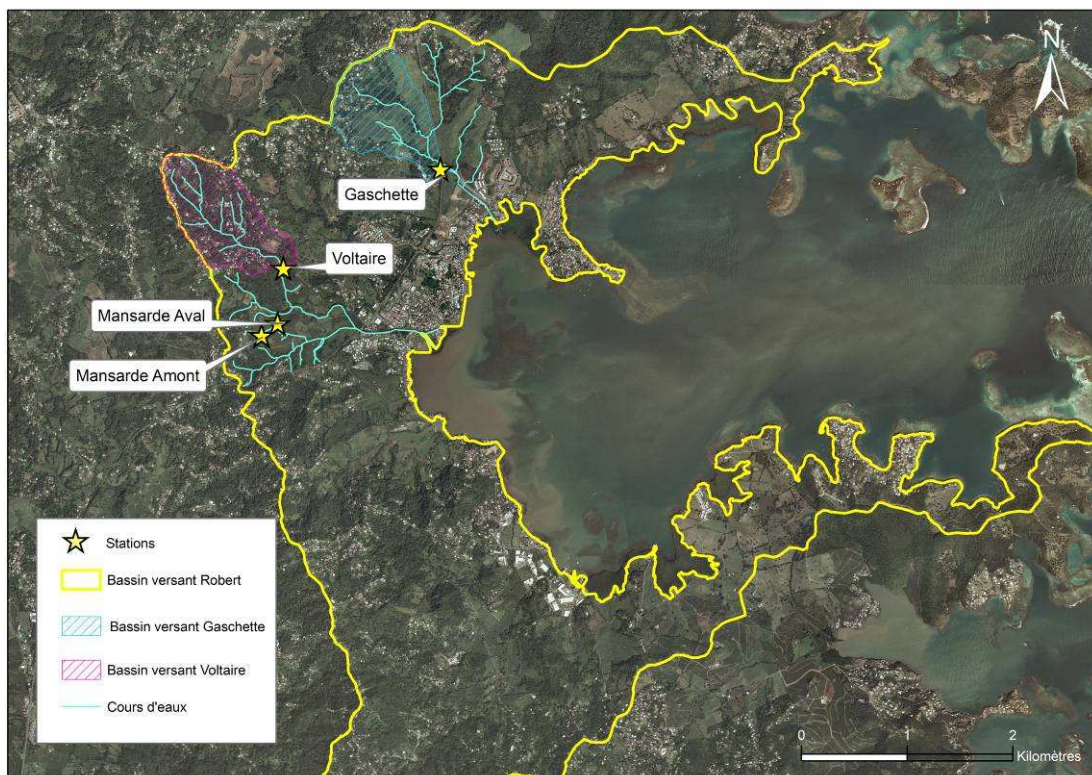


Figure 17 : Carte de localisation des stations de mesures, BV du Robert

Stations	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)
Voltaire	14,68685°	60,94368°
Gaschette	14,68685°	60,94375°
Mansarde amont	14,67806°	60,95753°
Mansarde aval	14,67228°	60,95962°

(Système de coordonnées : UTM fuseau 20 Fort Desaix)

Tableau 3 : Points de géo référencement des stations de mesure

23. Le recueil des données : mesure de la hauteur d'eau – évaluation du débit

L'objectif de ce paragraphe est de montrer comment à chaque site de mesure le choix d'une technique de jaugeage plutôt qu'une autre s'est effectué. Il s'agit également de revenir rapidement sur l'installation du matériel mobile ou ayant nécessité du génie civil afin de procéder aux mesures de terrain dans de bonnes conditions.

231. Stations Mansarde aval et amont

Pour les stations du sous-bassin Mansarde, des canaux venturi ont été installés.



Figure 18 : Station Mansarde aval (à gauche) et station Mansarde amont (à droite)

Ces canaux permettent, au vu de leur calibrage, de connaître les valeurs de débit par la formule suivante (données constructeur) :

$$Q(L/s) = 0.000000516 * H^3 + 0.00092 * H^2 + 0.0433 * H - 0.33211$$

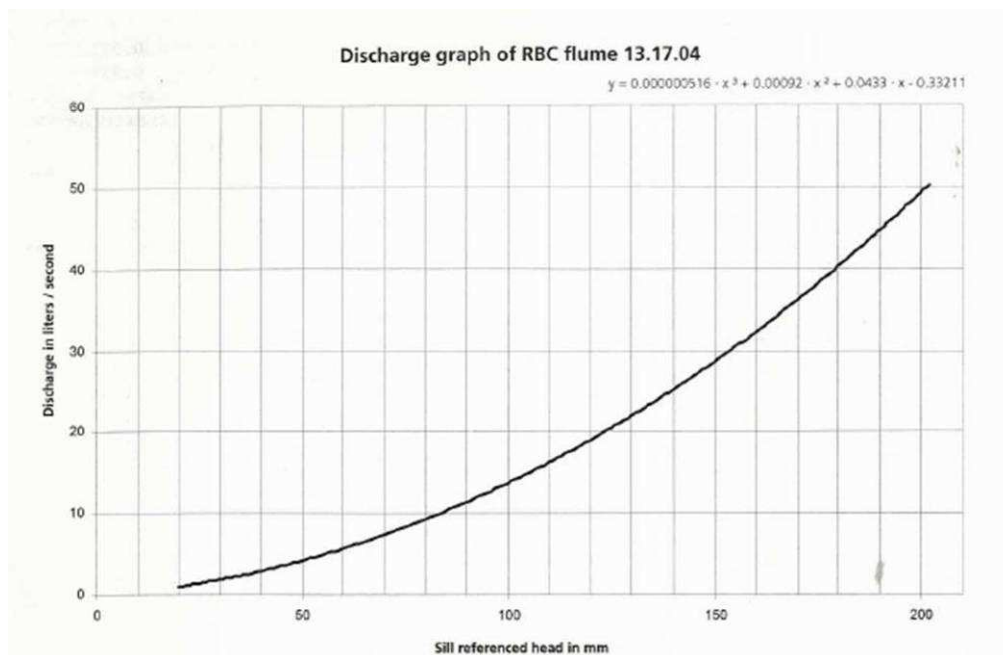


Figure 19 : Courbe de tarage constructeur canal venturi Mansarde

Cette formule est valide pour une hauteur H comprise entre 12mm et 202mm, soit une gamme de débit comprise entre 0,4 L/s et 50 L/s.

En saison humide, un débit d'étiage s'installe dans la ravine, celui-ci étant la plupart du temps inférieur à 0,4L/s, la hauteur d'eau mesurée ne peut être convertie en débit (hauteur hors gamme). Pour s'affranchir de cette limite, il a été choisi d'établir une relation linéaire entre le point 0 et le débit minimum mesurable dans le canal Venturi dont nous disposions.

On enregistre cette courbe de tarage dans Barème afin d'avoir accès dans un second temps aux possibilités fournies par DP pour le traitement des débits.

232. Station de la ravine Voltaire

La station Voltaire est équipée d'un seuil rectangulaire à crête épaisse et arêtes vives avec une contraction latérale (échancrure).



Figure 20 : Seuil de Voltaire

En octobre 2007, une passerelle a été réalisée pour traverser la rivière et pouvoir se placer au centre de la rivière en période de crue afin de procéder au jaugeage au moulinet.



Figure 21 : Mise en place d'une passerelle

Etape 1 : Définition de la section et des points de mesures

On se place toujours sur la même transversale pour réaliser la mesure, soit au niveau du bord amont de la passerelle. Sur celui-ci des marques à 25 cm de la rive droite, 50, 100, 150, 200 et 225 cm ont été réalisées, elles correspondent aux verticales du jaugeage. En fonction de la profondeur en chaque point, on réalise 1 à 3 points de mesures sur la verticale.

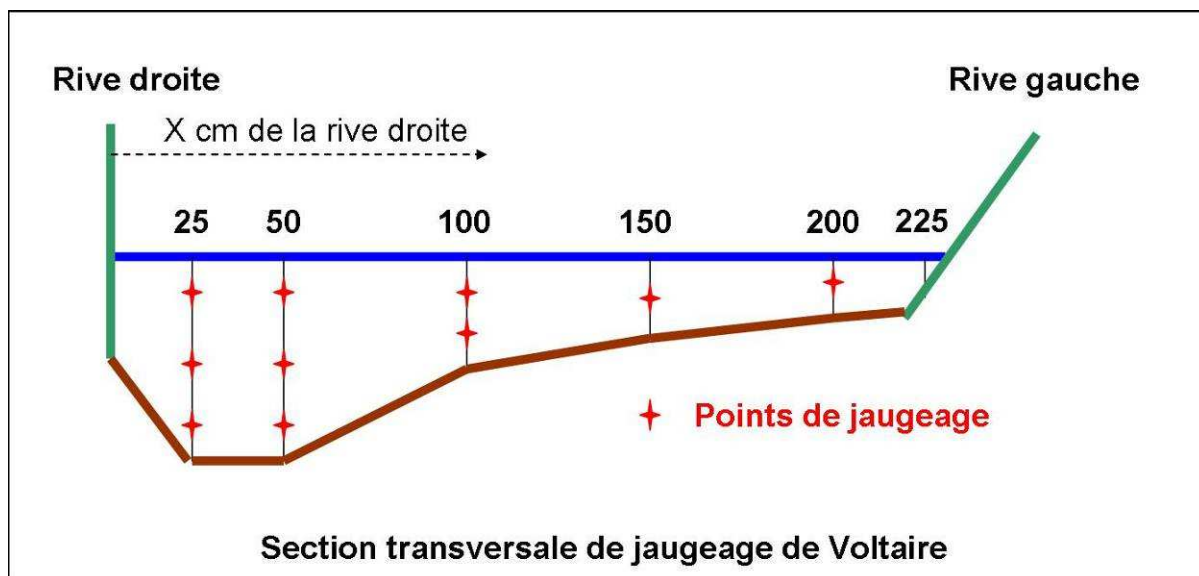


Figure 22 : Section transversale de Voltaire

En période de basses eaux, la vitesse n'étant pas suffisante, une canalisation de l'écoulement vers la sortie du seuil a été réalisée pour n'effectuer qu'un seul point de mesure dans la petite section d'eau canalisée.



Figure 23 : Illustrations du jaugeage en crue depuis la passerelle



Figure 24 : Illustrations du jaugeage en étiage (canalisation du flux et mesure)

Vingt huit jaugeages ont été réalisés sur la station Voltaire dont cinq en basses eaux et vingt trois en moyennes eaux au cours de quatre épisode de décrue.

Etape 2 : Dépouillement des jaugeages

La section de la rivière et les mesures en différents points de vitesse sont enregistrés dans le logiciel Barème. Le débit du cours d'eau est alors déduit pour une hauteur d'eau connue. Le détail de cette opération est précisé en annexe de ce rapport, seul le résultat final est détaillé dans le tableau ci-dessous.

Voltaire à VOLTAIRE (T7099030)							
Jaugeage Edition Options Spécial Station							
Liste des jaugeages							
Date-heure de début	Date-heure de fin	Numéro du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m ³ /s)	Section mouillée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Mode de jaugeage
20/01/2009 14:00	20/01/2009 14:30	28	29	0.008	0.02	0.41	PP
01/12/2008 09:34	01/12/2008 09:50	27	35	0.043	0.35	0.12	PP
16/10/2008 15:45	16/10/2008 16:02	26	36	0.044	0.321	0.14	PP
16/10/2008 15:26	16/10/2008 15:40	25	36.9	0.050	0.339	0.15	PP
16/10/2008 15:15	16/10/2008 15:26	24	37.1	0.047	0.34	0.14	PP
16/10/2008 14:59	16/10/2008 15:15	23	37.9	0.065	0.402	0.16	PP
16/10/2008 14:38	16/10/2008 14:58	22	39	0.072	0.442	0.16	PP
11/10/2008 17:35	11/10/2008 17:55	21	52	0.179	0.871	0.21	PP
11/10/2008 17:15	11/10/2008 17:35	20	52.5	0.193	0.906	0.21	PP
11/10/2008 16:55	11/10/2008 17:15	19	65	0.606	1.23	0.49	PP
11/10/2008 16:35	11/10/2008 16:55	18	66.5	0.675	1.27	0.53	PP
11/10/2008 16:15	11/10/2008 16:35	17	68	0.666	1.25	0.53	PP
11/10/2008 15:55	11/10/2008 16:15	16	66.5	0.532	1.28	0.42	PP
11/10/2008 15:35	11/10/2008 15:55	15	63	0.399	1.19	0.34	PP
11/10/2008 15:15	11/10/2008 15:35	14	53	0.192	0.939	0.20	PP
11/10/2008 14:55	11/10/2008 15:15	13	53.5	0.208	0.951	0.22	PP
11/10/2008 14:35	11/10/2008 14:55	12	54.5	0.217	0.948	0.23	PP
11/10/2008 14:15	11/10/2008 14:35	11	55.5	0.296	0.971	0.30	PP
11/10/2008 13:55	11/10/2008 14:15	10	57	0.297	0.971	0.31	PP
11/10/2008 13:35	11/10/2008 13:55	9	58.5	0.354	1.07	0.33	PP
11/10/2008 13:15	11/10/2008 13:35	8	60	0.385	1.03	0.37	PP
06/10/2008 16:00	06/10/2008 16:28	7	35.8	0.036	0.336	0.11	PP
06/10/2008 15:50	06/10/2008 16:20	6	36.3	0.038	0.336	0.11	PP
06/10/2008 14:55	06/10/2008 15:24	5	38.6	0.048	0.375	0.13	PP
17/12/2007 11:25	17/12/2007 11:32	4	27.3	0.004	0.011	0.41	PP
07/12/2007 09:30	07/12/2007 09:38	3	27.1	0.005	0.012	0.40	PP
03/12/2007 15:26	03/12/2007 15:34	2	27	0.005	0.014	0.36	PP
18/06/2007 10:30	18/06/2007 10:50	1	26.7	0.003	0.023	0.12	PP

Figure 25 : Tableau récapitulatif des jaugeages sur Voltaire

Etape 3 : Etablissement de la courbe de tarage : ceci fait l'objet de la partie 3.

233. Station de la rivière Gaschette

La station Gaschette est équipée d'un seuil à section rectangulaire à arêtes arrondies et à contraction latérale. A la sortie du seuil, l'eau est canalisée dans un ouvrage hydraulique (dalot béton).



Figure 26 : Station de mesure Gaschette

Pour ce site, l'accès n'étant pas aisé et la sécurité des agents non assurée lors des crues, le jaugeage au moulinet n'a pas été envisagé en crue mais seulement en basses eaux.

Afin d'obtenir les mesures de débits en moyennes et hautes eaux, trois techniques ont été pressenties : la formule de seuil, le jaugeage au sel et la formule de Manning Strickler employée dans l'ouvrage hydraulique dont les dimensions de section sont précises.

Jaugeage au moulinet

Le principe est le même que pour la station de Voltaire, quatre jaugeages ont été fait en étiage et deux en début de crue. On obtient les résultats suivants.

Gaschette à PT RN GASCHETTE (T7099010)							
Jaugeage Edition Options Spécial Station							
Liste des jaugeages							
Date-heure de début	Date-heure de fin	Numéro du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m3/s)	Section mouillée (m²)	Vitesse moyenne (m/s)	Mode de jaugeage
01/12/2008 13:30	01/12/2008 13:50	6	25.9	0.141	0.569	0.25	PP
01/12/2008 08:41	01/12/2008 09:27	5	14	0.012	0.354	0.03	PP
17/12/2007 10:50	17/12/2007 11:02	4	12.2	0.002	0.007	0.28	PP
07/12/2007 10:15	07/12/2007 10:25	3	12.1	0.002	0.005	0.29	PP
03/12/2007 14:38	03/12/2007 14:44	2	12.2	0.002	0.007	0.24	PP
18/06/2007 10:00	18/06/2007 10:02	1	12	0.002	0.007	0.28	PP

Figure 27 : tableau récapitulatif des jaugeages au moulinet sur Gaschette

Formule de Manning Strickler

Afin d'utiliser cette méthode, les caractéristiques du canal ont été mesurées (dimensions du canal et pente de l'ouvrage) afin de réaliser le calcul.

Dimension du canal

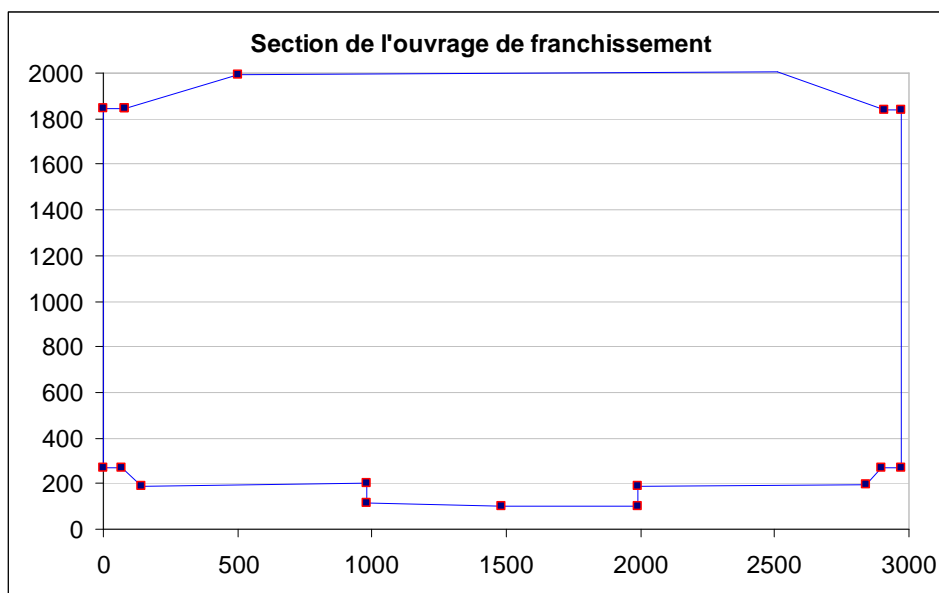


Figure 28 : Dimension du canal

Mesure de la pente

Pour mesurer la pente, des points de hauteur ont été relevés à l'aide d'une mire et d'un théodolithe (niveau optique) avec la DIREN et IRD le 16/06/2007.



Figure 29 : Illustrations de la mesure de la pente du canal au théodolithe

Distance m	Rive gauche		Visée mire Milieu	Rive droite	
	Haut	Bas		Haut	Bas
1	1240	1501	1512	1511	1223
14.40			1673		
36.20	1598	1890	1900	1875	1600

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des visées

On obtient donc la pente $I_f = (1900-1512) / (36200-1000) = 1,1\%$

Choix du coefficient de Manning Strickler

Il s'agit d'un canal en béton dans un état moyen ; on retiendra donc un coefficient de 75 (cf. tableau des valeurs définis dans « Matériels et Méthodes »).

Mesure de la hauteur d'eau dans le canal

Une échelle limnimétrique a été installée à l'intérieur du canal afin d'établir une correspondance entre la hauteur avant le seuil (mesurée par la sonde de pression) et la hauteur dans le canal (qui servira au calcul de la formule).

Cette technique peut s'appliquer dans notre cas seulement pour de fortes crues car la hauteur d'eau doit dépasser 500 mm pour commencer à remplir correctement le canal et pouvoir appliquer la formule (lecture de la hauteur sur l'échelle limnimétrique).

Finalement, des fortes crues ont été observées mais l'échelle n'était alors pas encore placée. Cette technique n'a donc pas été utilisée.

Jaugeage au sel

Le matériel utilisé étant celui de la DIREN, seule une campagne a pu être réalisée (appareil acquis en novembre 2008). Les résultats sont notés dans le tableau ci-dessous.

Liste des jaugeages							
Date-heure de début	Date-heure de fin	Numéro du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m ³ /s)	Section mouillée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Mode de jaugeage
06/01/2009 11:11	06/01/2009 11:18	9	14.8	0.017			AU
06/01/2009 10:55	06/01/2009 11:01	8	15.3	0.019			AU
06/01/2009 10:40	06/01/2009 10:48	7	15.7	0.026			AU

Figure 30 : Tableau récapitulatif des jaugeages au sel

Formule de seuil

Ayant peu de jaugeages disponibles par la technique employée (jaugage au sel), et notamment en épisodes de crues, il a été décidé de calculer mathématiquement le débit à l'aide d'une formule de seuil.

Le choix du coefficient de seuil μ a été établi en fonction des trois mesures réalisées au moulinet et en faisant l'estimation qu'en fort débit ($h > 2m$), la valeur de μ est de 0,5 (donnée à dire d'experts après concertation avec la DIREN).

On en déduit la relation suivante :

hauteur en m	μ calculé (sans unité)
0.121	0.14
0.140	0.26
0.259	0.32
2.01	0.5

Correspondance des μ et
hauteurs d'eau

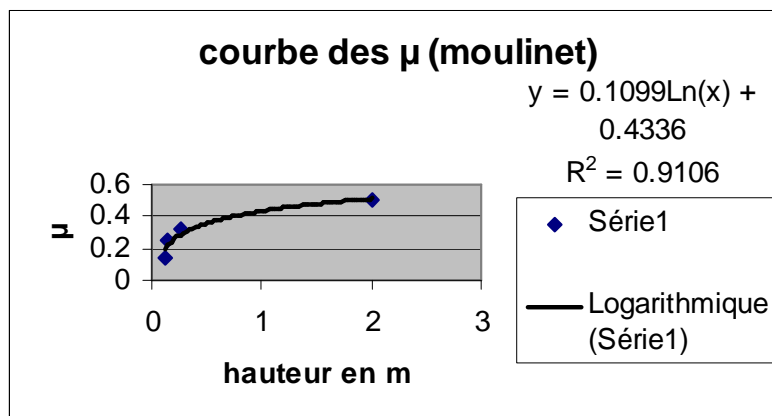


Figure 31 : Etablissement de la relation du coefficient de seuil

On calcule alors pour différentes hauteurs intermédiaires le débit. Les jaugages calculés sont notés dans le tableau ci-dessous (logiciel Barème).

Liste des jaugages							
Date-heure de début	Date-heure de fin	Numéro du jaugage	Cote retenue (cm)	Débit (m ³ /s)	Section mouillée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Mode de jaugage
05/02/2009 11:19	05/02/2009 11:20	26	150	8.41			AU
05/02/2009 11:17	05/02/2009 11:18	25	75	2.40			AU
05/02/2009 11:15	05/02/2009 11:16	24	50	0.995			AU
05/02/2009 09:58		23	199.5	13.2			AU
05/02/2009 09:55		22	185	11.8			AU
05/02/2009 09:53		21	184.6	11.8			AU
05/02/2009 09:50		20	100	4.24			AU
05/02/2009 09:49		19	27	0.160			AU
05/02/2009 09:48		18	26.5	0.150			AU
05/02/2009 09:47		17	26	0.142			AU
05/02/2009 09:46		16	24	0.111			AU
05/02/2009 09:45		15	20.5	0.061			AU
05/02/2009 09:44		14	20	0.056			AU
05/02/2009 09:43		13	19.5	0.052			AU
05/02/2009 09:42		12	16	0.027			AU
05/02/2009 09:41		11	11.5	0.001			AU
05/02/2009 09:40		10	11.2	0.000			AU

Figure 32 : Tableau récapitulatif des valeurs de débit obtenues par la formule de seuil

L'ensemble de ces mesures vont donc nous permettre d'établir la courbe de tarage. Le traitement des données acquises et l'obtention de cette courbe fait l'objet de la partie suivante.

3. RESULTATS

Sont présentées dans ce paragraphe les courbes de tarage comme résultantes des protocoles et méthodes mis en œuvre selon le descriptif ci-dessus. Nous reviendrons sur l'analyse de ces résultats dans le dernier chapitre du rapport.

3.1 Courbe de tarage Mansarde

La courbe de tarage pour les stations de Mansarde correspond à la courbe constructeur, extrapolée pour les valeurs supérieures à la gamme et à un calcul linéaire pour les valeurs inférieures.

**Code couleur fiabilité de la mesure
(utilisé pour l'ensemble des courbes de tarage)**

Bleu : courbe validée par des mesures terrain (méthode aboutie)

Jaune : courbe constructeur non validée par des mesures terrain

Rouge : extrapolation à dire d'experts, à valider par des mesures terrain

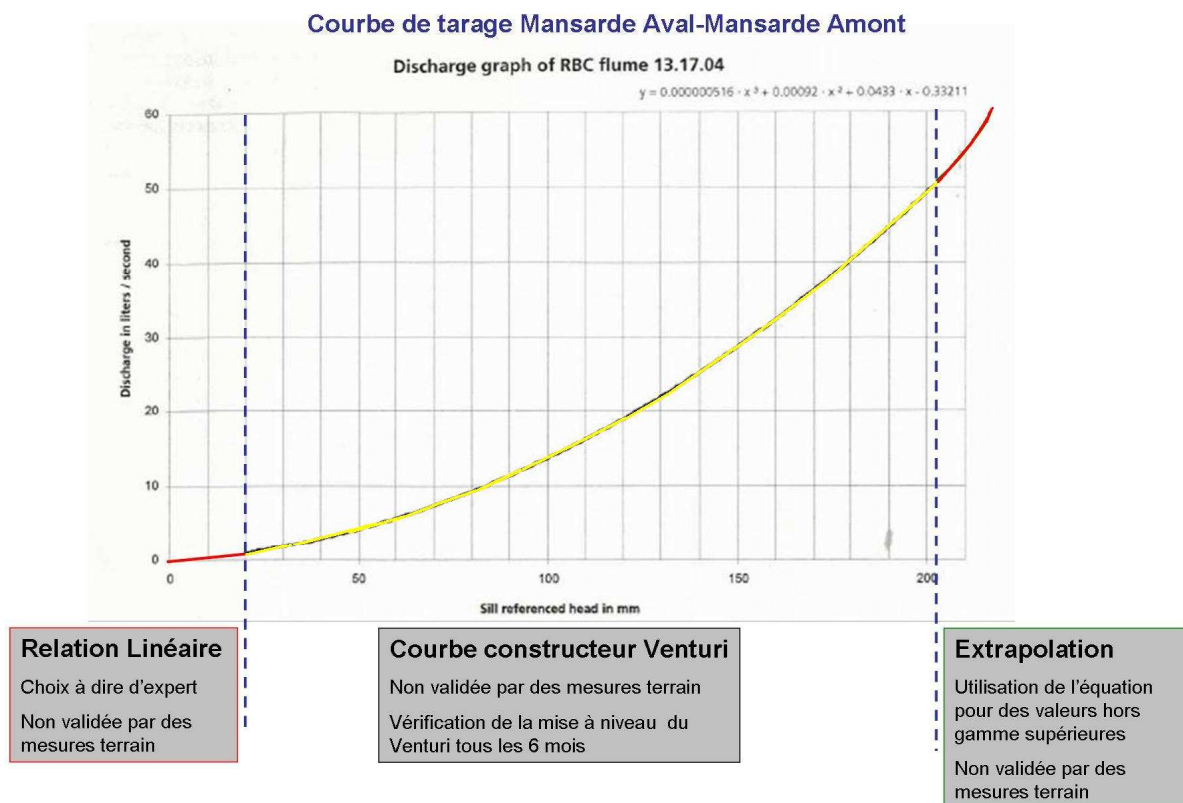


Figure 33 : Courbe de tarage Mansarde

3.2 Courbe de tarage station Voltaire

Deux outils ont été utilisés pour la construction de la courbe de tarage de la ravine Voltaire à la section instrumentée : les logiciels Barème et Excel.

3.1.1 Utilisation du logiciel Barème

Sous Barème, l'enregistrement des points hauteur d'eau – débit et le paramétrage de la section du cours d'eau permettent d'obtenir la courbe de tarage correspondante et présentée ci-dessous.

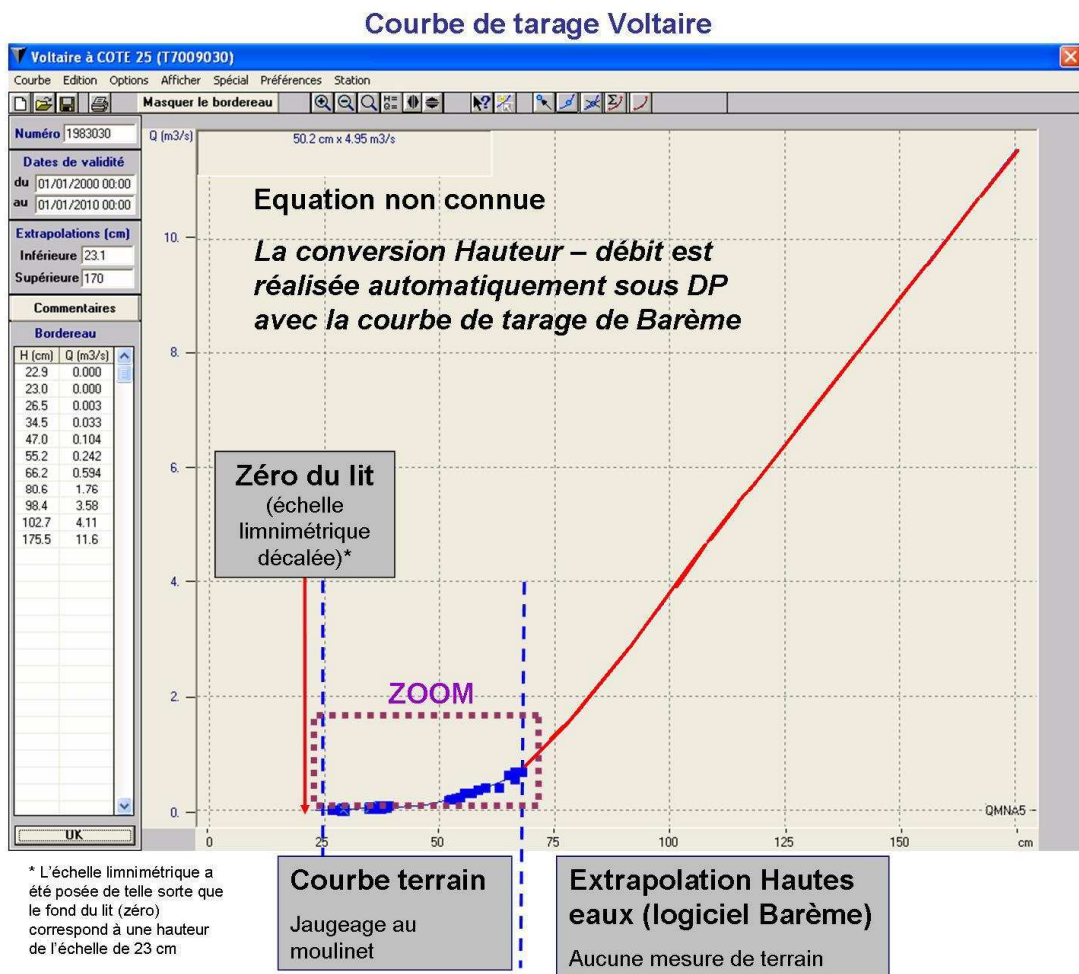


Figure 34 : Courbe de tarage de Voltaire sous Barème

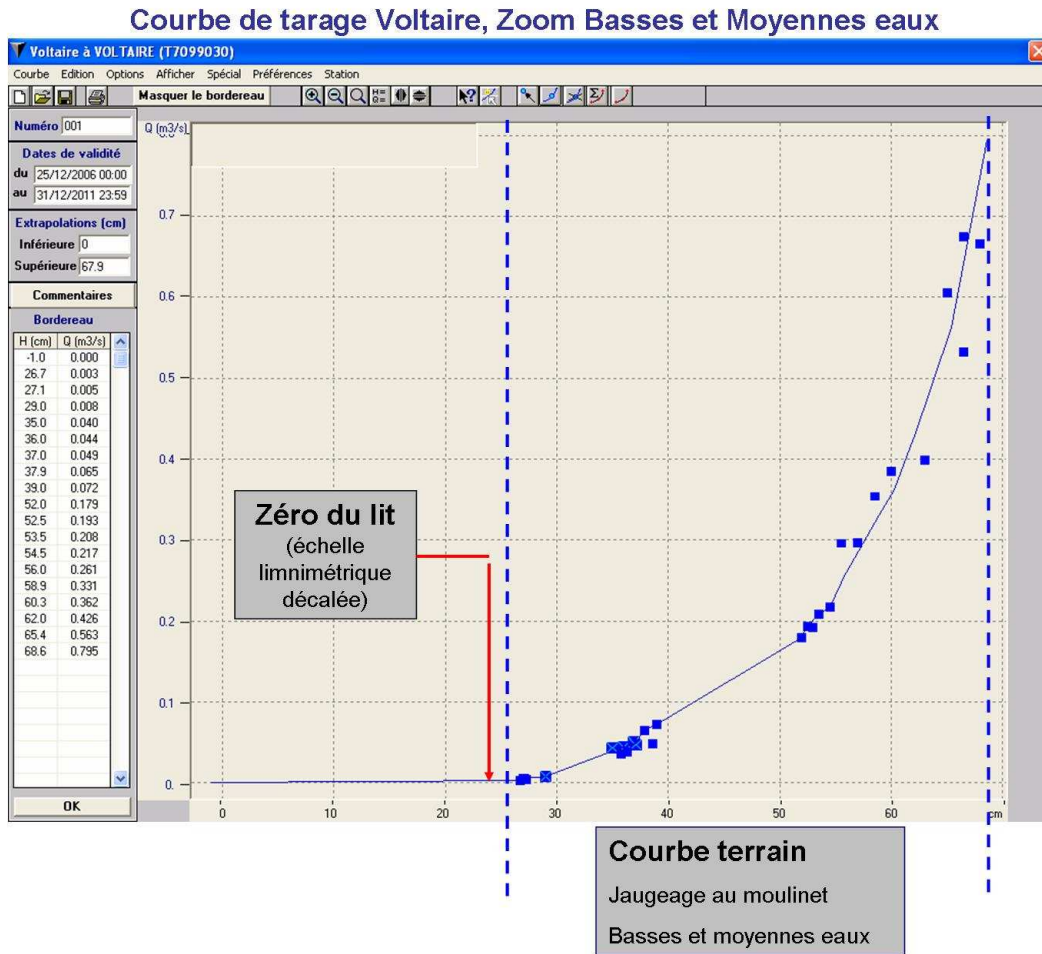


Figure 35 : Zoom sur les basses eaux, courbe de tarage Voltaire

3.1.2 Utilisation du logiciel Excel

Pour l'utilisation des données via le logiciel Excel, l'observation du comportement hydrologique du cours d'eau face à des événements pluvieux, nous a amené à construire deux courbes de tarage correspondant chacune à un régime particulier : rivière en étiage ou rivière en crue. En effet, afin d'obtenir la meilleure corrélation possible pour les différents types de régime hydrologique (étiage et crue), nous avons recherché le point au-delà duquel une faible augmentation de hauteur d'eau correspondait à une augmentation plus importante sur le débit qu'en période d'étiage. Au vu des jaugeages disponibles, le point le plus adapté correspond à une hauteur d'eau de 350 mm. Une courbe de tarage pour les « basses eaux », dont la hauteur d'eau est inférieure à 350 mm, ainsi qu'une courbe de « moyennes et hautes eaux » ont donc été construites suivant ce principe.

Les tableaux de données correspondants sont disponibles en annexe 2.

Pour les deux régimes, on obtient alors les courbes de tendance suivantes :

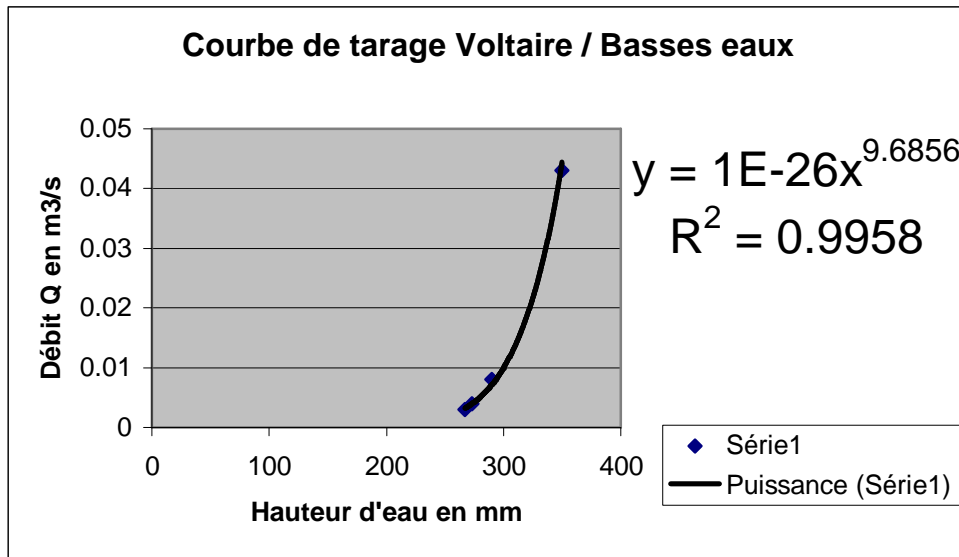


Figure 36 : Courbe de tarage de Voltaire « basses eaux » sous Excel

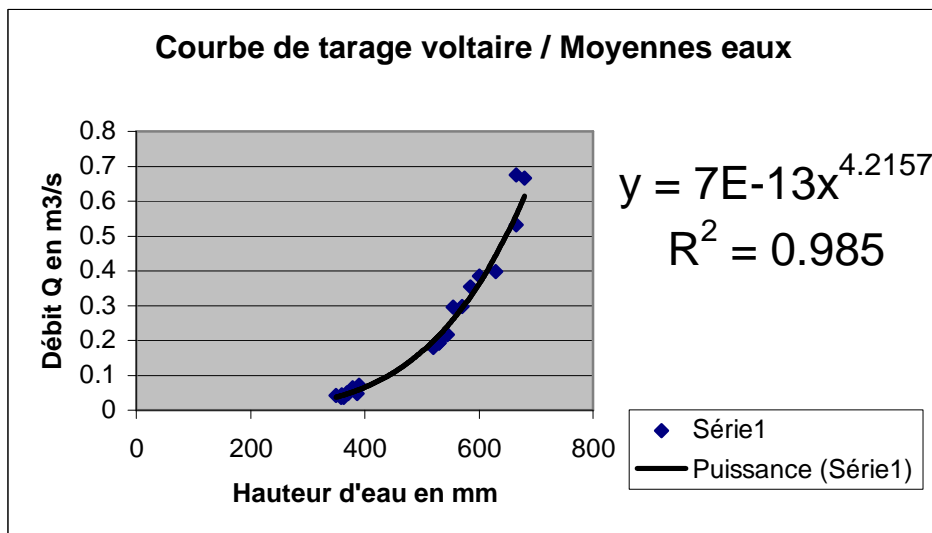


Figure 37 : Courbe de tarage de Voltaire « moyennes eaux » sous Excel

Ces courbes correspondent aux deux courbes de tarage de la ravine Voltaire à la section de mesure.

Les observations terrain régulières, croisées avec l'analyse des données météorologiques et climatiques sur la zone d'étude, nous ont amené à définir par « moyennes eaux » tous les événements de crues qui ont pu être observés et mesurés durant la campagne d'étude. En corollaire, les « hautes eaux » n'ont pu être appréhendées dans le cadre de l'étude, mais une extrapolation de la courbe « moyennes eaux » semblerait réaliste afin de caractériser le débit d'une crue extrême à partir de la hauteur d'eau mesurée à la section du lit étudiée. Nous verrons dans le chapitre 4 que cette hypothèse est plausible au vu des études antérieurement menées par l'ORSTOM en 1975.

⇒ Suite à la construction des courbes par les deux méthodes décrites ci-avant, les courbes élaborées via Excel n'ont pas été utilisées pour convertir la hauteur d'eau en débit. En effet, au niveau de la zone de recoupement (autour de 350 mm), les valeurs de la courbe « moyennes eaux » sont plus faibles que la courbe « basses eaux », les points sont donc inversés sur le paramètre débit. En revanche, Barème ne propose qu'une seule courbe et ne présente donc pas ce problème de correspondance de données : cette méthode a ainsi été préférée pour la suite des travaux.

3.2 Courbe de tarage station Gaschette

3.2.1 Utilisation du logiciel Barème

De la même façon que précédemment, la courbe de tarage de la rivière Gaschette au droit de la station de jaugeage est la suivante.

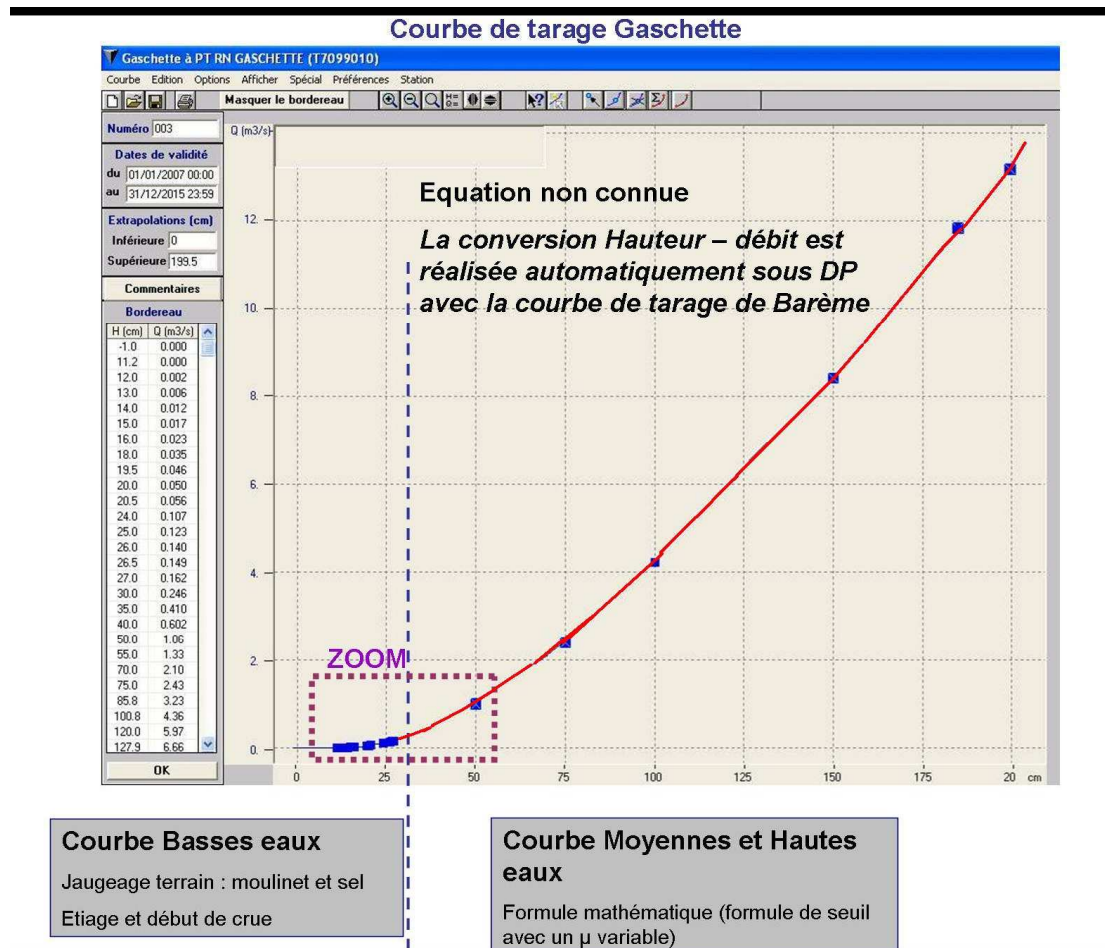


Figure 38 : Courbe de tarage de Gaschette sous Barème

Courbe de tarage Gaschette, zoom Basses et moyennes eaux

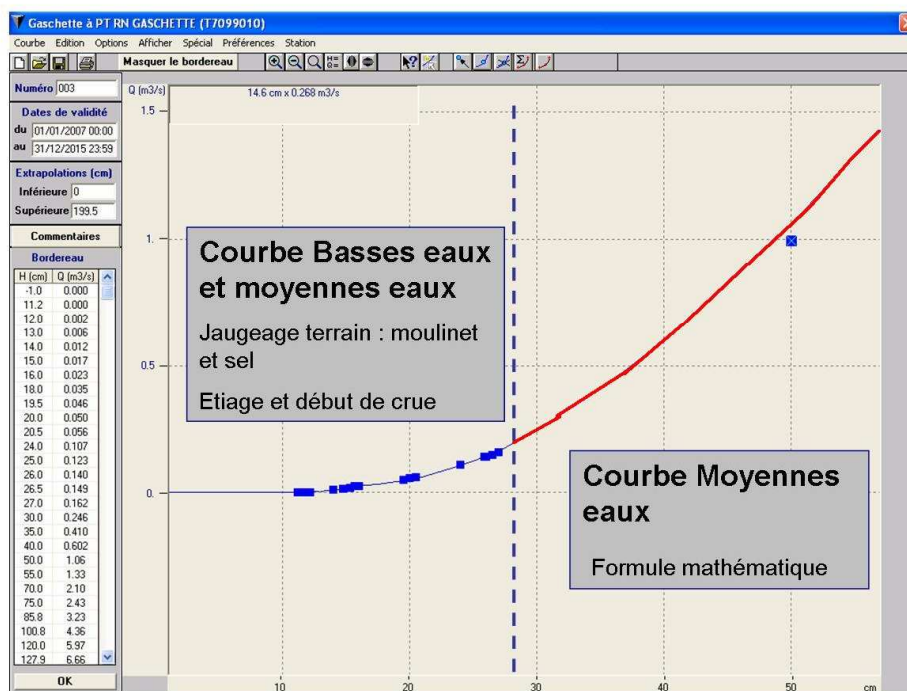


Figure 39 : Zoom basses eaux, courbe de tarage Gaschette

3.2.2 Utilisation du logiciel Excel

Sous Excel, une courbe de tendance permet d'obtenir une équation de corrélation entre hauteur d'eau et débit pour les basses eaux avec les quelques points de jaugeage au moulinet et au sel.

Hauteur en mm	Q m3/s
148	0.017
153	0.019
157	0.026
259	0.141
140	0.012
121	0.002

Tableau 5 : Table des données de jaugeage en basses eaux

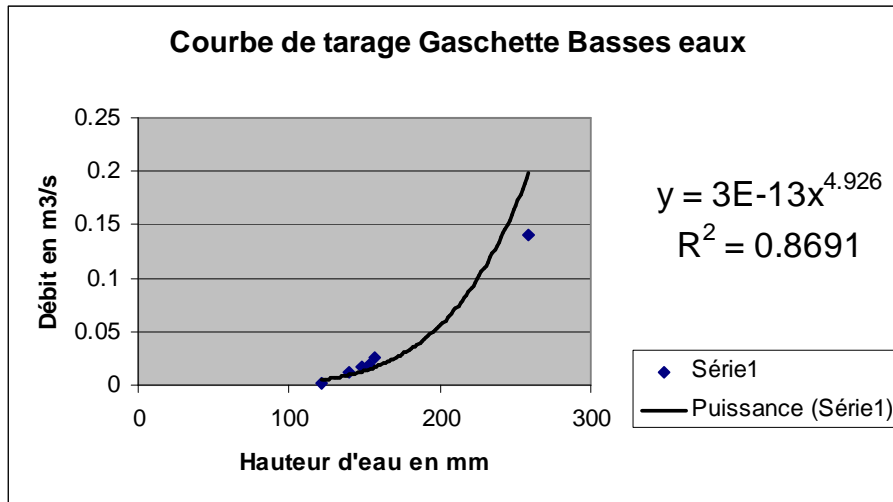


Figure 40 : Courbe de tarage « basses eaux » de Gaschette sous Excel

Pour les moyennes et hautes eaux, aucun point de jaugeage terrain n'a pu être réalisé. Aucune courbe de tendance n'est donc proposée pour ce régime hydrologique : on se reportera simplement à la formule de seuil mentionnée en supra.

Pour établir la correspondance, nous avons utilisé dans le cas de la station Gaschette la courbe de tarage créée sur Barème. Cependant l'utilisation de la courbe « basses eaux » d'Excel et de la formule de seuil auraient pu être réalisées. Par souci d'homogénéité avec la station Voltaire, la courbe créée sous Barème a été conservée.

Il serait désormais intéressant d'étudier les débits fournis par barème et les débits obtenus par courbe de tendance sous Excel afin de comparer les deux méthodes. Par manque de temps, ces tests de cohérence et de validité n'ont pu être réalisés dans le cadre de l'étude.

Conclusion

Les courbes de tarage pour les rivières Gaschette et Voltaire ont ainsi été réalisées à partir de différentes techniques de jaugeage choisies en fonction des caractéristiques de site. Ces courbes de tarage permettent ainsi, par le suivi en continu de la hauteur d'eau, de calculer le débit instantané qui transite par la section du cours d'eau au droit de la mesure. Le débit ainsi calculé renseigne l'agent en charge du suivi sur le régime hydrologique du cours d'eau, dépendant des conditions agro-pédo-climatiques passées et actuelles.

4. ANALYSE CRITIQUE DES RESULTATS – PROSPECTIVE

41. Dispositifs et méthodologies de suivi

4.1.1 Analyse méthodes de jaugeage sur Mansarde

Nous aurions pu diversifier les méthodes de jaugeage sur les ravines Mansarde, mais les objectifs fixés étant atteints et au vu du temps imparti elles n'ont pas été pratiquées. Cependant, des jaugeages au moulinet pourraient être réalisés pour confirmer les valeurs données par le constructeur. Ces mesures permettraient en outre de vérifier régulièrement, comme ce qui se fait sur les Venturi installés sur les stations de traitement des eaux usées dans le cadre de l'autocontrôle des matériels de mesure, la planitude du canal, assurant ainsi la fiabilité des mesures. Cette vérification semble importante dans une ravine où les éléments charriés et les possibles mouvements de terrain peuvent amener des changements légers dans la topographie des lieux.

Le choix du canal venturi avait été fait suite à des observations de terrain en 2006 qui donnaient une estimation d'un débit de 30L/s en pic de crue dans la ravine. Le retour d'expérience acquis suite à l'étude nous permet de faire quelques préconisations d'usage utiles pour la suite des travaux ou pour d'éventuelles études du même type.

Les observations de 2007-2008 ont montré que ce canal était sous-dimensionné, on observe souvent des débits supérieurs à 50L/s et cela peut être expliqué par une urbanisation et donc une imperméabilisation des zones amont croissante. De plus, les observations ont montré qu'en saison humide, il existe un débit d'étiage dans la ravine, sorte de « bruit de fond » inférieur à 0,4L/s. Le canal installé ne nous a donc pas permis de suivre correctement le flux d'eau en étiage des ravines.

Au vu de ces observations, des préconisations semblent nécessaires pour de tels suivis en ravine, et notamment :

- Installer deux canaux Venturi en série : un plus petit pour les flux d'étiage et un plus grand pour les pics de fortes crues ;
- Installer un système de « seuil fixe » dans la ravine afin de mieux étudier leur fonctionnement hydrologique. Le seuil fixe triangulaire semble le plus adapté car sa forme en V permet le plus souvent de couvrir une plage de débits importante.

4.1.2 Analyse méthode de Manning Strickler sur Gaschette

La disponibilité de l'échelle limnimétrique sur la station de mesure permet aujourd'hui d'appliquer la relation de Manning Strickler afin de procéder à de nouveaux jaugeages en hautes eaux. Il convient cependant d'apporter des précautions d'usage à cette formule sur ses conditions d'utilisation. En effet, la relation de Manning Strickler s'emploie dans des conditions supposées proches du régime permanent et uniforme. Le régime torrentiel caractéristique des écoulements martiniquais, et en particulier sur le bassin versant du Robert où les pentes sont très importantes, est donc par définition non permanent et non uniforme. L'application de la formule peut toutefois s'envisager dans le cas des hautes eaux, car au droit de cette section un tronçon amont suffisamment long permet de « calmer » la turbulence des

eaux, et les hauteurs d'eau sont telles que tout obstacle devient transparent et ne crée pas de « ressaut hydraulique » majeur. Le régime est donc proche d'un régime uniforme et l'approximation de Manning Strickler peut être testée : des tests de validité seraient ultérieurement nécessaires afin de poursuivre les investigations sur les techniques de jaugeage les plus pertinentes et aisées à mettre en œuvre.

A noter que suite aux événements des fortes pluies du 5 mai, l'échelle a été arrachée. Une réinstallation devra être faite si l'on veut utiliser cette méthode à l'avenir.

4.2. Ravine Voltaire : comparaison avec la courbe de tarage « ORSTOM 1975 »

Le graphique ci-dessous superpose les points de jaugeage réalisés par :

- L'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique et Technique de l'Outre-Mer, devenu Institut de Recherche pour le Développement ou IRD) dans les années 1970. Cet organisme étudiait ainsi l'hydrologie des bassins versants et avait à ce titre installé une station de mesure reprise pour les besoins de l'étude.
- Le CEMAGREF dans le cadre de la présente étude.

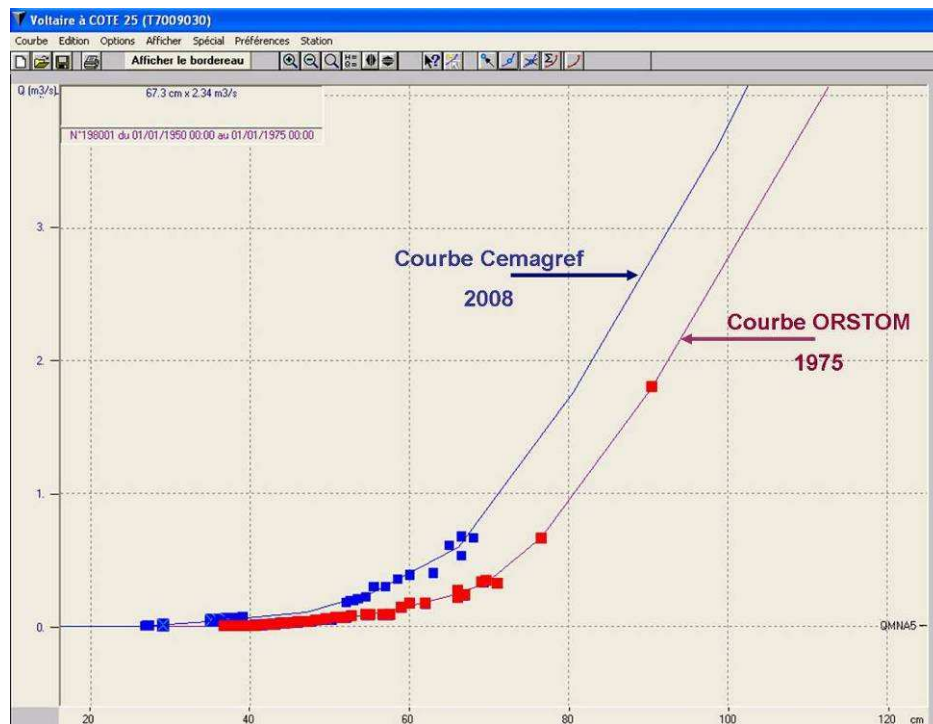


Figure 41 : Superposition des courbes de tarage Cemagref et ORSTOM de Voltaire sous Barème

Interprétation :

- 1) Les courbes suivent la même tendance. Le fonctionnement général du cours d'eau suit le même comportement d'ensemble. Nous vérifions ici que l'extrapolation sur le régime des plus hautes eaux semble cohérente avec ce qu'avait pu estimer l'ORSTOM en 1975 : une mesure à 90 mm pour environ 2 m³/s avait alors été jaugée.

2) Pour une hauteur d'eau donnée, le débit instantané sur la section est plus élevé si l'on suit la courbe CEMAGREF 2008 que celle de ORSTOM 1975.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises suite à cette observation :

- Un apport d'eau issu du secteur amont accéléré et lié à une imperméabilisation croissante des surfaces anciennement en friche ou cultivées, provoquant ainsi une augmentation des vitesses d'écoulement et ce faisant du débit instantané à la station de mesure.
- Un élargissement moyen du lit s'est produit : la dynamique de transport solide érosion – sédimentation modifie les caractéristiques morphologiques d'un cours d'eau. L'hydromorphologie du cours d'eau, i.e. les liens entre hydrologie et morphologie du cours d'eau sur un tronçon donné, a pu évoluer en fonction de l'occupation des sols constatée sur le bassin versant amont. L'accélération des écoulements décrite ci-dessus a pu avoir pour conséquence une augmentation des phénomènes d'érosion au droit du tronçon étudié (dont les matériaux ont pu être déposés plus en aval ou transiter vers la baie) et ainsi augmenter la section du lit. L'observation de la section du lit ayant servi pour les mesures laisse effectivement apparaître une dégradation nette de la berge en rive gauche (rive concave) : les travaux d'entretien du cours d'eau, mais également les phénomènes de crues extrêmes rencontrés depuis le début de l'étude, ont ainsi pu provoquer une déstabilisation et un départ de matériaux de la berge, augmentant ainsi la largeur de plein bord et donc le débit pour une même hauteur d'eau mesurée.

43. Evènements de la nuit du 4 au 5 mai 2009 : conséquences sur les stations de mesure et l'application de la courbe de tarage pour la ravine Voltaire

Lors de la nuit du 4 au 5 mai 2009, la Martinique a connu des évènements pluvieux d'une rare intensité : la station Météo France du Robert (Duchène), enregistraient à 8 h du matin les valeurs suivantes :

- 310 mm sur 12 h
- 185 mm sur 3 h
- 85 mm entre 3 h et 4 h du matin.

Ces valeurs jamais égalées sur la campagne de mesures effectuée ont provoqué des inondations dans la majorité des communes littorales de l'île et eu de multiples conséquences sur le paysage martiniquais. Les dégâts causés sont d'une ampleur sans précédent.

Les conséquences sur les stations de mesure implantées au Robert sont tout aussi importantes : la déstabilisation et la destruction des principaux ouvrages et équipements ne permet à l'heure actuelle plus aucune mesure.

- Sur la station Gaschette, l'échelle limnimétrique posée durant l'étude et des sondes électroniques ont été arrachées.
- Sur la station Mansarde, le canal Venturi aval a été comblé par des gravats et blocs rocheux, la sonde de pression a également été ensevelie. Les deux plages de canalisation des écoulements en PVC ont été totalement détruites.
- Sur la station Voltaire : nous avons fait le constat d'un changement complet de morphologie du lit du cours d'eau. Ce constat témoigne de la puissance de l'évènement, le lit du cours d'eau s'étant accru de près de 3 fois sa largeur initiale. D'après les données ORSTOM recueillies, le seuil avait été installé en 1975 et

réhabilité en 1983. Sa largeur correspondait au lit moyen du cours d'eau et était jusqu'alors bien dimensionné.

Compte-tenu de la modification notable de la section du lit du cours d'eau, ainsi que de la morphologie générale sur tout le linéaire de part et d'autre de la station, la courbe de tarage élaborée et proposée dans ce rapport n'est plus valide à ce jour. Elle servira néanmoins à l'étude sur les données de flux d'eau et de pesticides acquises depuis le lancement des études.



Figure 42 : Photographies avant et après du lit en amont de la station de mesure
Voltaire

L'ensemble du matériel a ainsi été endommagé :

- passerelle emportée,
- seuil enseveli,
- support béton pour les sondes de mesure brisé,
- station d'acquisition inondée.



Figure 43 : Vues de la passerelle : avant / après l'évènement

Conclusion

La connaissance et la mesure des débits des cours d'eau est une étape indispensable à la compréhension du fonctionnement des bassins versants. Pour ce faire, la mesure en continu des hauteurs d'eau à une section donnée permet, par conversion hauteur d'eau – débit, de connaître à des pas de temps très courts le débit instantané du cours d'eau suivi.

Sur les cours d'eau et ravines instrumentés dans le cadre du site-atelier de la baie du Robert, la courbe de tarage a été établie via diverses méthodes adaptées à chaque site de mesure. Cette relation se base sur des mesures de terrain pour les régimes des basses et moyennes eaux et sur une extrapolation concernant le régime des hautes eaux. Les corrélations établies semblent satisfaisantes pour donner une image réaliste du débit instantané des écoulements.

Ces courbes de tarage permettront désormais d'apprécier le régime hydrologique des cours d'eau, l'analyse des hydrogrammes de crues constituant l'un des points forts des études sur ce territoire. Cependant, les événements climatiques récents sur la Martinique ne permettent plus aujourd'hui l'utilisation de la courbe de tarage sur la ravine Voltaire, dont l'évolution du gabarit du cours d'eau au droit de la station ne répond plus aux caractéristiques physiques de la section étudiée.

Les relations hauteurs d'eau – débits proposées dans ce rapport permettront enfin et surtout d'effectuer l'ensemble des calculs de flux d'eau utiles à l'évaluation des transferts de produits phytosanitaires dans les eaux superficielles. L'approche quantitative mise en œuvre durant ces travaux cherchera ainsi à quantifier de manière innovante les transferts de pesticides durant les événements de crues. Les protocoles et méthodes de suivi utilisés ont ainsi constitué une démarche globale visant à contribuer à la connaissance globale du fonctionnement des hydrosystèmes terrestres à la Martinique.

Bibliographie

Hydrologie

Arnaud P., 2006, Cartographie des débits de crues de la Martinique, Phase 1 : la pluviométrie, Cemagref, Aix en Provence, 17p

Baume JP., Belaud G., Vion PY., 2004, Eléments d'hydraulique pour l'ingénieur, Cemagref-AgroM, 180p

CETMEF, 2005, Notice sur les déversoirs-Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs, Rapport Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, 89p

Gresser J., Marie P., 2007, *Mise en place de protocoles expérimentaux pour le suivi des produits phytosanitaires*. Rapport intermédiaire, Projet DIREN, 61p

Lamachere JM. et Seguis L., 1997, Nouvelles techniques de mesure des pluies, des débits liquides et solides sur parcelles agronomiques, rapport ORSTOM, 17 p

Lavabre J. & al, 2005, Estimation des débits de référence de crues à la Martinique, Phase 1 : la pluviométrie, Cemagref, Aix en Provence, 17p

Meunier M., 1999, *Les torrents du Nord-Ouest de la Martinique - Hydrologie des crues*, hydraulique et dynamiques torrentielles. Cemagref Editions. 403 p

Organisation Météorologique Mondiale, 2006, Règlement technique volume 3-Hydrologie, 104p

ORSTOM, archives 1975-1989, note de terrain, recueil données jaugeage, graphiques courbe de tarage station Voltaire, 15p

ORSTOM, 1976, Etude de l'écoulement de surface sur des petits bassins versants représentatifs dans le sud et centre de la Martinique, Compte rendu d'activité, 31p

Instrumentation et transferts de polluants

Charlier JB., 2007, Fonctionnement et modélisation hydrologique d'un petit bassin versant cultivé en milieu tropical, Thèse Lisah-Cirad Guadeloupe-Université Montpellier II, 246p

DIREN, 2007, Plaquette Qualité des milieux aquatiques en Martinique, 21fiches

Domange N., 2005, Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole (Rouffach, Haut Rhin), Thèse ULP, 328p

Garon Boucher-Margoum C., 2003, Contribution à l'étude du devenir des produits phytosanitaires lors de l'écoulements dans les fossés : caractérisation physico-chimique et hydrodynamique, thèse Cemagref, 282p

Gouy V. & al, 1998, Suivi du transfert des produits phytosanitaires sur les bassins versant et exemple de modélisation globale, Revue Ingénieries n°13, p3 à 14

Lacas JG., 2005, Processus de dissipation des produits phytosanitaires dans les zones tampons, thèse Cemagref-Université Montpellier II, 310p

Marie P., Lucas G., 2005, *Etude spatiale des risques agro-environnementaux*, Rapport annexé au rapport intermédiaire du programme Liteau II, 60p

Marie P., Pinte K., 2006, *Evaluer les risques agro-environnementaux à l'échelle de territoires : Diagnostic de l'érosion hydrique des sols agricoles sur le bassin versant de la baie du Rober*, Cahiers du PRAM n°6, p 36 à 40

Mathys N., 2006, Analyse et modélisation à différentes échelles des mécanismes d'érosion et de transport de matériaux solides. Cas des petits bassins versants de montagne sur marne (Draix, Alpes de Haute Provence), thèse INP Grenoble, 346 p

Pinte K., 2006, *Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la baie du Robert en Martinique*. Mémoire de stage de fin d'études de Master « agronomie-environnement », INA-PG, Projet DIACT, 52p + annexes

Prélèvements

Agence de l'Eau Loire Bretagne- GAY Environnement, 2006, Le prélèvement d'échantillons en rivière- Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques, Guide Technique, 134 p + annexes

DCE

MEDD, Agences de l'Eau, 2003, Système d'évaluation de la qualité de l'eau, version 2, 40p

CR, CG, MATE, Comité de bassin, 2002, SDAGE de la Martinique, volume 1 à 3, 315p

DIREN, ODE, Comité de bassin, 2004, SDAGE de la Martinique-tableaux de bord, 272p

DIREN, 2007, Loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006, powerpoint, 141 diapositives

Annexes

Annexe 1 : Utilisation du logiciel Barème – Enregistrement des jaugeages / Calcul du débit

L'ouverture du logiciel donne accès à l'interface suivante :



Chaque icône permet de travailler dans l'ordre sur :

- répertoire des stations
- jaugeages
- courbes de tarage
- sections
- événements

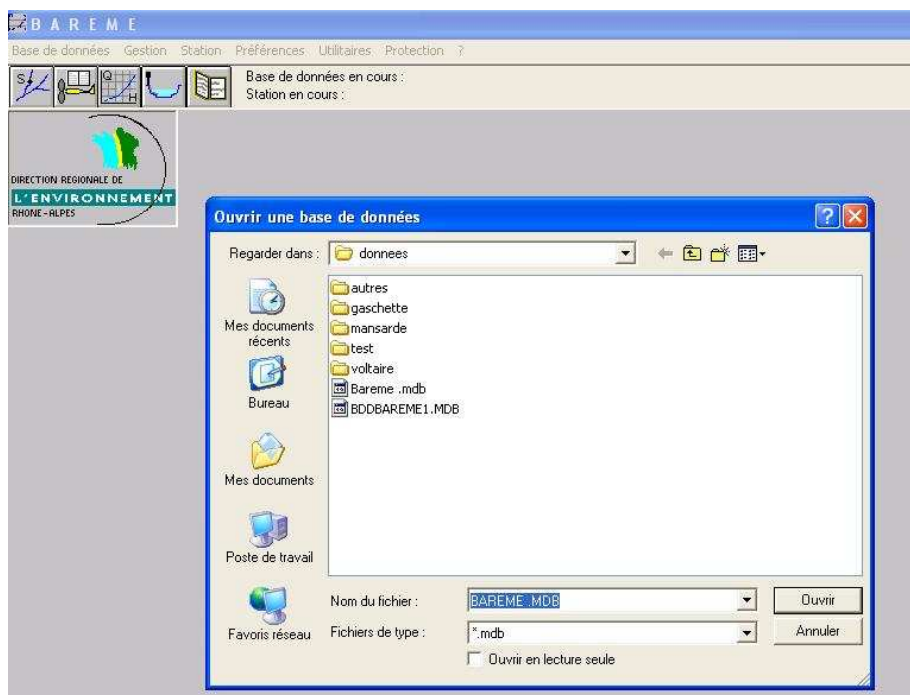
Travail sur répertoire de stations

Cette interface permet d'ajouter des stations et ainsi de créer la base de données stations appelée ici bareme.mdb

Cette première étape est fondamentale puisque pour tout travail il faudra faire appel à cette base puis sélectionner la station sur laquelle on veut travailler.

Pour cela :

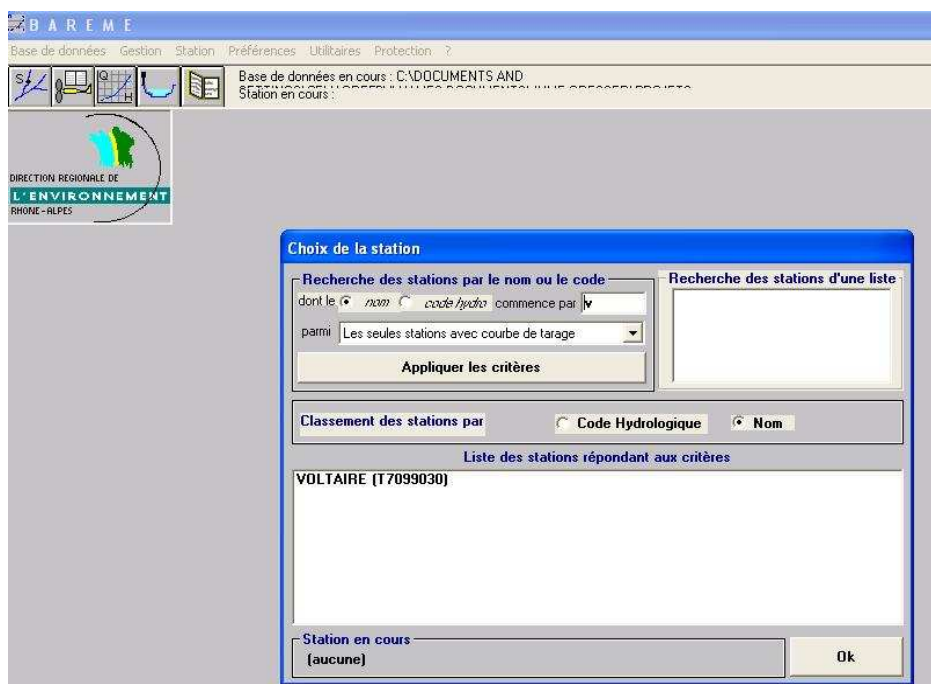
Base de données / ouvrir/ Bareme.mdb



Cliquer sur station (et choisir la station de travail)

Recherche des stations dont le nom commence par « v » : exemple « Voltaire »

Double cliquer sur la station souhaitée pour sélectionner cette station



Travail sur les jaugeages

Cette interface permet de rentrer les mesures terrain de jaugeages, la visualisation des résultats se fait ensuite dans l'interface « courbes de tarage ».

Cliquer sur l'icône « travail sur les jaugeages »

Une fois la station choisie, l'ensemble des différents jaugeages déjà réalisés apparaît au départ.

Voltaire à VOLTAIRE (T7099030)							
Jaugeage Edition Options Spécial Station							
Liste des jaugeages							
Date-heure de début	Date-heure de fin	Numéro du jaugeage	Cote retenue (cm)	Débit (m ³ /s)	Section mouillée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Mode de jaugeage
16/10/2008 15:45	16/10/2008 16:02	12	36	0.044	0.321	0.14	PP
16/10/2008 15:26	16/10/2008 15:40	11	36.9	0.050	0.339	0.15	PP
16/10/2008 15:15	16/10/2008 15:26	10	37.1	0.047	0.34	0.14	PP
16/10/2008 14:59	16/10/2008 15:15	9	37.9	0.065	0.402	0.16	PP
16/10/2008 14:38	16/10/2008 14:58	8	39	0.072	0.442	0.16	PP
06/10/2008 16:00	06/10/2008 16:28	7	35.8	0.036	0.336	0.11	PP
06/10/2008 15:50	06/10/2008 16:20	6	36.3	0.038	0.336	0.11	PP
06/10/2008 14:55	06/10/2008 15:24	5	38.6	0.048	0.375	0.13	PP
17/12/2007 11:25	17/12/2007 11:32	4	27.3	0.004	0.011	0.41	PP
07/12/2007 09:30	07/12/2007 09:38	3	27.1	0.005	0.012	0.40	PP
03/12/2007 15:26	03/12/2007 15:34	2	27	0.005	0.014	0.36	PP
18/06/2007 10:30	18/06/2007 10:50	01	26.7	0.003	0.023	0.12	PP

Pour ajouter de nouvelles mesures, il suffit de :

- 1) Cliquer sur jaugeage/ nouveau
- 2) Remplir la date, les côtes, le mode de jaugeage et la case commentaire de l'encadré pour chaque feuille de relevé terrain

Attention mettre des points et non des virgules pour les chiffres non entiers

- Pour la date : remplir jj/mm/aaaa hh :mm
- Pour la côte retenue : faire une moyenne adaptée en fonction du terrain (décrue sur 10s puis stagne à une valeur pendant 20s → côte plus proche de la valeur finale)
- mode de jaugeage : point par point
- commentaire : noms des jaugeurs

Voltaire à VOLTAIRE (T7099030)

Jaugeage Edition Options Spécial Station

Saisir / Modifier / Voir

Numéro du jaugeage 13 Cote retenue (cm)

Date et heure de début Cote de début (cm)

Date et heure de fin Cote de fin (cm)

Dépouiller le jaugeage

Débit (m³/s) Incertitude sur le débit (%)

Distance de la section de jaugeage à la station (m)

Section mouillée (m²) Vitesse moyenne (m/s)

Périmètre mouillé (m) Vitesse maxi (m/s)

Largeur au miroir (m) Vitesse maxi en surface (m/s)

Mode de jaugeage AU Autres

Commentaire

- 3) Cliquer sur dépouiller le jaugeage et remplir l'encadré

Cocher les cases suivantes (en référence à la méthode de jaugeage Cemagref, cf encadré ci dessous) :

- Verticales : point par point
- Unité : centimètres
- zéro : au fond
- sens des mesures : montée
- moulinet : C2, hélice n°1 (120935) ou C2, hélice n°3 (121033)
- temps de comptage : 30s

Dépouillement d'un jaugeage

Dépouillement Section Verticale Résultats Options_par_défaut Spécial

Options par défaut

Les verticales sont essentiellement traitées
☒ en point par point ☐ en intégration

Unité des longueurs/profondeurs/...
☒ Centimètres ☐ Mètres

Pour les verticales "point par point"
 Le zéro est : ☒ Au fond ☐ En surface
 Sens des mesures : ☐ Descente ☒ Montée
 Temps de comptage (s) : 30

Coefficients de rives : 0,67
 Coefficients de fond : 0,67

Moulinet utilisé : C2 N°1- 161048

Pour les verticales par intégration
 Hauteur aveugle : 16
 Coefficient K tel que $V_{prox\ fond} = K \times V_{moy}$: 0,67

4) Description de la section

Sélectionner dans la barre de tâches : Section

Pour un jaugeage, on peut réaliser plusieurs sections dans la rivière. Pour chaque section on réalise plusieurs verticales (ligne verticale sur laquelle on fait plusieurs points de mesures). Dans notre cas on réalise souvent plusieurs verticales sur une seule section. Remplir le nombre de verticales effectuées du jaugeage ainsi que l'abscisse et la profondeur des deux rives (on prendra la rive 1 pour la rive droite et la rive 2 pour la rive gauche).

Dépouillement d'un jaugeage

Dépouillement Section Verticale Résultats Options_par_défaut Spécial

Description des sections

Section numéro	Nombre verticales	Abscisse Rive1	Profondeur Rive1	Coefficient Rive1	Abscisse Rive2	Profondeur Rive2	Coefficient Rive2
1				0,67			0,67
2				0,67			0,67
3				0,67			0,67
4				0,67			0,67
5				0,67			0,67
6				0,67			0,67
7				0,67			0,67
8				0,67			0,67
9				0,67			0,67
10				0,67			0,67
11				0,67			0,67
12				0,67			0,67
13				0,67			0,67
14				0,67			0,67
15				0,67			0,67

5) Renseignement des verticales

Cliquer sur Verticale / première

Remplir les cases abscisse/ hauteur et les mesures hauteur/tours.

Vérifier le moulinet et le temps de comptage.

Dépouillement d'un jaugeage

Dépouillement Section **Verticale** Résultats Options_par_défaut Spécial

Verticale en point par point

Abscisse Hauteur totale

Section numéro 1
Verticale numéro 1

Mesures

	H	Trs
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Coefficient de fond
 Angle de dérive
 Moulinet
 Temps de comptage (s)

Passer à la seconde verticale en cliquant sur verticale/ suivante.
 Et ainsi de suite jusqu'à la dernière verticale.

Une fois l'ensemble des verticales rentrées, cliquer sur Dépouillement /valider

Enregistrer (icône)

Dans jaugeage / afficher la liste → vérifier que le jaugeage saisi a bien été enregistré.

→ On obtient alors pour la hauteur observée sur le terrain, le débit correspondant.

Annexe 2 : Tableaux de données
Points de jaugeage réalisés sur la ravine Voltaire

Attention, la morphologie du cours d'eau ayant été modifiée, ces valeurs ne sont valables que pour des mesures de hauteur d'eau antérieures au 4 mai 2009

Stations	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)
Voltaire	14,68685°	60,94368°

(Système de coordonnées : UTM fuseau 20 Fort Desaix)

Tableau 6 : Point de géo référencement de la station Voltaire

Date / Heure (début de jaugeage)	h en mm	Q en m ³ /s	Classe CT
18/06/2007 10 :30	267	0.003	basses eaux
03/12/2007 15 :26	270	0.005	basses eaux
07/12/2007 09 :30	271	0.005	basses eaux
17/12/2007 11 :32	273	0.004	basses eaux
20/01/2009 14 :30	290	0.008	basses eaux
01/12/2008 09 :34	350	0.043	basses eaux

Tableau 7 : Points de jaugeages en « basses eaux »

Date / Heure (début de jaugeage)	h en mm	Q en m ³ /s	Classe CT
01/12/2008 09 :34	350	0.043	Moyennes eaux
06/10/2008 16 :00	358	0.036	Moyennes eaux
16/10/2008 15 :45	360	0.044	Moyennes eaux
06/10/2008 15 :50	363	0.036	Moyennes eaux
16/10/2008 15 :26	369	0.05	Moyennes eaux
16/10/2008 15 :15	371	0.047	Moyennes eaux
16/10/2008 14 :59	379	0.065	Moyennes eaux
06/10/2008 14 :55	386	0.048	Moyennes eaux
16/10/2008 14 :38	390	0.072	Moyennes eaux
11/10/2008 17:35	520	0.179	Moyennes eaux
11/10/2008 17:15	525	0.193	Moyennes eaux
11/10/2008 15 :15	530	0.192	Moyennes eaux
11/10/2008 14 :55	535	0.208	Moyennes eaux
11/10/2008 14 :35	545	0.217	Moyennes eaux
11/10/2008 14 :15	555	0.296	Moyennes eaux
11/10/2008 13 :55	570	0.297	Moyennes eaux
11/10/2008 13 :35	585	0.354	Moyennes eaux
11/10/2008 13 :15	600	0.385	Moyennes eaux
11/10/2008 15 :35	630	0.399	Moyennes eaux
11/10/2008 16 :35	665	0.675	Moyennes eaux
11/10/2008 15 :55	665	0.532	Moyennes eaux
11/10/2008 16 :15	680	0.666	Moyennes eaux

Tableau 8 : Points de jaugeages en « moyennes eaux »

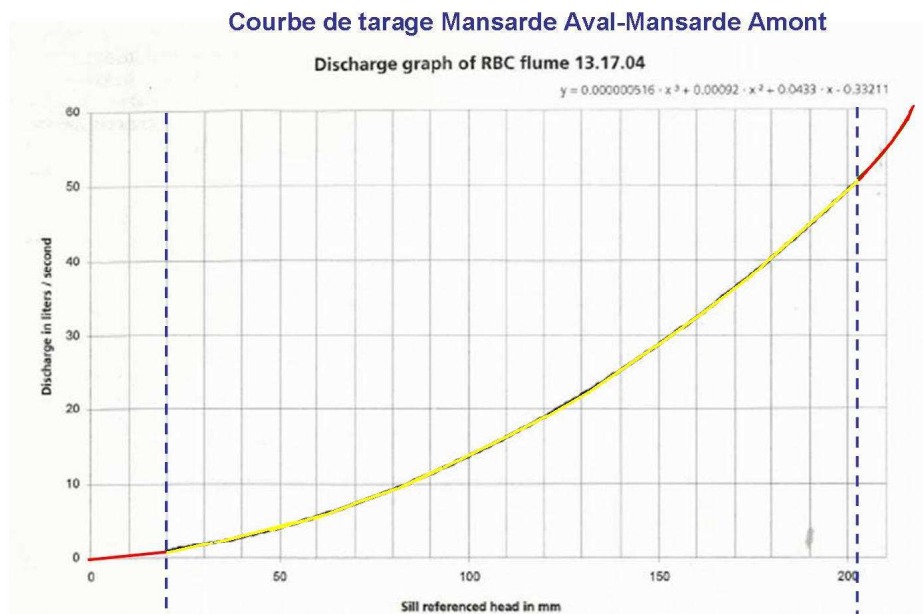
Annexe 3 Courbes de tarage

Code couleur fiabilité de la mesure

Bleu : courbe validée par des mesures terrain (méthode aboutie)

Jaune : courbe constructeur non validée par des mesures terrain

Rouge : extrapolation à dire d'experts, à valider par des mesures terrain



Relation Linéaire

Choix à dire d'expert

Non validée par des
mesures terrain

Courbe constructeur Venturi

Non validée par des mesures terrain

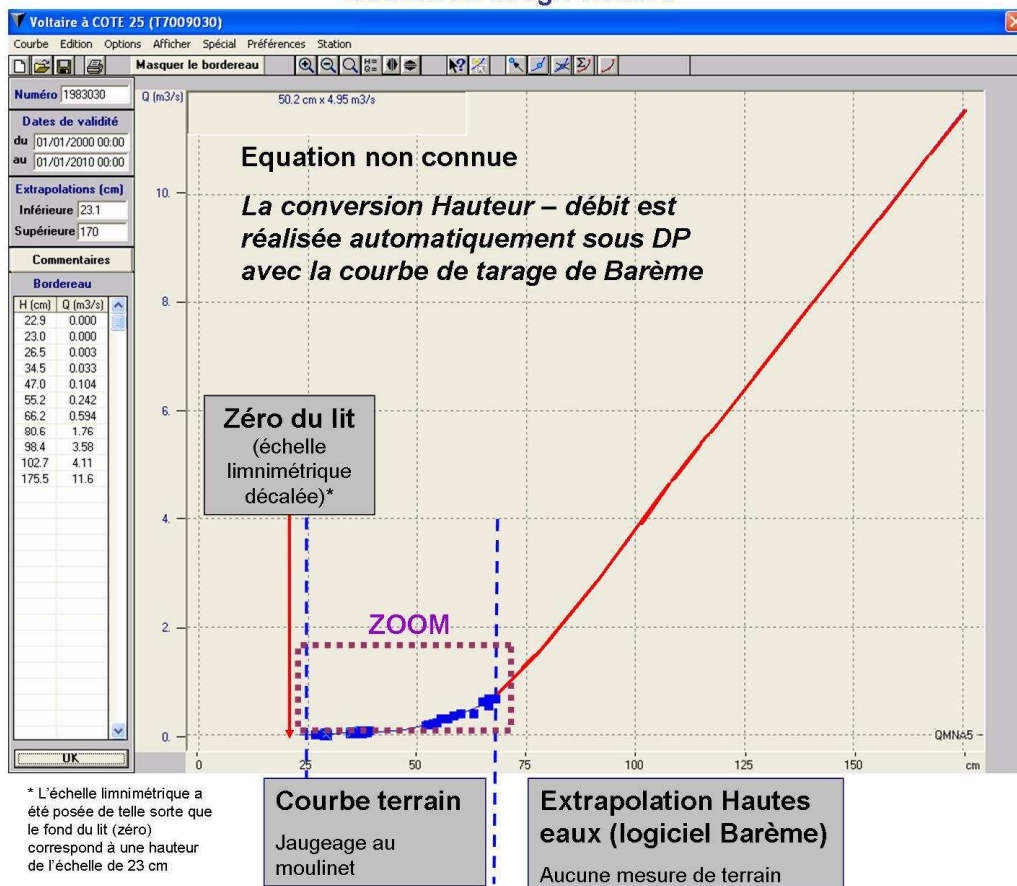
Vérification de la mise à niveau du
Venturi tous les 6 mois

Extrapolation

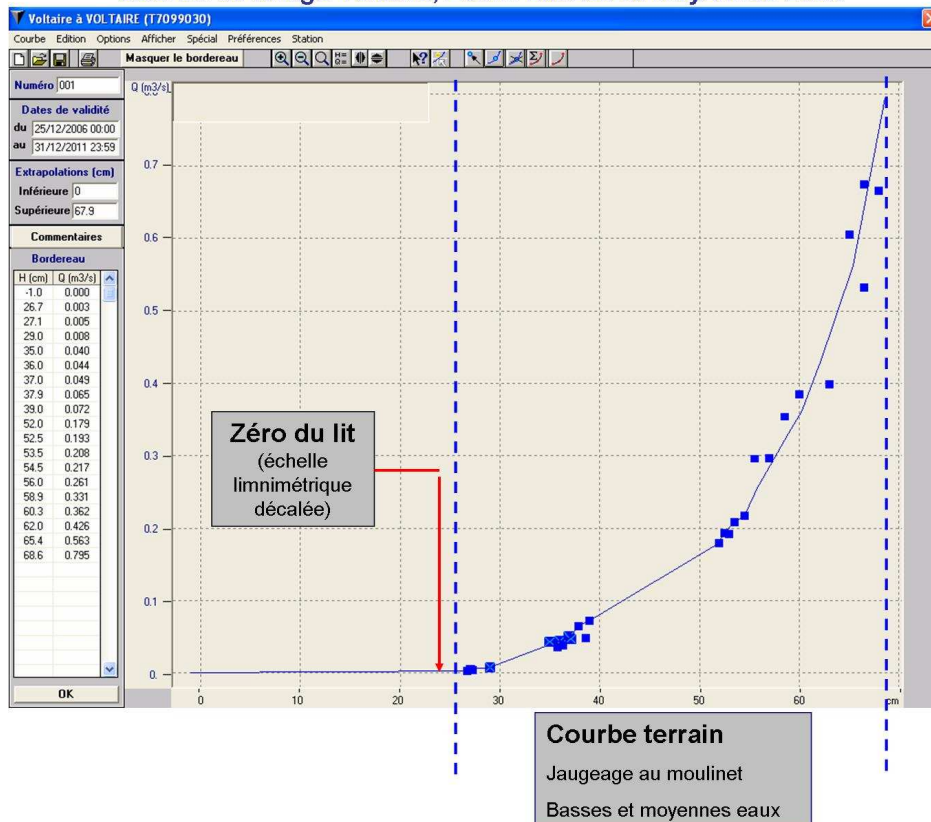
Utilisation de l'équation
pour des valeurs hors
gamme supérieures

Non validée par des
mesures terrain

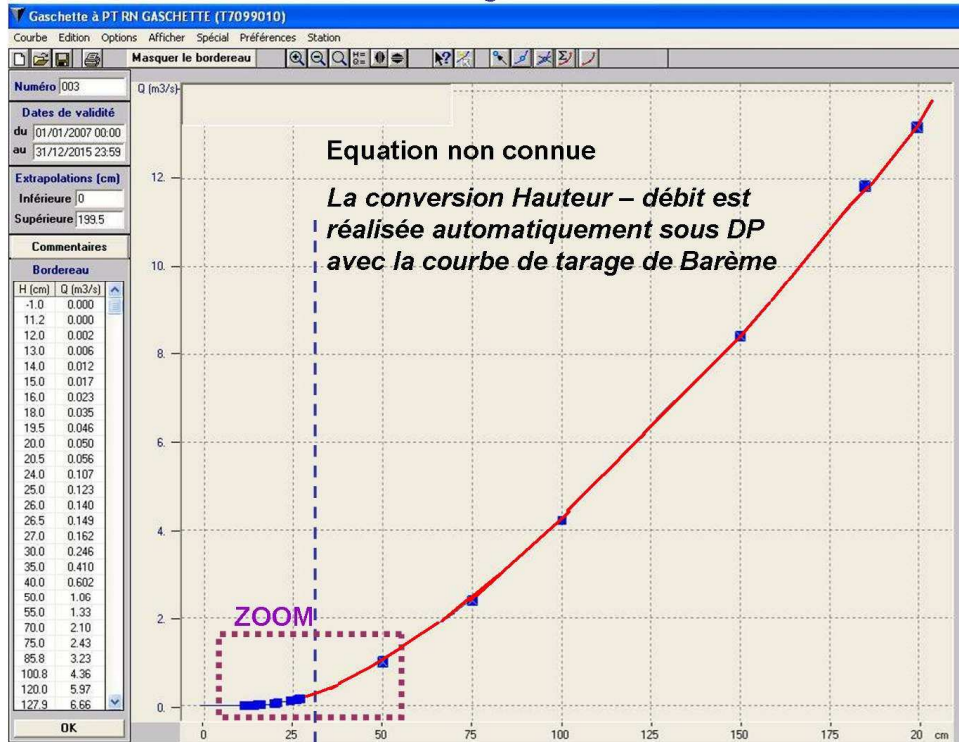
Courbe de tarage Voltaire



Courbe de tarage Voltaire, Zoom Basses et Moyennes eaux



Courbe de tarage Gaschette



Courbe Basses eaux

Jaugeage terrain : moulinet et sel
Etiage et début de crue

Courbe Moyennes et Hautes eaux

Formule mathématique (formule de seuil avec un μ variable)

Courbe de tarage Gaschette, zoom Basses et moyennes eaux

