

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	5
1.1. CONTEXTE GENERAL.....	5
1.2. OBJECTIFS DE LA PHASE 2	5
2. DONNEES	7
2.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES.....	7
2.2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES	7
3. CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN.....	10
3.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET BASSINS VERSANTS.....	10
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL	12
3.3. PROFIL EN LONG GENERAL DU LIT	12
4. ETAT DES LIEUX PLURIDISCIPLINAIRE DE LA RIVIERE	14
4.1. ETAT DES LIEUX DE L’OCCUPATION DE L’ESPACE.....	14
5. HYDROLOGIE	19
5.1. LES APPROCHES PRECEDENTES.....	19
5.1.1. <i>Première approche SOGREAH en 1982</i>	19
5.1.2. <i>Mise à jour SOGREAH en 1985</i>	21
5.1.3. <i>Compléments issus de l’étude BCEOM de 1992</i>	22
5.1.4. <i>Reprise de l’hydrologie en 1993 (BCEOM)</i>	23
5.1.5. <i>Etude hydrologique spécifique de la Ravine Sèche (SOGREAH, 1999)</i>	24
5.1.6. <i>Estimation par la méthode rationnelle sur l’ensemble du bassin versant (SOGREAH, juin 2007)</i>	25
5.1.7. <i>Synthèse des analyses antérieures</i>	26
5.2. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS	27
5.3. MISE A JOUR DES DEBITS DE CRUE PAR LA METHODE RATIONNELLE ET PLUIES DE FAIBLE DUREE	28
5.3.1. <i>Fortes pluies de faible durée a Mencilol</i>	28
5.3.2. <i>Estimation 2010 par la méthode rationnelle</i>	29
5.4. UNE NOUVELLE APPROCHE DE L’EVALUATION DES DEBITS DE CRUE PAR ANALYSE REGIONALE DES PLUIES JOURNALIERES (METHODE SPEED).....	30
5.4.1. <i>Préambule – l’étude hydrologique par analyse régionale</i>	30
5.4.2. <i>Les stations pluviométriques</i>	33
5.4.3. <i>Analyse régionale des pluies journalières</i>	36
5.5. ANALYSE DES DEBITS ET RELATION PLUIE – DEBIT (METHODE SPEED).....	55
5.5.1. <i>Rappel des estimations de débits de crues historiques</i>	56
5.5.2. <i>Débits de crues des stations hydrométriques du secteur</i>	56
5.5.3. <i>Débits des crues majeures estimés par modélisation pluie-débit (HEC-HMS)</i>	65
5.5.4. <i>Relations pluie – débit</i>	65
5.6. DEBITS DE CRUE CARACTERISTIQUES DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN ET DE SES AFFLUENTS (METHODE SPEED).....	70
5.7. MODELISATION PLUIE – DEBIT (HEC-HMS).....	73
5.7.1. <i>Découpage en sous-bassins versants</i>	74
5.7.2. <i>Schéma topologique du modèle pluie – débit</i>	76
5.7.3. <i>Fonctions de production et de transfert adoptés</i>	78
5.7.4. <i>Fonction de propagation dans les biefs</i>	80
5.7.5. <i>Résultats pour les crues modélisées</i>	80

5.8.	HYDROGRAMMES DE CRUE RETENUS POUR LA DEFINITION DES ALEAS	92
6.	ANALYSE DES DONNEES	98
6.1.	METHODOLOGIE.....	98
6.2.	ETAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES ACTUELLES	100
6.2.1.	<i>Historique des aménagements et des désordres causés par des événements naturels</i>	<i>100</i>
6.2.2.	<i>Analyse des données topographiques.....</i>	<i>101</i>
6.2.3.	<i>Connaissances et lacunes sur le fonctionnement physique des cours d'eau</i>	<i>103</i>
7.	EVALUATION PRELIMINAIRE DES RISQUES D’INONDATION	110
8.	DONNEES TOPOGRAPHIQUES NECESSAIRES A LA POURSUITE DE L’ETUDE.....	118

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – INVENTAIRE DES ETUDES ANTERIEURES ET DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

ANNEXE 2 – FICHES DE SYNTHESE DES ETUDES EXISTANTES

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 – Localisation des points métriques des cours d'eau.....	9
Figure n°2 – Hydrographie et bassins versants.....	11
Figure n°3 – Profil en long général de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents	13
Figure n°4 – Occupation du sol et enjeux en bordure de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents.....	15
Figure n°5 – Bassins versants et localisation des stations pluviométriques et hydrométriques	35
Figure n°6 – Répartition des pluviométries pour les stations meteorologiques retenues	37
Figure n°7 – Ajustement – station de Mencil	38
Figure n°8 – Comparaison des Pluies journalieres maximales annuelles (mm) par équifréquence (station de Quartier Français avec Mencil)	40
Figure n°9 – Comparaison des Pluies journalieres maximales annuelles (mm) par équifréquence (station de Saint-André T. Rouge avec Mencil)	41
Figure n°10 – Comparaison des Pluies journalieres maximales annuelles (mm) par équifréquence (station de Bras Pistolet avec Mencil)	41
Figure n°11 – Comparaison des Pluies journalieres maximales annuelles (mm) par équifréquence (station de Bois Rouge avec Mencil)	42
Figure n°12 – Comparaison des Pluies journalieres maximales annuelles (mm) par équifréquence (station du Colosse avec Mencil).....	42
Figure n°13 – Comparaison des Pluies journalieres maximales annuelles (mm) par équifréquence (station de Bagatelle avec Mencil).....	43
Figure n°14 – Comparaison par équifréquence (station de Bras Panon avec Mencil)	43
Figure n°15 – Comparaison par équifréquence (station de Plaine des Fougères avec Mencil)	44

Figure n°16 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station de Quartier Français	45
Figure n°17 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station Saint-André T. Rouge	46
Figure n°18 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station de Bras Pistolet	47
Figure n°19 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station de Bois Rouge	48
Figure n°20 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station du Colosse.....	49
Figure n°21 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station de Bagatelle.....	50
Figure n°22 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station de Bras Panon.....	51
Figure n°23 – Ajustement des P_{jmax} annuelles – Station de Plaine des Fougères.....	52
Figure n°24 – Relation des pluies journalières caractéristiques avec l'altitude à partir des ajustements réalisés	54
Figure n°25 – Courbe de tarage de la station OLE de Grand Bras	61
Figure n°26 – Courbe de tarage de la station OLE de Bras Laurent	61
Figure n°27 - Courbe de tarage de la station DDE (SOGREAH, 2010)	65
Figure n°28 – Corrélation Q_{re} Grand Bras et pluies journalières à l'altitude médiane du bassin versant contrôle.....	66
Figure n°29 – Corrélation Q_{re} Bras Laurent et pluies journalières à l'altitude médiane du bassin versant contrôle.....	67
Figure n°30 – Corrélation Q_{re} HEC-HMS et pluies journalières à l'altitude médiane du bassin versant contrôle.....	68
Figure n°31 – Découpage en sous-bassins versants du modele pluie – débit	75
Figure n°32 – Schéma topologique du modèle pluie – débit	77
Figure n°33 – Hydrogrammes des 6 plus fortes crues calculees par modelisation Pluie debit sur la Ravine Seche a la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean.....	83
Figure n°34 – Hydrogrammes des 6 plus fortes crues calculees par modelisation Pluie debit sur la grande Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean.....	84
Figure n°35 – Hydrogrammes des 6 plus fortes crues calculees par modelisation Pluie debit a l'exutoire de la Petite Rivière Saint-Jean	85
Figure n°36 – Hydrogrammes des 6 plus fortes crues calculees par modelisation Pluie debit sur la grande Rivière SAint-Jean en aval de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean.....	86
Figure n°37 – Hydrogrammes des 6 plus fortes crues calculees par modelisation Pluie debit a l'exutoire du ruisseau Emmanuel.....	87
Figure n°38 – Hydrogrammes des 6 plus fortes crues calculees par modelisation Pluie debit a l'exutoire du Ruisseau Foutac	88
Figure n°39 – Hydrogrammes de la crue INES (1975) calcules par modélisation pluie-débit.....	89
Figure n°40 – Hydrogrammes de la crue des fortes pluies de fevrier 1990 calcules par modélisation pluie-débit.....	90
Figure n°41 – Hydrogrammes de la crue des fortes pluies de février 1998 calcules par modélisation pluie-débit.....	91
Figure n°42 – Hydrogrammes de simulation d'une crue décennale de faible volume	93
Figure n°43 – Hydrogrammes de simulation d'une crue décennale de fort volume.....	94
Figure n°44 – Hydrogrammes de simulation d'une crue centennale de faible volume	95
Figure n°45 – Hydrogrammes de simulation d'une crue centennale de fort volume.....	96
Figure n°46 – Hydrogrammes de crue pour les simulations 1D de la Ravine Sèche et de la Ravine Payet	97
Figure n°47 – Implantation des postes pluviométriques	105
Figure n°48 – Zones inondables sur la plaine de Bois Rouge pour un événement type 12/02/90.....	111
Figure n°49 – Zones inondables sur la plaine de Bois Rouge pour un événement décennal.....	112
Figure n°50 – Zones inondables sur la plaine de Bois Rouge pour un événement centennal.....	113
Figure n°51 – Zones inondables de la Grande Rivière Saint-Jean entre la RN2 et la RN2002	114
Figure n°52 – Zones inondables de la ravine Sèche pour un événement centennal.....	115
Figure n°53 – Zones inondables sur le quartier des Chevrettes.....	116
Figure n°54 – Zones inondables issues des PPRi.....	117
Figure n°55 – Localisation des levés complémentaires sur la Grande Rivière Saint-Jean.....	118
Figure n°56 – Localisation des levés complémentaires sur la Petite Rivière Saint-Jean.....	119

Figure n°57 – Localisation des levés complémentaires sur la Ravine Payet..... 119

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 – Points de références gradués	8
Tableau n°2 – Enjeux recensés en bordure de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents.....	16
Tableau n°3 –Pluies journalieres caractéristiques etablies par SOGREAH en 1982 a la station de Menciol	20
Tableau n°4 – Débits de pointe de crue retenus en 1982.....	20
Tableau n°5 – Débits de pointe de crue retenus en 1985.....	22
Tableau n°6 – Débits de pointe de crue mentionnes en 1992	22
Tableau n°7 – Débits de pointe de crue estimes par simulation en 1993.....	23
Tableau n°8 – Hauteurs caractéristiques de precipitations (mm) estimées a Menciol par la DDE/CEA et la DAF (d'apres courbes idf 1961 - 1990).....	24
Tableau n°9 –Débits de crue de la Ravine Seche estimes en 1999.....	25
Tableau n°10 –Débits de crue retenus en 2007	25
Tableau n°11 – Caractéristiques des bassins versants retenus pour l'analyse	28
Tableau n°12 – Hauteurs caractéristiques de precipitations estimées a Menciol (mm) [source : Meteo-France, periode : 1969 - 2008]	29
Tableau n°13 –Mise a jour des debits de crue estimes par le méthode rationnelle.....	29
Tableau n°14 – Liste des stations pluviométriques traitées.....	34
Tableau n°15 – corrélations équifréquences	39
Tableau n°16 – Estimation des pluies journalières caractéristiques (mm)	53
Tableau n°17 – Relations retenues pour l'estimation de la pluie journalière en fonction de l'altitude (< 600 mNGR)	55
Tableau n°18 – Paramètres géomorphologiques du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean à la station du Grand Bras	56
Tableau n°19 – Paramètres géomorphologiques du bassin versant du Bras Laurent à la station du même nom	58
Tableau n°20 – Paramètres géomorphologiques du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean à la station du pont de la RN 2002	59
Tableau n°21 – Crues maximales annuelles de la Grande Rivière Saint-Jean à la Station de Grand Bras (estimations OLE).....	62
Tableau n°22 – Crues maximales annuelles du Bras Laurent à la station du même nom (Estimations OLE)	63
Tableau n°23 – Relations pluie-débits réduits retenues sur le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean	69
Tableau n°24 – Débits de pointe de la Grande Riviere Saint-Jean et de ses affluents estimes par la methode SPEED	72
Tableau n°25 – Caractéristiques des sous-bassins versants pour la modélisation	76
Tableau n°26 – Relations retenues pour le calcul des pertes initiales et de CN.....	78
Tableau n°27 – Fonction de transfert des sous-bassins versants	79
Tableau n°28 – Bilan des crues modelisees avec le logiciel HEC-HMS.....	80
Tableau n°29 – Critère d'intérêt de l'étude analysée	99
Tableau n°30 – Stations pluviométriques situées sur ou au voisinage du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean	104
Tableau n°31 – Etudes antérieures sur le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean.....	122
Tableau n°32 – Données topographiques disponibles sur le secteur d'étude	126

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1. CONTEXTE GENERAL

Le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean se caractérise par de très forts enjeux essentiellement marqués par :

- ↳ La zone urbaine dense de Saint-André, incluant les quartiers Cambuston et Quartier Français, qui est traversée par la ravine Sèche et la Grande Rivière Saint-Jean et s'avère très exposée lors des crues ;
- ↳ La zone industrielle de Bois-Rouge, où sont implantées la centrale thermique, la sucrerie et la distillerie, qui est identifiée comme un secteur de développement économique très important et se trouve en lit majeur fortement inondable de la Grande Rivière Saint-Jean.

Par ailleurs, le développement attendu de l'urbanisation sur le bassin versant tend à accroître les risques d'inondation en augmentant les volumes d'eau ruisselés et en diminuant les temps de réponse des cours d'eau concernés.

C'est donc dans ce contexte que la Direction Départementale de l'Équipement de la Réunion a engagé une étude visant à élaborer une stratégie de gestion du risque inondation. Cette étude repose principalement sur une meilleure compréhension du fonctionnement hydrogéomorphologique du bassin versant et une caractérisation des enjeux en présence.

Elle s'articule autour des trois phases suivantes :

- ↳ Phase 1 : évaluation préliminaire des risques d'inondation ;
- ↳ Phase 2 : cartographie des zones inondables et des risques d'inondation ;
- ↳ Phase 3 : élaboration d'un plan de gestion des risques d'inondation.

La première phase de cette étude a été finalisée en décembre 2009 et a fait l'objet d'un premier rapport.

Le présent document correspond au rendu provisoire de la phase 2 de l'étude.

1.2. OBJECTIFS DE LA PHASE 2

L'objectif de la phase 2 est de comprendre le fonctionnement hydrogéomorphologique des cours d'eau composant le bassin versant global de la Grande Rivière Saint-Jean afin d'estimer au mieux les aléas liés à sa dynamique torrentielle (submersion, érosion, résistance des ouvrages, etc.).

En d'autres termes, il s'agit d'expliquer la morphologie actuelle et passée de la rivière (largeur, pente, profondeur) et de prévoir ses évolutions futures en fonction des paramètres principaux suivants :

- ↪ **L'hydrologie** : la pluviométrie et les débits correspondants qui façonnent les cours d'eau au fil des années ;
- ↪ **La géologie** du secteur : la nature des terrains du bassin versant, des berges et du lit implique des apports en matériaux plus ou moins importants (transport solide) et une résistance plus ou moins importantes des berges ;
- ↪ **Les aménagements** (protections, endiguements, urbanisation) ou interventions humaines réalisées dans le lit.

Cette phase donnera les clés pour pouvoir formuler les propositions de gestion et d'aménagement pour la protection des biens et des personnes, objet de la phase 3.

La phase 2 comprend les 4 principaux volets suivants :

- ↪ Volet 1/4 : **Etat des lieux général du secteur d'étude**. Il dresse un état des lieux pluridisciplinaire de la rivière et de ses abords au moment de l'étude ;
- ↪ Volet 2/4 : **Hydrologie**. Il consiste en une étude hydrologique approfondie afin de mieux connaître les entrées du système : les crues (débits liquides) ;
- ↪ Volet 3/4 : **Evaluation des volumes solides transportés et bilan sédimentologique** ;
- ↪ Volet 4/4 : **Compréhension du fonctionnement hydraulique et définition des aléas hydrauliques**.

5. HYDROLOGIE

5.1. LES APPROCHES PRECEDENTES

Un certain nombre d'études antérieures propose des estimations des pluies journalières caractéristiques et des débits de crue de la Grande Rivière Saint-Jean en différents points du bassin versant.

Exceptée une étude (BCEOM, 1993), la méthodologie est quasiment toujours la même à savoir la méthode de la formule rationnelle :

$$Q(m^3/s) = \frac{C.Itc.A}{3,6}$$

Avec

- ↳ C, coefficient de ruissellement ;
- ↳ Itc intensité pluviométrique pendant le temps de concentration du bassin versant en mm/h ;
- ↳ A, superficie du bassin versant en km² ;

Ce sont en revanche les hypothèses des paramètres de cette formule qui diffèrent d'une étude à l'autre.

5.1.1. PREMIERE APPROCHE SOGREAH EN 1982

Dans le cadre de la mise hors d'eau de la route nationale RN 2002 (ex RN 2) à quartier français (SOGREAH, 1982, *réf. /25/ du Tableau n°31 page 122*), les débits de crues décennale et centennale ont été estimés pour la Grande Rivière Saint-Jean, la Petite Rivière Saint-Jean et le Ruisseau Emmanuel au droit de l'actuelle RN 2002.

Le tableau n°4 page 20 présente les hypothèses retenues :

- ↳ Les superficies des bassins versants sont cohérentes avec les valeurs estimées dans la présente étude PGRI comme on le verra plus loin (§ 5.2) ;
- ↳ Les temps de concentration (Tc) sont calculés avec la formule de Passini (fonction de la superficie du bassin versant, de la longueur et de la pente moyenne du bassin).
- ↳ Les intensités de pluie pendant Tc sont calculées :
 - sur la base des pluies journalières caractéristiques Pj estimées par ajustement statistique de Gumbel sans cassure pour les stations proches ou sur le bassin

DDE DE LA REUNION/RISC
 ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
RAPPORT

versant (Quartier Français, Saint-André Terre Rouge, Menciol, Bagatelle) et pour celle du Brûlé (la moins éloignée à l'époque, située à l'altitude 960 m NGR) ;

Tableau n°3 – PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES ETABLIES PAR SOGREAH EN 1982 A LA STATION DE MENCIO

Station de Menciol	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans)	100 ans
Pluie journalière correspondante (mm)	220	300	360	410	480	530

- en définissant une relation entre pluviométrie et altitude permettant d'évaluer les pluies journalières caractéristiques à l'altitude médiane des bassins versants des 3 cours d'eau considérés ;
 - sur la base des courbes intensités – durée – fréquence de Saint-Denis et des rapports I_{tc} / P_j (issus de l'étude de M. Duret "Pluies génératrices de crue à la Réunion"), la station de Menciol n'ayant pas encore fait l'objet d'une analyse poussée ;
- ↳ Les coefficients de ruissellement ont été estimés par analyse de la crue du 09 juin 1982. Sur la base d'observations au pont de la RN 2 (aujourd'hui RN 2002), cette crue est estimée sur la Grande Rivière Saint-Jean à 75 m³/s pour une pluviométrie observée de 52 mm environ à la station de Menciol pendant le Tc estimé. L'application de la formule rationnelle permet d'estimer la perte par infiltration à 31 mm pendant Tc. En retenant cette même valeur d'infiltration pour les phénomènes plus rares et en appliquant aux valeurs de pluie nette pendant Tc, on obtient les **coefficients de 0,68 en crue décennale et 0,8 en crue centennale.**

Les hypothèses et débits ainsi obtenus sont fournis dans le tableau suivant.

Tableau n°4 – DEBITS DE POINTE DE CRUE RETENUS EN 1982

	S (km ²)	Tc (h)	P _{j10} (mm)	P _{j100} (mm)	Q _{10ans} (m ³ /s)	Q _{100ans} (m ³ /s)
Grande Rivière Saint-Jean *	22,9	2,3	310	590	181	356
Petite Rivière Saint-Jean *	10	1,7	350	636	111	215
Ruisseau Emmanuel *	5,3	1,2	310	540	62	117

* au pont de la RN 2002

Par ailleurs, une formule régionale est établie sur la base de ces résultats pour estimer les débits en tout point du bassin versant :

↳ $Q_{10} = 18 S^{0.75}$;

↳ Et $Q_{100} / Q_{10} = 1,94$.

5.1.2. MISE A JOUR SOGREAH EN 1985

Cette évaluation a été réalisée dans "l'étude hydraulique de la déviation de la RN 2 à Quartier Français" (SOGREAH, 1985, réf. /25/ du Tableau n°31 page 122).

Elle utilise la même formule rationnelle que précédemment avec des valeurs de coefficients de ruissellement et de temps de concentration similaires mais les analyses statistiques réalisées à la station de Mencil par M. Duret sont cette fois-ci utilisées (les courbes intensité – durée – fréquence sont fournies). Elles impliquent de revoir fortement à la hausse les débits estimés en 1982.

Les débits de crue en aval des confluences ont été calculés en supposant, pour aller dans le sens de la sécurité, que les débits de pointe de la Petite Rivière Saint-Jean et du Ruisseau Emmanuel pouvaient être concomitants (bassins versants contigus et Tc semblables).

Cette étude a par ailleurs estimé deux crues récentes d'importance à partir d'observations de laisses de crue au pont de la RN 2002 sur la Grande Rivière Saint-Jean (donc en amont de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean) :

- ↳ La crue de **Hyacinthe (janvier 1980)** : hauteur d'eau de 3,5 m observée par échelle à décoloration fixée en rive gauche à l'aval de la pile centrale, soit un niveau de 16,5 m NGR et un **débit estimé de 250 m³/s** ;
- ↳ La crue de la dépression tropicale modérée **Inès (16 mars 1975)** : la cote maximale atteinte en aval du pont sur la culée rive gauche est située environ 15 cm sous la poutre aval, soit à la cote approximative de 17,85 m NGR. Le débit correspondant est **estimé à 410 m³/s** ;
- ↳ En termes d'intensité, il est précisé que depuis le début des enregistrements à la station de Mencil, c'est-à-dire depuis 1961, le cyclone Inès a été le plus pluvieux avec 85,9 mm/h en moyenne en 2 h, suivi par le cyclone Fifi (1977) avec 70,3 mm/h en 2h. Le cyclone Hyacinthe arrive en cinquième position [à cette époque] avec 60,3 mm/h en 2 h. Sur une durée courte de 30 min, Inès reste en tête avec 146 mm/h suivi de Hyacinthe avec 105,7 mm/h ;
- ↳ En termes de hauteur d'eau, de mémoire de riverain de la Grande Rivière Saint-Jean, une crue supérieure à celle d'Inès a été observée en **1948 avec une cote atteinte en aval du franchissement de la RN 2002 actuelle entre 18,5 et 19 m NGR**. De ce fait, ce cyclone semble être, selon l'étude des cyclones ayant intéressé la Réunion de 1955 à 1967 réalisée par le service météorologique de La Réunion, le plus violent depuis le début du siècle.

Tableau n°5– DEBITS DE POINTE DE CRUE RETENUS EN 1985

	S (km²)	Tc (h)	Q_{5ans} (m³/s)	Q_{10ans} (m³/s)	Q_{20ans} (m³/s)	Q_{50ans} (m³/s)	Q_{100ans} (m³/s)
Coefficients de ruissellement			0,65	0,70	0,75	0,78	0,80
Gde RSJ en amont de la confluence avec la Pte RSJ*	22,9	2 à 2,3	260	350	430	530	610
Petite Rivière Saint-Jean	10	1,5 à 1,7	130	155	190	235	270
Gde RSJ en aval de la confluence avec la Pte RSJ	-	-	345	450	550	680	780
Ruisseau Emmanuel (RE)	5,3	1 à 1,2	50	90	115	140	160
Gde RSJ en aval de la confluence avec le RE	-	-	-	520	-	790	910

* au pont de la RN 2002

5.1.3. COMPLEMENTS ISSUS DE L'ETUDE BCEOM DE 1992

Une étude d'aménagement de la zone industrielle de Bois Rouge réalisée par BCEOM en 1992 (cf. réf. /20/ du Tableau n°31 page 122) reprend strictement les valeurs de 1985 sans les mettre à jour mais en donnant des valeurs de débits en deux points supplémentaires sans préciser s'il s'agit de calculs propres à cette étude ou à celle de SOGREAH en 1985 :

Tableau n°6– DEBITS DE POINTE DE CRUE MENTIONNES EN 1992

	S (km²)	Tc (h)	Q_{10ans} (m³/s)	Q_{50ans} (m³/s)	Q_{100ans} (m³/s)
Ruisseau Foutac	1,5	1	29	45	55
Gde RSJ en aval de la confluence avec le Foutac	-	-	540	815	940

Par ailleurs, les conclusions de l'analyse de l'événement pluvieux majeur du 12 février 1990, faites par la DDE/CEA et la DAF, sont indiquées :

- ↳ La période de retour de l'événement pluvieux du 12 février 1990 est de l'ordre de 20 à 30 ans pour les durées de pluie inférieures à 3 h et de l'ordre de 5 ans pour les pluies de durée comprise entre 3 h et 12 h ;
- ↳ Le niveau d'eau en amont du pont de l'actuelle RN 2002 a atteint le rebord de la passerelle métallique soit un niveau sensiblement identique à celui observé au cours de la dépression tropicale modérée Inès le 16 mars 1975 correspondant à un débit voisin de 450 m³/s (temps de retour 10 à 20 ans).

5.1.4. REPRISE DE L'HYDROLOGIE EN 1993 (BCEOM)

La première modélisation à casiers quasi 2D réalisée par BCEOM en 1993 dans le cadre de l'aménagement de la zone industrielle de Bois Rouge (cf. réf /19/ du Tableau n°31 page 122) a été l'occasion de procéder à une nouvelle analyse hydrologique. Son but a essentiellement été de produire des hydrogrammes utilisables pour la simulation des écoulements. La méthode, qui diffère des études précédentes (méthode rationnelle), est la suivante :

- ↪ Identification des intensités de pluie décennale et centennale pour des pluies de durée 1 h et 2 h : celles-ci sont tirées des courbes Intensités – Durée – Fréquence actualisées en 1990 par la DDE/CEA à la station de Menciol ;
- ↪ Construction de hyétogrammes à pas de temps horaire utilisant ces intensités de pointe et extrapolés à partir de hyétogrammes observés pour les pluies d'Inès et du 12 février 1990 ;
- ↪ Réalisation d'un modèle pluie-débit avec le programme SIREA prenant en compte les caractéristiques des bassins versants (pentes, longueur, Tc obtenus par différentes formules, superficies), les coefficients de ruissellement (C = 0,7 pour T = 30 ans) et calé par la simulation de l'événement du 12 février 1990 (pour obtenir le débit de pointe communément admis de 450 m³/s) ;
- ↪ Obtention d'hydrogrammes pour la crue du 12 février 1990 et pour les crues de projet décennale et centennale pour les deux cas (intensité maxi de 1 h et 2 h). Les débits de pointe sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°7– DEBITS DE POINTE DE CRUE ESTIMES PAR SIMULATION EN 1993

Point de calcul	S (km ²)	Tc* (min) [valeurs max et min obtenues]	Q _{10ans} (m ³ /s)	Pluies du 12 février 1990 (m ³ /s)	Q _{100ans} (m ³ /s)
Ravine Sèche au pont Auguste**	5,2	55	1h : 60	-	1h : 140
Gde RSJ en amont de la confluence avec la Pte RSJ*	22,5	117 [79-168]	1h : 282 2h : 260	449	1h : 628 2h : 540
Petite Riv. Saint-Jean	11,36	82 [56-115]	1h : 150 2h : 133	230	1h : 315 2h : 172
Ruisseau Emmanuel	4,09	49 [34-66]	1h : 61 2h : 48	86	1h : 127 2h : 98
Ruisseau du Foutac	1,4	49	1h : 21 2h : 16	31	1h : 43 2h : 33

* Moyenne des valeurs estimées avec les formules de Kirpich, Turazza, Ventura et Passini

** Valeurs mentionnées dans l'étude SOGREAH de 1999 (cf. § 5.1.5 page 24)

Notons que :

- ↪ Les valeurs de superficies sont sensiblement différentes de celles retenues dans les études antérieures pour un point de contrôle identique ;

- ↪ Les valeurs de temps de concentration sont relativement différentes selon la formule de calcul utilisée ;
- ↪ Ce sont ces débits qui ont été repris pour le Schéma Technique de Protection contre les Crues de la Grande Rivière Saint-Jean réalisé en 1993 par BCEOM. Ces valeurs :
 - En crue décennale sont inférieures de 20% par rapport aux valeurs antérieures sauf pour le ruisseau du Foutac (supérieures de 20%) et la Petite Rivière Saint-Jean (proches) ;
 - En crue centennale sont en revanche sensiblement supérieures de 5 à 20 % sauf pour le Ruisseau Emmanuel (inférieures de 15%) et pour le Ruisseau du Foutac (très proches).

Les courbes intensités – durée – fréquence estimées à Menciol et jointes en annexe de l'étude BCEOM permettent de déduire les valeurs suivantes à cette époque pour des pluies de durée proches des temps de concentration du bassin versant :

*Tableau n°8– HAUTEURS CARACTERISTIQUES DE PRECIPITATIONS (MM) ESTIMEES
A MENCIOLE PAR LA DDE/CEA ET LA DAF (D'APRES COURBES IDF 1961 - 1990)*

	Hauteur de précipitation caractéristique (mm)				
Durée de l'épisode	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
30 minutes	48.8	58.3	67.8	80.4	90.0
1 heure	75.2	90.4	105.7	125.8	141.1
2 heures	115.8	140.2	164.7	196.9	221.2
3 heures	149.2	181.2	213.4	255.8	287.8

5.1.5. ETUDE HYDROLOGIQUE SPECIFIQUE DE LA RAVINE SECHE (SOGREAH, 1999)

Une étude spécifique a été menée par SOGREAH sur la Ravine Sèche en 1999 ("Dérivation de la Ravine Sèche vers la Rivière du Mât", cf. réf. /31/ du Tableau n°31 page 122).

Cette étude réalise un diagnostic des principales études hydrologiques réalisées sur la Ravine Sèche : le STPC de la Ravine Sèche sur la commune de Saint-André (SET OI, 1989), le STPC de la Rivière Saint-Jean (BCEOM, 1993), le PPRi de la commune de Saint-André (BRL, 1995) :

- ↪ Les méthodes employées dans ces études sont variées (SET OI : méthode rationnelle, BCEOM : modèle pluie-débit et intensités mises à jour en 90, BRL : méthode SCS) ;
- ↪ Les valeurs obtenues varient d'environ 50% au même point du fait des hypothèses de départ (superficies parfois sous-estimées, intensités établies en 1985 ou mises à jour en 1990, différence des temps de concentration adoptées, application ou non d'un coefficient d'abattement) ;
- ↪ L'étude propose donc une refonte de l'hydrologie par application de la formule rationnelle avec :

- les intensités horaires de Menciol mises à jour en 1990 pour un temps de concentration issu de la moyenne des formules de Kirpich et Passini ;
 - des coefficients de ruissellement de **0,6 en crue décennale et 0,75 en crue centennale**. Ces valeurs ont été estimées par analyse des événements Clotilda (1987) et des pluies de février 1990. Les débits de ces deux événements ont été estimés par des enquêtes terrain (laisses de crue) à 90 m³/s au centre ville de Saint-André (Pont Auguste) pour Clotilda et de 60 à 80 m³/s en amont de Saint-André (Pont Minot) pour les pluies de février 1990 ;
 - Les superficies de bassins versants corrigées le cas échéant.
- ↳ Les débits obtenus sont proches des valeurs estimées par BCEOM en 1993 :

Tableau n°9–DEBITS DE CRUE DE LA RAVINE SECHE ESTIMES EN 1999

Point de calcul	S (km ²)	Tc (min)	Q _{10ans} (m ³ /s)	Q _{100ans} (m ³ /s)	Q Clotilda (1987)	Q fév. 1990
Rav. Sèche au lotissement Dioré	2,1	37	38	74	-	-
Rav. Sèche en amont de St André au pont Minot	4,5	-	-	-	-	60 à 80 m ³ /s
Rav. Sèche à St André au pont Auguste	5,2	76	72	140	90 m ³ /s	-

5.1.6. ESTIMATION PAR LA METHODE RATIONNELLE SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT (SOGREAH, JUIN 2007)

L'étude de faisabilité d'un dépôt pétrolier dans l'est (SOGREAH, juin 2007, cf. réf /13/ du Tableau n°31 page 122) propose de nouveaux débits de crue qui correspondent en réalité à l'application de la méthode rationnelle avec :

- ↳ Les intensités horaires de Menciol mises à jour en 1990 par la DDE et la DAF. Un coefficient a été appliqué pour prendre en compte le gradient dû à l'altitude médiane du bassin versant considéré ;
- ↳ Les temps de concentration identiques à ceux qui avaient été calculés en 1985 ;
- ↳ Des coefficients de ruissellement de **0,6 en crue décennale et 0,8 en centennale**.

Tableau n°10–DEBITS DE CRUE RETENUS EN 2007

Point de calcul	S (km ²)	Tc (h)	Z méd (m NGR)	Q _{10ans} (m ³ /s)	Q _{100ans} (m ³ /s)
Petite Rivière Saint-Jean	11	1	300	140	300
Grande Riv. St Jean en amont de la confluence avec la Ptte RSJ	23	2	205	270	570
Grande Riv. St Jean en aval de la confluence avec la Ptte RSJ	-	-	-	390	820
Ruisseau Emmanuel	5,8	1,2	185	60	120
Ruisseau du Foutac	1,64	1	75	19	35

5.1.7. SYNTHÈSE DES ANALYSES ANTERIEURES

Ainsi, les analyses hydrologiques antérieures ont permis d'aboutir :

- ↪ A l'estimation des débits de crue sur le bassin versant par la méthode rationnelle avec les intensités horaires de Menciol de 1990 (étude SOGREAH de juin 2007) et pour des coefficients de ruissellement relativement cohérents mais avec des temps de concentration parfois variables d'une étude à l'autre ;
- ↪ A l'estimation des débits de crue avec un modèle pluies-débit (étude BCEOM, 1993) a priori bien adapté pour le calcul des crues de la Grande Rivière Saint-Jean aux points de calcul considérés. En effet, la discrétisation des hydrogrammes est réalisée sur un pas de temps de 1 h et 2 h ce qui correspond à l'ordre de grandeur des temps de concentration des sous bassins principaux à leur point de confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean (Sèche, Petite Riv. Saint-Jean, Emmanuel, Foutac). Notons que ce modèle a été calé sur la seule crue de février 1990 ;
- ↪ A la production d'hydrogrammes des crues décennale et centennale par extrapolation des hydrogrammes des pluies de février 1990.

Il apparaît ainsi :

- ↪ Que les 20 années de mesures pluviométriques supplémentaires depuis 1990 à la station de Menciol n'ont, à notre connaissance, pas encore été prises en compte dans les calculs de débits. Une nouvelle estimation par la méthode rationnelle sur cette base serait intéressante. Les fortes crues de 1993, 1998 et 2002 n'ont notamment pas été encore analysées ;
- ↪ Que les débits ont été estimés exclusivement avec les données pluviométriques de la station de Menciol alors que d'autres stations existent à proximité et sur le bassin versant. Elles permettraient d'avoir une vision plus exacte de la distribution des pluies régionale et en altitude ;
- ↪ Que les données hydrométriques disponibles sur le bassin n'ont encore jamais été utilisées (station OLE de Grand Bras, station OLE de Bras Laurent, station de la DDE au pont de la RN 2002) pour caler les estimations de débits (hormis les estimations ponctuelles par laisse de crue de 1975, 1987 et 1990). Celles-ci permettent de s'affranchir des temps de concentration qui restent un paramètre d'incertitude important dans l'application de la formule rationnelle ;
- ↪ Qu'un modèle pluies-débit plus fin simulant un certain nombre de crues majeures permettrait d'obtenir :
 - un ensemble plus représentatif d'hydrogrammes de crue possibles pour l'évaluation des aléas (en volume, en concomitance ou non des crues) ;
 - une meilleure vision des mécanismes de propagation en jeu dans le bassin ;
 - l'estimation de débits de crue récents supplémentaires.

Les paragraphes suivants détaillent donc :

- ↪ Une estimation à jour des débits par la méthode rationnelle (cf. § 5.3 ci-après) ;
- ↪ La nouvelle approche d'évaluation des débits de crue proposée pour la présente étude (avec la méthode "SPEED") :
 - Par analyse régionale des pluies journalières (cf. § 5.4 page 30) ;

- Puis par analyse des données hydrométriques disponibles (*cf. § 5.5 page 55*) ;
- Et par détermination d'une relation pluie-débit ;
- ↪ Le modèle pluies-débits réalisé avec le logiciel HEC-HMS pour les besoins de l'étude (*cf. § 5.7 page 73*).

5.2. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

Les bassins versants considérés pour la présente étude sont précisés dans le tableau présenté page suivante et leur emprise est indiquée sur la Figure n°5 page 35.

Leurs valeurs caractéristiques ont été recalculées. Elles diffèrent peu des valeurs estimées dans l'étude de juin 2007 (*cf. § 5.1.6*). Les temps de concentration retenus sont la moyenne de 11 formules couramment utilisées (Kirpich, Giandotti, Passini, Dujardin, Desbordes, Ventura, Turraza et formules empiriques Sogreah).

Outre les principaux bassins versants de la Grande Rivière Saint-Jean, celui de la station hydrométrique OLE de Grand Bras est ajouté.

Tableau n°11– CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS RETENUS POUR L'ANALYSE

Point de contrôle	S (km²)	P (km)	PLPE (km)	Z min (m NGR)	Z max (m NGR)	Z méd (m NGR)	Tc (min (h))
Gde Rivière St Jean à la station OLE de Grand Bras	2	11	4,3	329	913	648	38 (0,6)
Gde Rivière St Jean amont cfce Bras des Chevrettes	7,5	19,6	9,2	71	913	381	75 (1,2)
Bras des Chevrettes*	5,1	14	8,3	72	756	261	68 (1,1)
Gde Rivière St Jean aval cfce Bras des Chevrettes	12,5	20,4	9,2	71	913	310	88 (1,5)
Ravine Sèche*	7,95	24,4	12,2	29	244	155	150 (2,5)
Gde Rivière St Jean aval cfce Ravine Sèche	21,3	27,5	10,7	29	913	235	111 (1,8)
Gde Rivière St Jean au pont de la RN2002	23	30,2	12,5	16	913	215	122 (2)
Gde Rivière St Jean amont cfce Ptte Riv. St Jean	23,9	34,3	14,6	4	913	205	133 (2,2)
Petite Rivière St Jean*	10,95	31,5	12,8	4	1011	314	93 (1,5)
Gde Rivière St Jean aval cfce Ptte Riv. St Jean	34,9	35,6	14,6	4	1011	231	146 (2,4)
Ruisseau Emmanuel*	5,3	22	8,5	2	581	166	73 (1,2)
Gde Rivière St Jean aval cfce Ruisseau Emmanuel	40,3	36,7	15,4	2	1011	216	157 (2,6)
Ruisseau Foutac*	1,7	8,7	3	1	151	30	51 (0,8)
Gde Rivière St Jean aval cfce Ruisseau Foutac	42,05	43,9	15,9	1	1011	205	162 (2,7)
Gde Rivière St Jean en aval de la Plaine de Bois Rouge (exutoire)	42,95	44	15,9	1	1011	200	163 (2,7)

**en amont immédiat de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean*

5.3. MISE A JOUR DES DEBITS DE CRUE PAR LA METHODE RATIONNELLE ET PLUIES DE FAIBLE DUREE

5.3.1. FORTES PLUIES DE FAIBLE DUREE A MENCIOI

Les courbes intensité-durée-fréquence les plus récentes réalisées par Météo-France sur la station de Menciol ont été récupérées pour les besoins de l'étude. Elles prennent en compte les valeurs enregistrées entre 1969 et 2008.

Les intensités horaires correspondantes pour les durées proches des temps de concentration du bassin versant sont données dans le tableau suivant :

*Tableau n°12– HAUTEURS CARACTERISTIQUES DE PRECIPITATIONS ESTIMEES
 A MENCIOI (MM) [SOURCE : METEO-FRANCE, PERIODE : 1969 - 2008]*

Durée de l'épisode	Hauteur de précipitation caractéristique (mm)				
	5 ans	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans
30 minutes	53.2	59.9	69.0	72.8	77.4
1 heure	77.8	88.6	104.8	112.2	122.1
2 heures	119.4	140.2	174.5	191.3	215.2
3 heures	150.7	179.6	229.3	254.6	291.6

Il est intéressant de comparer ces valeurs à celles établies en 1990 (*Tableau n°8 page 24*). On constate ainsi **que les valeurs ont très peu évolué depuis la mise à jour de 1990** : les variations sont au maximum de 10-15 %; les valeurs centennales ont diminué du fait d'événements pluviométriques importants relativisant le poids de l'événement des fortes pluies de février 1990 (1993, 1995, 1998, 2002 notamment).

5.3.2. ESTIMATION 2010 PAR LA METHODE RATIONNELLE

Bien que l'approche par la méthode rationnelle souffre de plusieurs inconvénients par rapport à la méthode SPEED présentée ci-après (estimation difficile des coefficients de ruissellement et des temps de concentration, influence de l'altitude du bassin versant), elle a été employée pour avoir un élément de comparaison à jour par cette méthode.

Un coefficient a été appliqué sur l'intensité horaire de Menciol pour prendre en compte l'altitude médiane du bassin versant. Les coefficients de ruissellement adoptés sont identiques à ceux adoptés dans l'étude de juin 2007 : **C₁₀ = 0,6 en crue décennale et C₁₀₀ = 0,8 en crue centennale.**

La marge d'incertitude indiquée correspond aux valeurs min et max obtenues en faisant varier les Tc dans la fourchette des valeurs estimées antérieurement et le C₁₀ de 0,6 à 0,7.

Tableau n°13–MISE A JOUR DES DEBITS DE CRUE ESTIMES PAR LE METHODE RATIONNELLE

Point de calcul	S (km ²)	Tc (h)	ITC _{10 ans} (mm/h) Menciol	ITC _{100 ans} (mm/h) Menciol	Q _{10ans} (m ³ /s)	Q _{100ans} (m ³ /s)	Marge d'incertitude	
							Q _{10ans}	Q _{100ans}
Ravine Sèche	7,95	2,5	64	101	84	177	84-122	177-222
Petite Rivière Saint-Jean	10,95	1,5	76	112	146	287	129-171	253-287
Grande Riv. St Jean en amont de la confluence avec la Ptte RSJ	23,9	2,2	67	105	268	556	256-344	532-612
Grande Riv. St Jean en aval de la confluence avec la Ptte RSJ	34,9	2,4	65	102	386	810	386-450	810
Ruisseau Emmanuel	5,3	1,2	82	117	72	137	72-101	137-164
Ruisseau du Foutac	1,7	0,8	96	130	26	46	21-30	37-46

Par rapport aux valeurs les plus récentes estimées par cette méthode (en juin 2007, cf. *Tableau n°10 page 25*), on remarquera que l'on obtient des valeurs très proches. Cela est à imputer à la faible variation des intensités horaires estimées à Menciol en 1990 et en 2008.

La marge d'incertitude sur ces valeurs est en revanche relativement importante de -15 % à + 45 % selon les bassins versants considérés.

5.4. UNE NOUVELLE APPROCHE DE L'ÉVALUATION DES DÉBITS DE CRUE PAR ANALYSE RÉGIONALE DES PLUIES JOURNALIÈRES (MÉTHODE SPEED)

Les fortes incertitudes liées aux paramètres de la formule rationnelle, incitent à employer une autre méthode pour estimer les débits sur le bassin versant. Nous développons ci-après le principe de la méthode SPEED développée par SOGREAH et utilisée dans le cadre de cette étude.

5.4.1. PREAMBULE – L'ÉTUDE HYDROLOGIQUE PAR ANALYSE RÉGIONALE

L'étude hydrologique répond à l'objectif d'estimation des débits de pointe de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses principaux affluents en différents points du bassin versant, pour des périodes de retour de 2 à 200 ans.

Elle est basée sur une approche pragmatique, visant à prendre en compte toute l'information disponible sur les pluies, et cherchant à bien comprendre les mécanismes de la genèse des crues. A cette étape, nous faisons porter préférentiellement nos investigations sur la compréhension et l'explication des phénomènes, sur l'évaluation de grandeurs caractéristiques et la confrontation aux observations et aux événements passés.

ETUDE HYDROLOGIQUE PAR ANALYSE RÉGIONALE

A l'instar de beaucoup d'autres bassins versants de l'île, ceux concernés par le secteur d'étude ne disposent pas de données exhaustives suffisantes sur les crues pour pouvoir établir des débits caractéristiques sur l'ensemble du bassin versant à partir d'analyse statistique : comme nous le verrons au § 5.4, les stations hydrométriques les plus anciennes ont été installées en 1982 (plus de 25 ans de données) et sont positionnées en tête de bassin ($S = 2$ ou $7,5 \text{ km}^2$).

La démarche envisagée est d'utiliser la méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evènements Discrets), développée par SOGREAH. Cette méthode est fondée d'une part sur une analyse particulière et régionale des pluies, et d'autre part, sur la relation mise en évidence par SOGREAH entre pluie et débit de crue. Sa mise en œuvre s'appuiera sur le recueil et l'exploitation des données existantes (pluies et débits) complétées le cas échéant par les résultats du modèle pluie – débit construit pour les besoins de l'étude (§ 5.7).

La mise en œuvre de la méthode SPEED nous paraît pertinente dans la mesure où elle permet une actualisation des débits de crue, ce qui n'a pas été réellement réalisé depuis 1990 (les données pluviométriques utilisées en juin 2007 datant de cette époque). Ce travail permet de prendre en compte des données récentes, pluviométriques et débitométriques, et étend ainsi la période totale d'analyse.

Cette méthode a déjà été appliquée par SOGREAH sur le bassin versant de l'Etang Saint-Paul, sur celui de la Ravine Blanche (Saint-Pierre – le Tampon), celui de la Rivière des Galets, de la Rivière Saint-Etienne, de la Rivière des Remparts, de la Rivière des Pluies et de la Rivière du Mât. La méthode sera tout d'abord appliquée au bassin versant contrôlé par la station hydrométrique de Grand Bras située bien en amont sur la Grande Rivière Saint-Jean. Une analyse des données de la station de Bras Laurent sur la Rivière Sainte-Suzanne (également en tête de bassin) sera aussi faite pour compléter notre compréhension de la transformation pluies – débits sur le secteur d'étude.

La méthode SPEED

La méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evènements Discrets), développée par SOGREAH, est fondée d'une part sur une analyse particulière et régionale des pluies et, d'autre part, sur la relation mise en évidence par SOGREAH entre pluie et débit de crue.

SPEED est un système probabiliste mis au point à partir de la théorie du Processus de Poisson et de la théorie de l'échantillonnage.

L'analyse régionale des pluies journalières

La théorie adoptée est le processus de Poisson. Il est considéré que la pluie (comme d'autres évènements météorologiques accidentels - coups de vent, cyclones, orages etc.) satisfait aux axiomes de base de cette théorie.

Ceci implique en particulier que les maximums annuels (ou saisonniers) de la pluie journalière (P_j) suivent une loi de Gumbel. Cet ajustement des pluies observées sur graphique de Gumbel se traduit par une droite définie par :

↳ *Y_0 , qui est le pivot de la distribution, c'est à dire la valeur de la variable de Gumbel pour laquelle la droite de Gumbel coupe l'axe $P_j = 0$.*

Il est démontré que $n - Y_0$ est le nombre d'évènements indépendants d'où sont tirés les maximums annuels. Ce nombre n est proportionnel au nombre de perturbations météorologiques et on peut s'attendre à son invariance dans une région géographique, donc à l'invariance de Y_0 , pour des phénomènes de même origine.

↳ *La moyenne P_{Jm} , qui est plus caractéristique du régime de pluie dont dépend le secteur.*

Elle peut varier spatialement au contraire du paramètre Y_0 (pour une même famille d'évènement), cette variation étant liée à des raisons géographiques. On démontre mathématiquement que la moyenne est associée à une variable de Gumbel de 0.5772 (variable d'Euler) soit une période de retour de 2,3 ans.

C'est cette moyenne P_{Jm} et le pivot Y_0 qui sont utilisés pour caractériser les pluies sur le secteur d'étude. Dans l'étude qui suit nous considérerons la pluie de période de retour 2 ans (P_{J2}) très proche de la moyenne (période de retour 2,3 ans).

Le Gradex est la pente de la droite de Gumbel utilisée pour évaluer les débits de crues rares.

L'intérêt de régionaliser l'étude réside en premier lieu dans la détermination du pivot ce qui permet de réduire l'incertitude sur les ajustements statistiques. Mais la régionalisation a permis, au fil des applications de la méthode, de mettre en évidence des phénomènes particuliers liés à la géographie du secteur d'étude et révélant des "cassures" dans les droites d'ajustement de Gumbel.

Plusieurs phénomènes peuvent apparaître sur certains bassins conduisant à une augmentation de la valeur des pluies rares et donc à celles des débits rares ce qui explique les phénomènes catastrophiques de Nîmes, Vaison la Romaine etc...

La relation Pluie-Débit

Les recherches théoriques ont montré que la formulation suivante est compatible avec les théories de l'hydrogramme unitaire et du Gradex, en tenant compte de précipitations réparties en intensité-durée-fréquence par une loi classique de Montana :

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (P_T - P_0) \quad \text{si } T > T_0$$

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (C_0 P_T) \quad \text{si } T < T_0$$

↪ avec

- Q_T = débit de pointe de crue de période de retour T (années),
- P_T = précipitation journalière ponctuelle de même période T ,
- S = superficie du bassin versant, en km^2 ,
- P_0 = seuil probabiliste de ruissellement, en mm,
- C_0 = coefficient de proportionnalité des faibles crues aux pluies.

La théorie s'ajuste aussi à la pratique pour inciter à choisir la loi de Gumbel comme loi universelle d'ajustement des maxima annuels de crues et de précipitations journalières.

Ces formules sont utilisables dans le sens direct : calcul probabiliste des crues caractéristiques connaissant P_0 ou C_0 et les pluies.

Elles sont surtout très utiles pour visualiser la relation probabiliste pluie-crue à partir des séries de mesures concomitantes sur une rivière : on peut ainsi à la fois valider le modèle et calculer la valeur régionale des paramètres P_0 , T_0 et C_0 .

Quand on dispose de données concomitantes de pluies journalières sur le bassin et de débits de pointe de crue à l'exutoire, on compare graphiquement les quantités P et $12 \cdot Q/S^{0,75}$: on trouve systématiquement (dès que T dépasse une certaine valeur T_0) une droite des crues parallèle à celle des pluies (ce qui justifie le coefficient $1/12$) et décalée de P_0 . Cette relation probabiliste permet de déterminer P_0 bassin par bassin.

On a vérifié expérimentalement que cette formule est valable pour des bassins versants tout petits (à condition qu'ils soient "naturels") et jusqu'à des bassins de 500 à 1000 km^2 , voire plus (comme pour la méthode du Gradex).

Il faut remarquer que, dans cette formule, P_T est la pluie journalière afférente à un pluviomètre particulier, dit pluviomètre caractéristique du bassin.

Enfin, pour $T < T_0$, on effectue l'ajustement direct à partir des observations (après correction des erreurs d'échantillonnage). En effet, pour ces épisodes de période de retour relativement faible, une partie de la pluie tombée sert à remplir la nappe et les flaques de surface (théorie des "aires contributives").

On voit que l'on obtient une formulation probabiliste du débit de pointe Q_T en fonction de la superficie qui :

- ↪ Est très proche de l'ancienne formulation SOGREAH ($Q = A \cdot S^\alpha$ avec α compris entre 0,75 et 0,8) ;
- ↪ Fait intervenir directement la pluie journalière P_T (données beaucoup plus disponible sur le secteur d'étude que la pluie à faible pas de temps) ;
- ↪ Est compatible avec les deux théories les plus vraisemblables en hydrologie, Gradex et hydrogramme unitaire.

LE DEROULEMENT DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE

L'enchaînement des tâches est le suivant :

↪ Analyse régionale des pluies

Elle est conduite dans l'objectif premier de caractériser les pluies journalières sur les bassins versants mais également de mettre éventuellement en évidence une variation régionale des pluies qui pourrait avoir une incidence sur la détermination des débits de crue exceptionnelles.

L'analyse régionale des pluies est réalisée sur la base des pluies journalières maximales annuelles, avec mise en évidence du pivot (constant sur la région) et de la pente (variation en fonction de l'altitude) et des cassures (pouvant ressortir de deux

populations très distinctes de pluies : pluies convectives et pluies cycloniques ou de phénomènes orographiques particuliers).

↳ **Analyse des données débitmétriques existantes et détermination de la loi pluie débit**

Ce travail est mené en deux étapes :

- Analyse des crues enregistrées à la station de Grand Bras sur la Grande Rivière Saint-Jean (station OLE n°22011, 28 ans de données, superficie de 2 km²), détermination des paramètres de la loi pluie-débit proposée par SPEED. Les crues enregistrées à la station du bassin versant voisin de la Rivière Sainte-Suzanne (station de Bras Laurent, OLE n° 21062) seront également analysées pour conforter les paramètres de la loi pluie – débit retenue ;
- Extrapolation à l'ensemble de la zone d'étude. Etant donnée la faible superficie du bassin contrôlé par la station du Grand Bras, les résultats du modèle pluie-débit HEC-HMS seront utilisés lors de cette étape pour vérifier que la relation pluie-débit obtenue est applicable au reste du bassin versant

Le P0 est une constante sur un bassin homogène (en caractéristique géologique). Il sera vérifié que les échantillons de débits mettent en évidence une saturation du bassin pour les crues les plus fortes.

Ce paramètre P0 sera évalué à partir de la pluviométrie journalière représentative des bassins drainés au droit de la station hydrométrique ou du bassin versant considéré.

5.4.2. LES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

Il existe un nombre relativement important de stations dans le bassin versant et à proximité. On note toutefois un certain manque pour la partie la plus haute du bassin (altitude supérieure à 600 m NGR).

Les neuf stations pluviométriques analysées sont listées dans le tableau n°14 page suivante et localisées sur la figure n°5 page 35. Ce sont les stations présentant le plus grand nombre d'années de mesure et les plus représentatives du bassin.

Tableau n°14 – LISTE DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES TRAITÉES

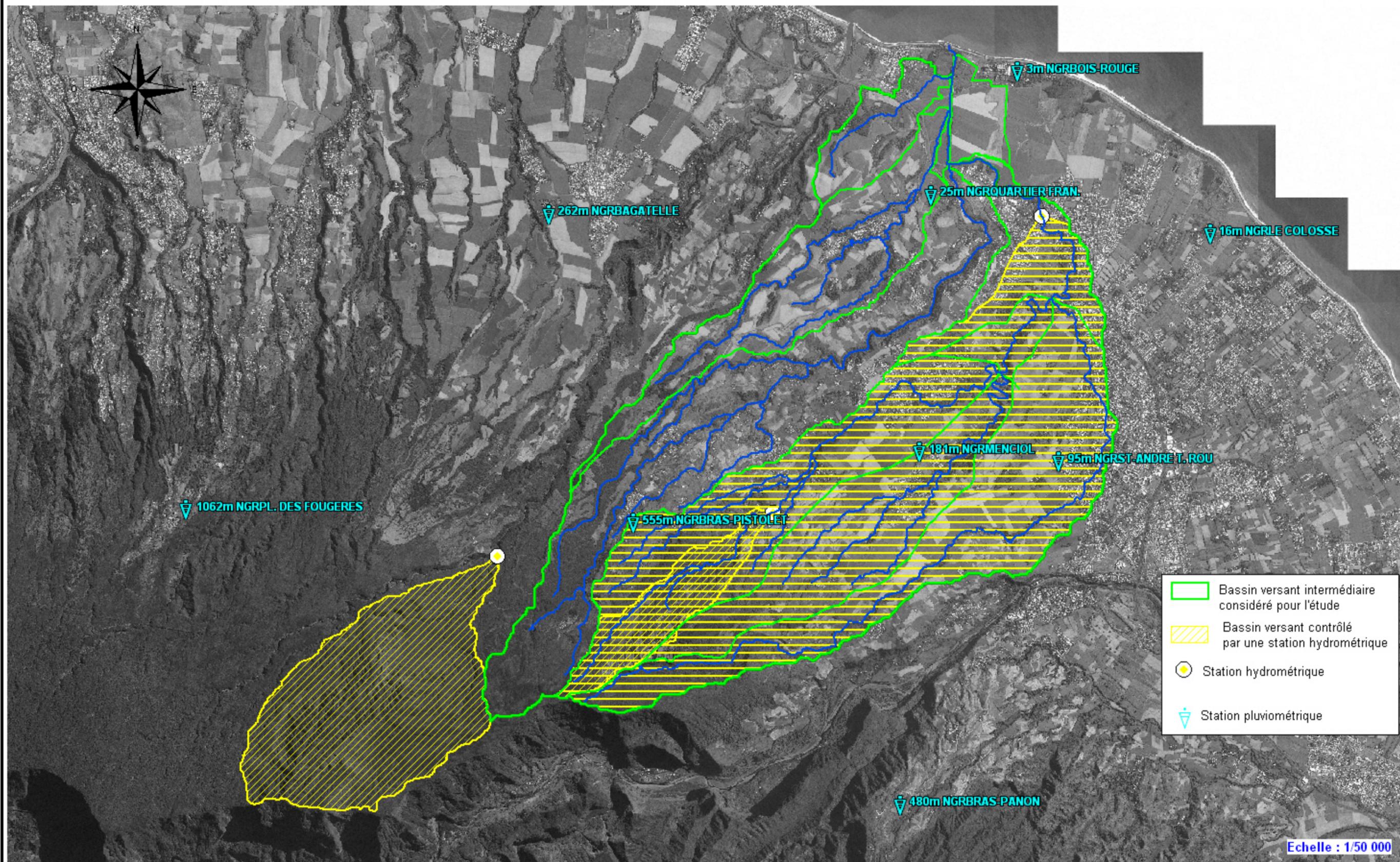
Poste <i>(par ordre alpha.)</i>	Code	Type	Altitude (m NGR)	Début de la mesure	Fin de la mesure	Nb années disponibles	Remarques
Stations situées sur le bassin versant							
Bras Pistolet	97 420 180	2	555	01/12/2002	-	7	
Menciol ^(*)	97 409 240	2	181	01/01/1953	-	56	Données horaires depuis 2000
Quartier Français	97 420 160	4	25	01/03/1957	31/11/1993	37	Manque 89 à 93
Saint-Anré T. Rou	97 409 250	4	95	01/04/1965	31/07/1988	23	
Stations situées hors bassin versant							
Bagatelle ^(*)	97 420 150	2	262	01/01/1953	-	56	
Bois Rouge	97 409 210	4	3	01/01/1952	-	57	
Colosse ^(*)	97 409 230	2	16	01/03/1957	-	52	Données horaires depuis 2000
Plaine des Fougères	97 418 170	4	1 062	01/06/1993	-	16	
Bras Panon	97 402 240	2	480	01/09/1990	-	19	

Type 2 : station automatique Météo France ou CIRAD

Type 4 : station pluviométrique (poste bénévole)

^(*) Sur ces postes, en plus des éventuelles données horaires, des données pluviographiques ont été enregistrées, sur des chroniques pouvant remonter jusqu'à la date d'ouverture de la station. Il ne s'agit pas de données horaires directement exploitables, mais de mesure à pas de temps variable et intensité constante, pouvant par le calcul et pour un événement donné être transformé en données horaires.

Figure 05 : Localisation des bassins versants, des postes pluviométriques et des stations hydrométriques



5.4.3. ANALYSE REGIONALE DES PLUIES JOURNALIERES

5.4.3.1. AJUSTEMENTS STATISTIQUES

Les pluies journalières maximales annuelles ont fait l'objet d'ajustements selon une loi de Gumbel. La figure n°6 page 37 présente l'ensemble de ces ajustements.

On constate qu'ils présentent systématiquement une cassure intervenant pour une période de retour comprise entre 5 et 10 ans pour la plupart des stations.

L'étude de la répartition des pluies à La Réunion a permis d'expliquer cette cassure par le fait que des phénomènes différents peuvent être à l'origine des maximums annuels de pluies :

↳ Les pluies d'origine cyclonique directe ;

↳ Les autres pluies.

On appelle pivot la valeur de la fréquence empirique correspondant au point d'intersection de la droite d'ajustement avec l'axe des abscisses. En théorie, ce pivot est associé au nombre moyen d'événements générant les maximums annuels.

La cassure de la droite d'ajustement permet de distinguer deux pivots distincts, traduisant le fait que le nombre moyen d'événements générant les maximums annuels est différent si l'on considère les pluies cycloniques et les autres pluies.

Il a donc été vérifié si les droites d'ajustement présentaient des pivots communs, indiquant une certaine homogénéité entre les postes, quant à la nature des phénomènes générant les fortes pluies.

A partir de l'observation des ajustements des différentes stations, une analyse détaillée est proposée.

5.4.3.2. CHOIX DE LA STATION DE REFERENCE MENCIOI ET D'UN PIVOT COMMUN

L'ajustement de la **station de Mencil**, située au cœur du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean, à une altitude proche de l'altitude médiane, présente un échantillon de données qui s'ajuste bien à la loi de Gumbel. Elle dispose de la plus longue série de données sur le bassin versant. **Elle est choisie comme référence pour l'analyse.** On y déce les pivots suivants :

↳ $Yo_1 = -2,9$

↳ $Yo_2 = 1,75$

La droite de Gumbel définie pour la station de Mencil va servir d'ajustement de référence pour l'analyse des autres stations prises en compte (cf. figure n°7 page 38). En effet, ce pivot s'ajuste relativement bien aux autres stations étudiées montrant une bonne homogénéité des pluies sur le bassin.

Pour les autres stations pluviométriques, une analyse de leur corrélation par équifréquence avec la station de Menciol est proposée. Cette corrélation permettra de définir la droite d'ajustement de chaque station.

*Figure n°6– REPARTITION DES PLUVIOMETRIES POUR LES STATIONS METEOROLOGIQUES
 RETENUES*

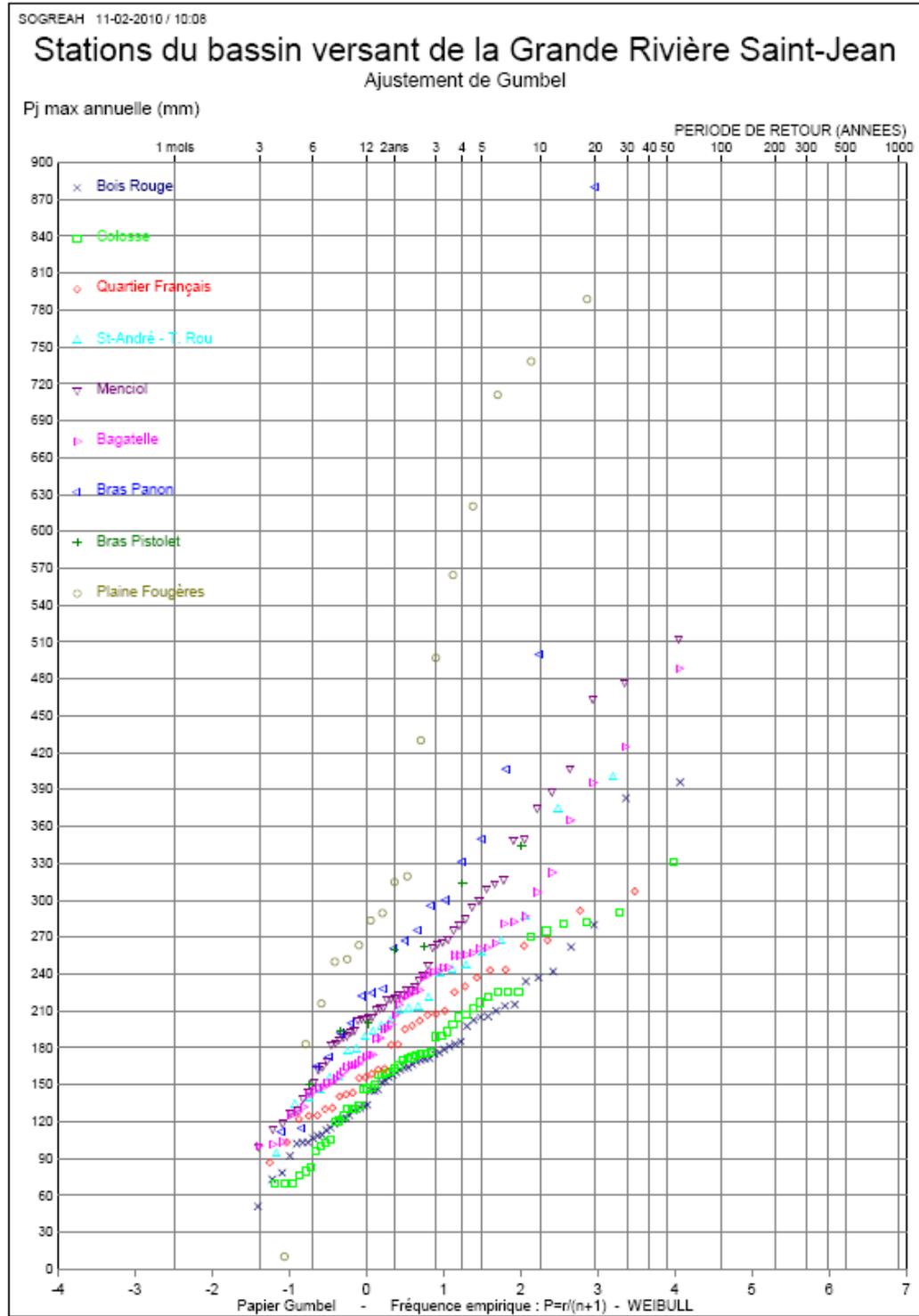
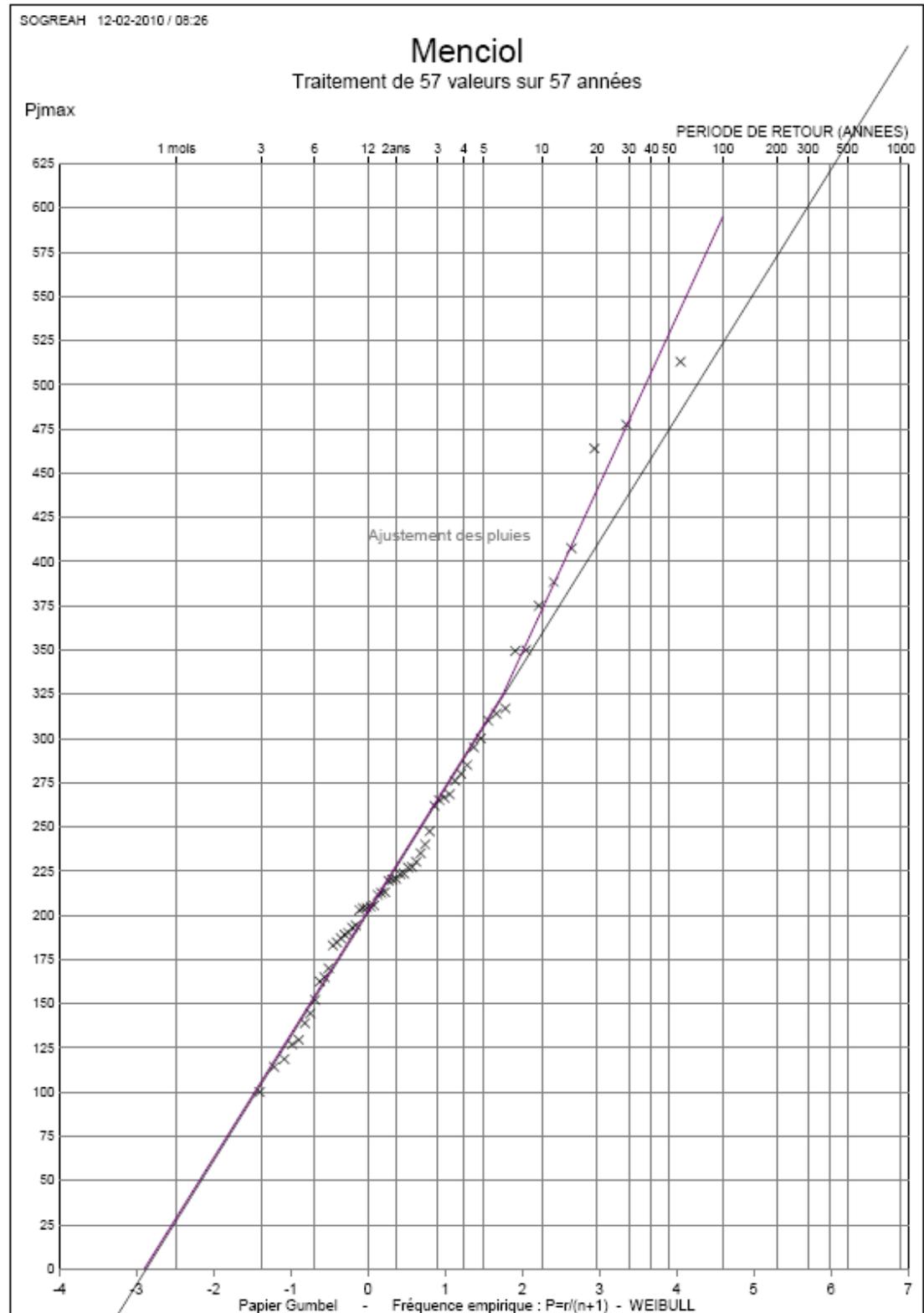


Figure n°7– AJUSTEMENT – STATION DE MENCIOI



5.4.3.3. COMPARAISON DE LA STATION DE MENCIOI AVEC LES AUTRES STATIONS

L'analyse de corrélation des données (pluies journalières maximales annuelles) sur la période commune d'exploitation, année par année, aboutit à une corrélation assez médiocre.

Une **comparaison par équiprobabilité** est donc proposée : il s'agit, sur la période commune de mesures, de comparer les séries de maximums annuels journaliers **classés**.

Les graphes correspondant à ces corrélations équiprobabilités sont rassemblés dans les pages suivantes suivis des graphiques des droites d'ajustement des données de chaque station.

Le tableau ci-dessous synthétise les relations obtenues entre les pluies maximales journalières à Menciol et celles des autres stations. La qualité de la corrélation est estimée à partir des coefficients de corrélation figurant sur les graphiques ci-après.

Tableau n°15 – CORRELATIONS EQUIFREQUENCES

Station	Corrélation Pj max à la station (Pjms) / Pj max à Menciol (PjmM)	Qualité de la corrélation
Quartier Français	$Pjms = 0.8021 \times PjmM$	Très bonne*
Saint-André T. Rouge	$Pjms = 0.83 \times PjmM$	Très bonne
Bras Pistolet	$Pjms = 1.1412 \times PjmM$	Très médiocre
Bois Rouge	$Pjms = 0.681 \times PjmM$	Très bonne
Colosse	$Pjms = 0.6883 \times PjmM$	Très bonne
Bagatelle	$Pjms = 0.8902 \times PjmM$	Très bonne
Bras Panon	$Pjms = 1.1178 \times PjmM$	Bonne*
Plaine des Fougères	$Pjms = 2.2452 \times PjmM - 171,6$	Bonne

* En écartant la valeur la plus forte

Ce tableau permet de faire les observations suivantes :

- ↳ Exceptée la station de Bras Pistolet qui présente une corrélation médiocre, la qualité générale très bonne des corrélations permet de **retenir la station de Menciol comme représentative du bassin versant**.
- ↳ La corrélation de médiocre qualité ($R^2 = 0,4425$) avec Bras Pistolet s'explique par le très faible nombre de mesures disponibles (7 années). Pour confirmer cette hypothèse, une comparaison équiprobabilité a été réalisée entre les stations de Bras Pistolet et de Bras Panon, située à une altitude très proche de celle de Bras Pistolet et présentant beaucoup plus de données (19 années). La corrélation s'est avérée de très bonne qualité, les pluies des deux stations étant très proches : $P_{jmBPistolet} = 1,03113 P_{jmBPanon}$

($R^2 = 0,9799$). Le graphique de cette corrélation est reporté dans la série de graphiques ci-après ;

- ↳ En ce qui concerne la corrélation avec les stations de Plaine des Fougères et Bras Panon, le nombre de données relativement peu important (respectivement 16 et 19 années) peut également en expliquer la qualité moins bien qu'acceptable ($R^2 = 0,8643$ et $0,8882$). Par ailleurs, on observe également une cassure plus franche dans les données pluviométriques journalières (cf. figure n°14 et figure n°15 page 43) que pour les autres stations. La corrélation est affine et non pas linéaire. **Il est donc plutôt probable que le régime pluviométrique de cette station se démarque légèrement des autres stations considérées du fait de sa position géographique** (altitude bien supérieure et éloignement du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean).

Figure n°8– COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIÈRES MAXIMALES ANNUELLES (MM) PAR ÉQUIFRÉQUENCE
(STATION DE QUARTIER FRANÇAIS AVEC MENCIOI)

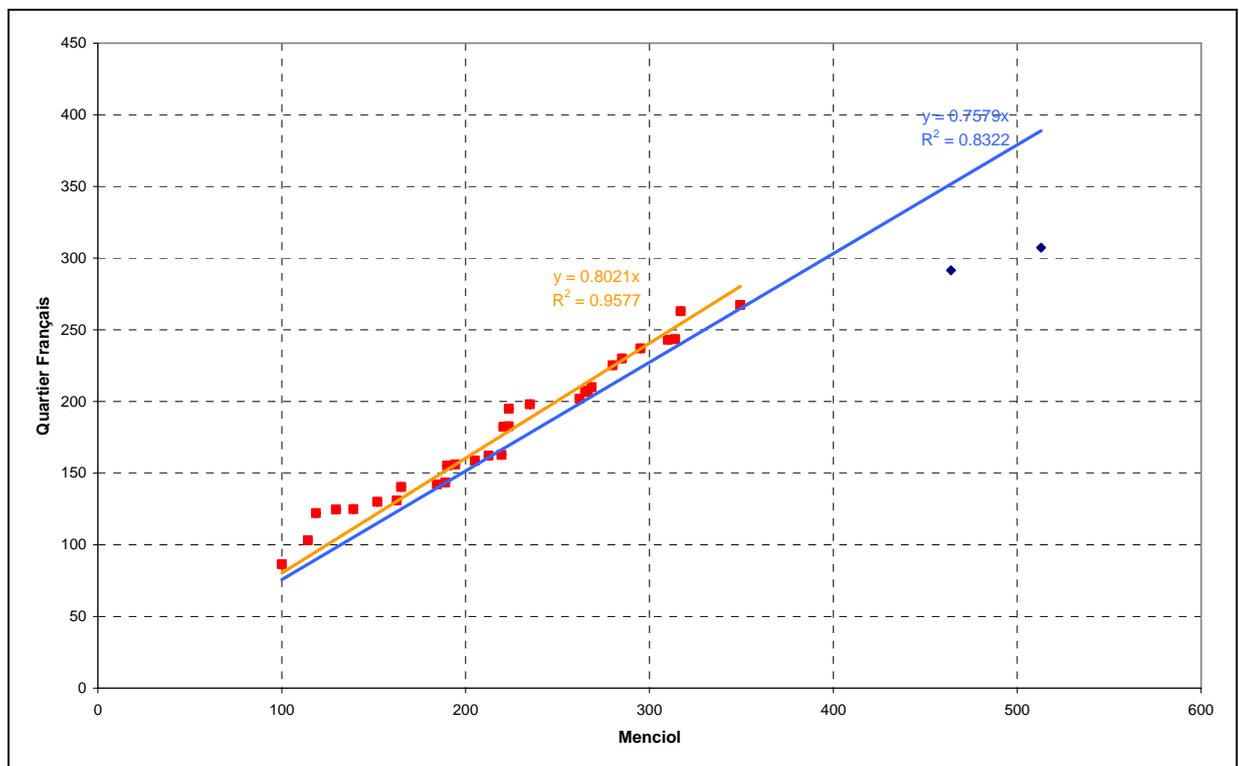


Figure n°9– COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (MM) PAR EQUIFREQUENCE (STATION DE SAINT-ANDRE T. ROUGE AVEC MENCIOI)

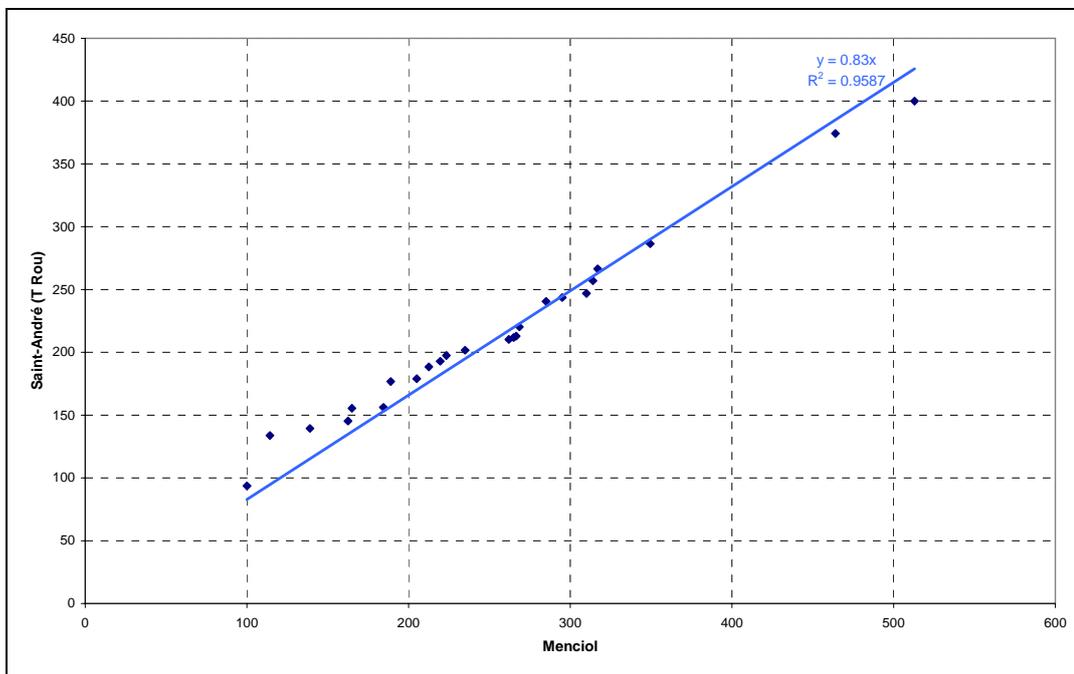


Figure n°10– COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (MM) PAR EQUIFREQUENCE (STATION DE BRAS PISTOLET AVEC MENCIOI)

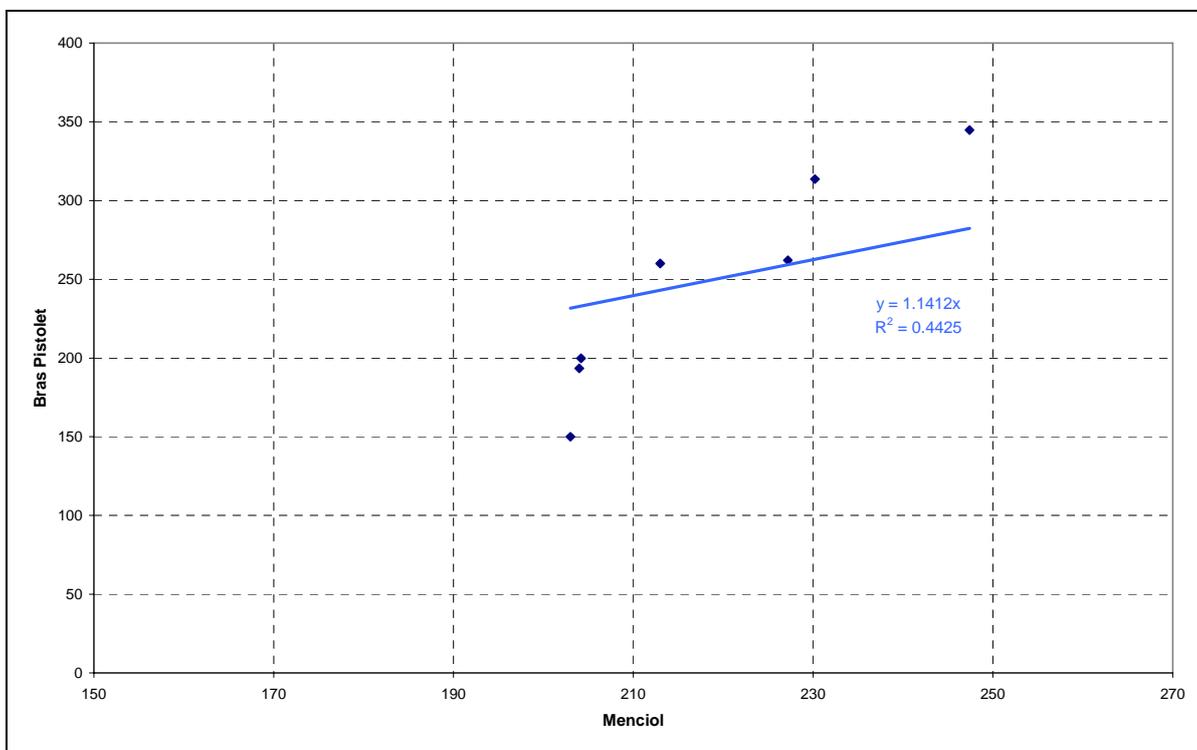


Figure n°11 – COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (MM) PAR EQUIFREQUENCE
(STATION DE BOIS ROUGE AVEC MENCIOI)

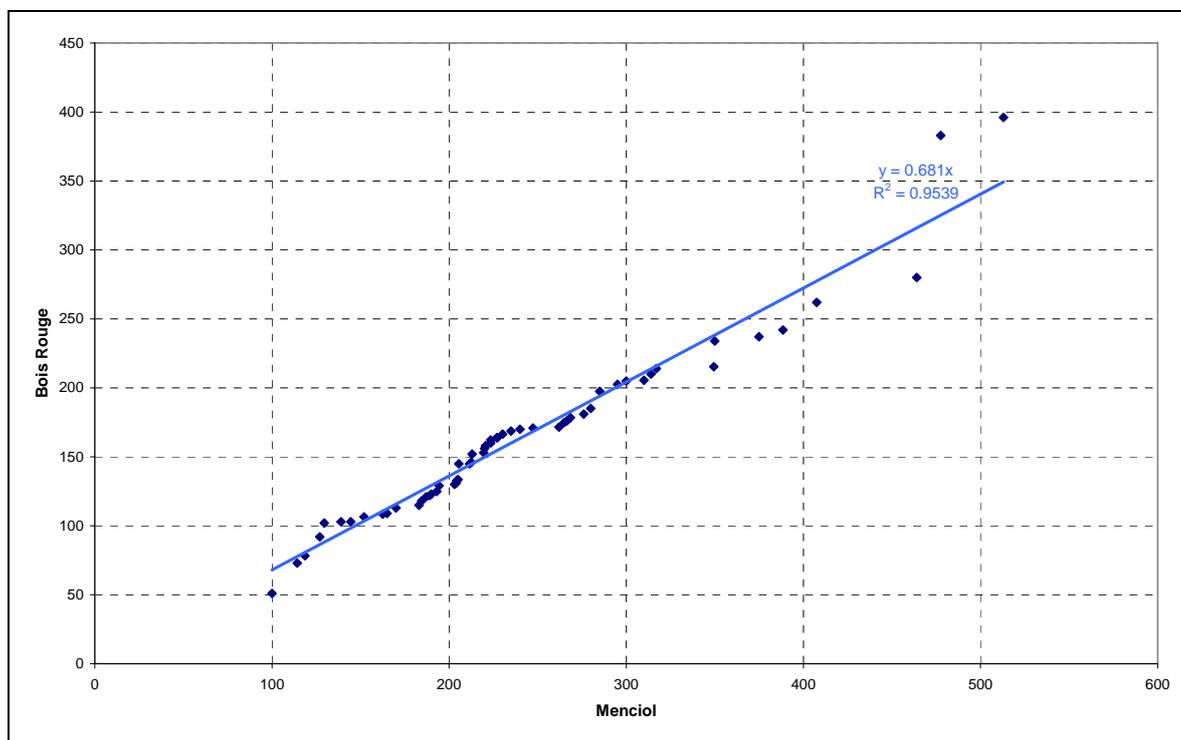


Figure n°12 – COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (MM) PAR EQUIFREQUENCE
(STATION DU COLOSSE AVEC MENCIOI)

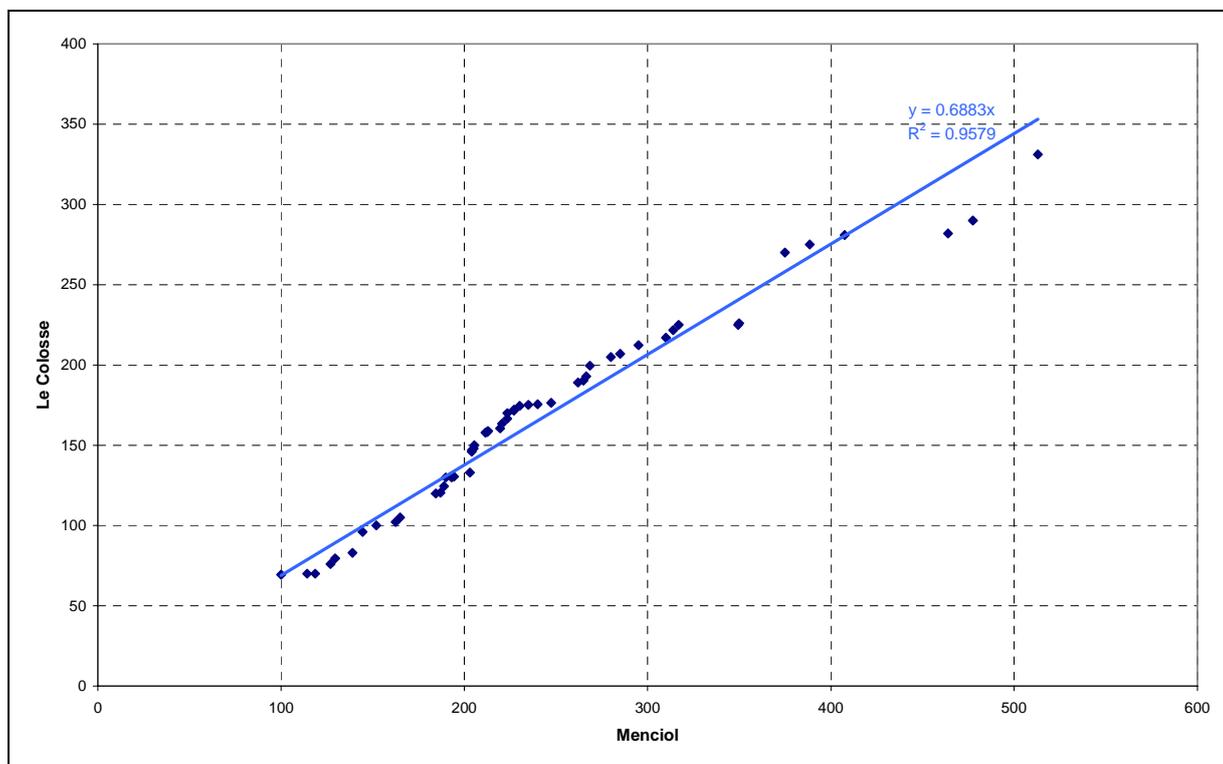


Figure n°13 – COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES (MM) PAR EQUIFREQUENCE (STATION DE BAGATELLE AVEC MENCIOI)

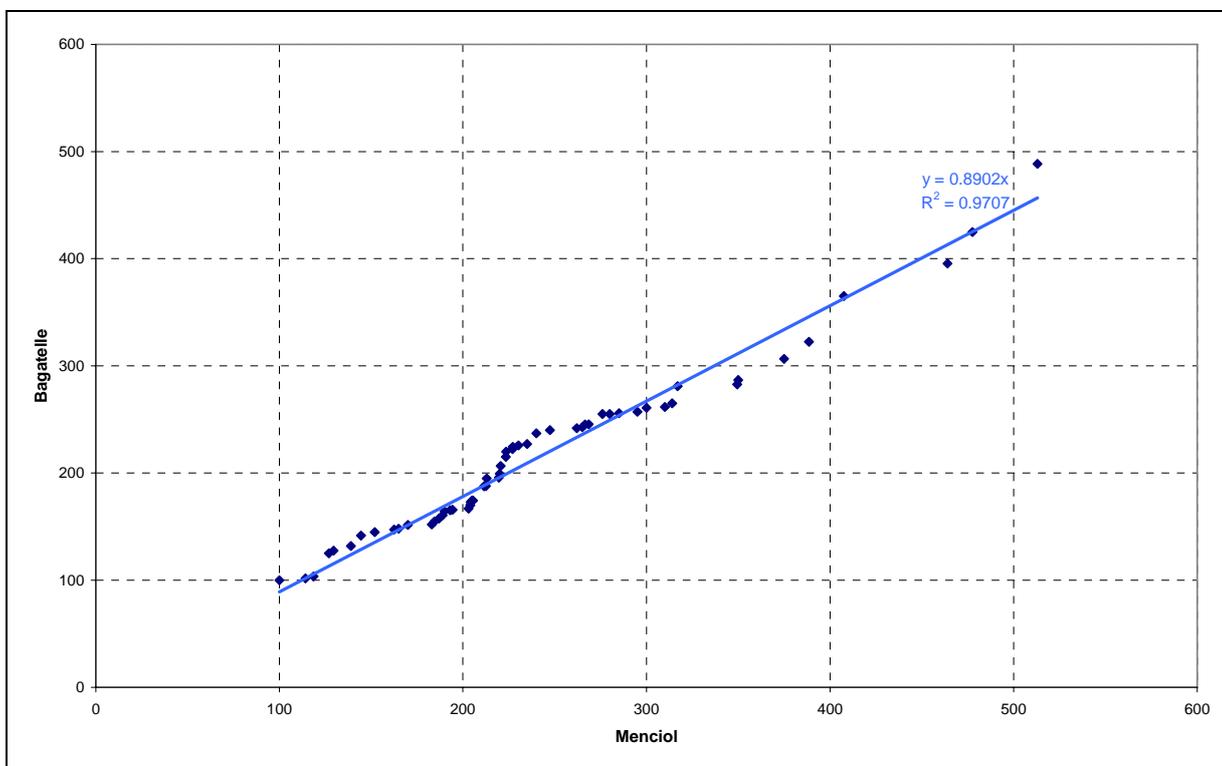


Figure n°14 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE (STATION DE BRAS PANON AVEC MENCIOI)

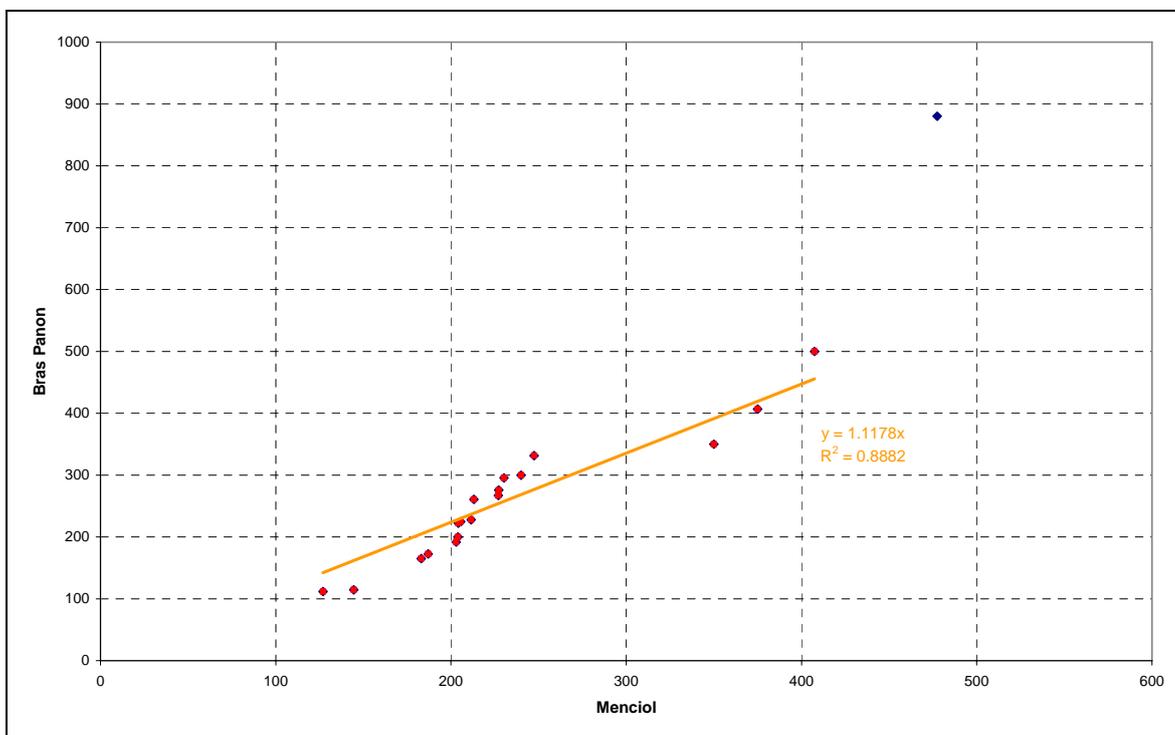
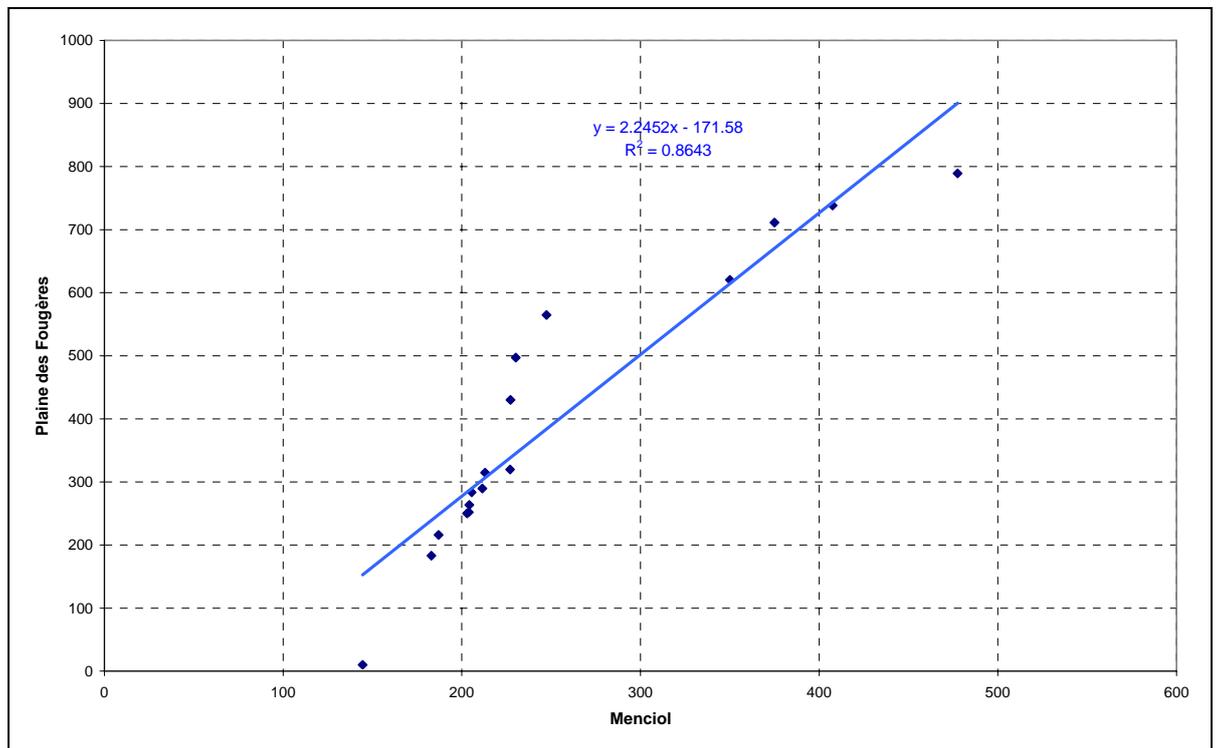


Figure n°15 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE (STATION DE PLAINE DES FOUGERES AVEC MENCIOI)



5.4.3.4. AJUSTEMENT DES PLUIES PAR APPLICATION DES CORRELATIONS EQUIFREQUENCES

Les corrélations établies dans le paragraphe précédent permettent de déduire les droites d'ajustement des stations à partir de la droite d'ajustement de Gumbel de la station de Menciol (cf. figure n°7 page 38).

Les différents ajustements sont présentés sur les figures des pages suivantes.

Ces ajustements appellent les remarques suivantes :

- ↳ Les ajustements apparaissent comme semblables. Cela signifie qu'il existe un rapport constant entre les pluies enregistrées à la station de Menciol et les pluies d'une autre station du même secteur ;
- ↳ L'ensemble des stations considérées présente une cassure dans leur ajustement. Cette cassure bien que peu marquée sur le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean est liée à un double phénomène :
 - L'origine des pluies. Ceci se traduit par des variations notables du point de vue de la répartition des quantités d'eau tombées et des intensités en fonction du type de pluies (cyclonique ou non) ;
 - L'influence du relief se traduisant par des effets orographiques.

Figure n°16– AJUSTEMENT DES P_{JMAX} ANNUELLES – STATION DE QUARTIER FRANÇAIS

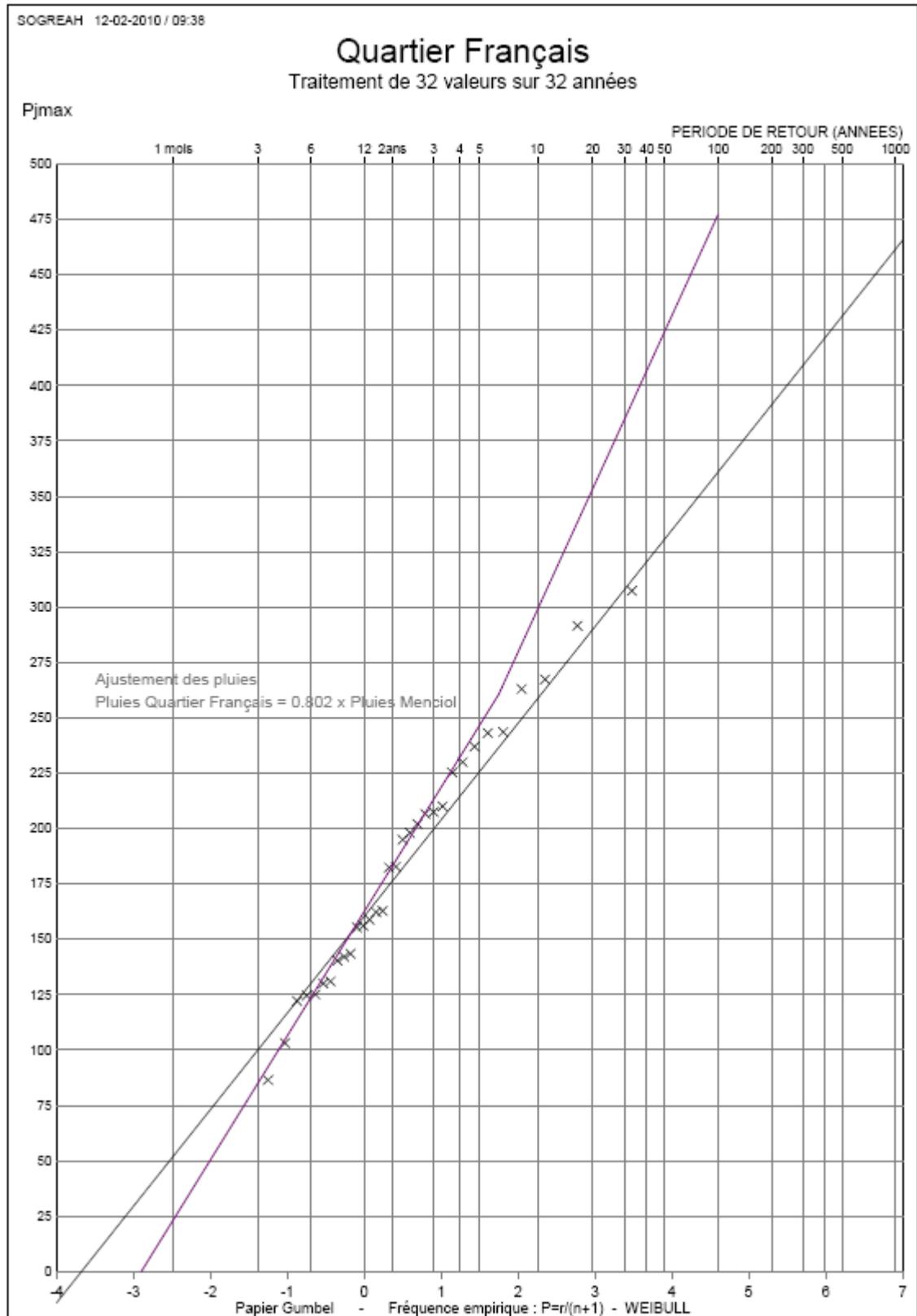


Figure n°17– AJUSTEMENT DES P_{JMAX} ANNUELLES – STATION SAINT-ANDRE T. ROUGE

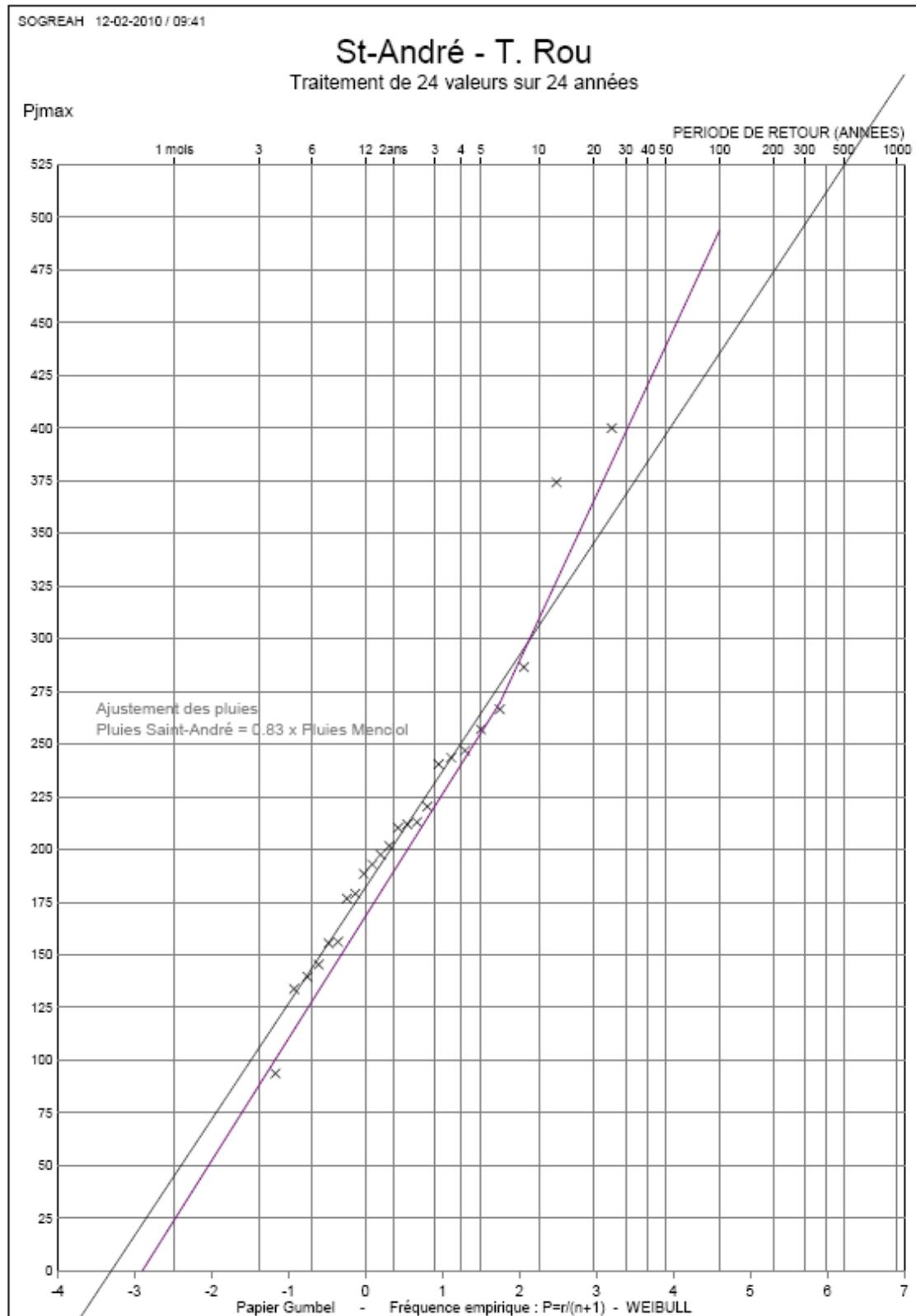


Figure n°18– AJUSTEMENT DES P_{JMAX} ANNUELLES – STATION DE BRAS PISTOLET

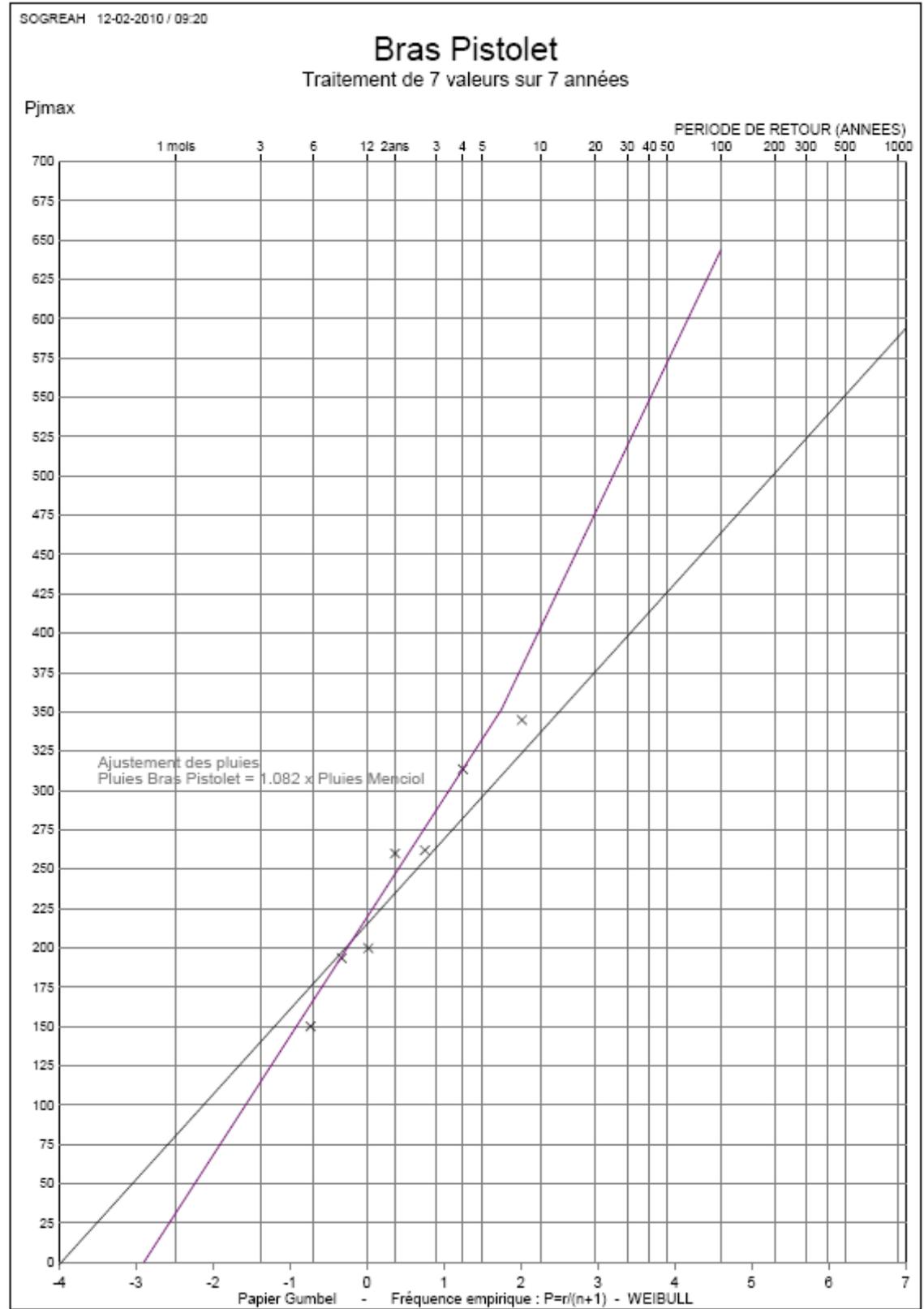


Figure n°19– AJUSTEMENT DES P_{MAX} ANNUELLES – STATION DE BOIS ROUGE

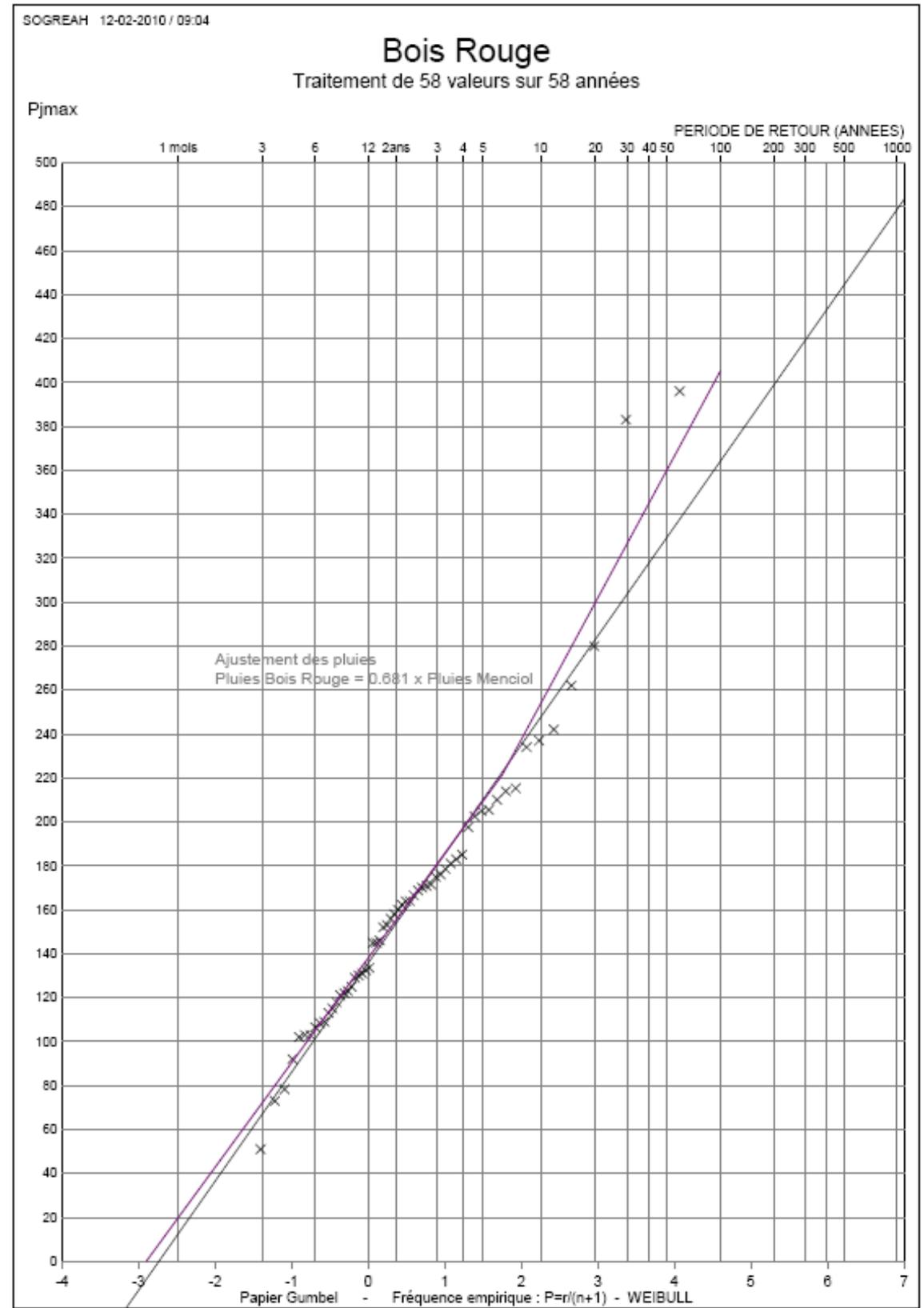


Figure n°20– AJUSTEMENT DES P_{JMAX} ANNUELLES – STATION DU COLOSSE

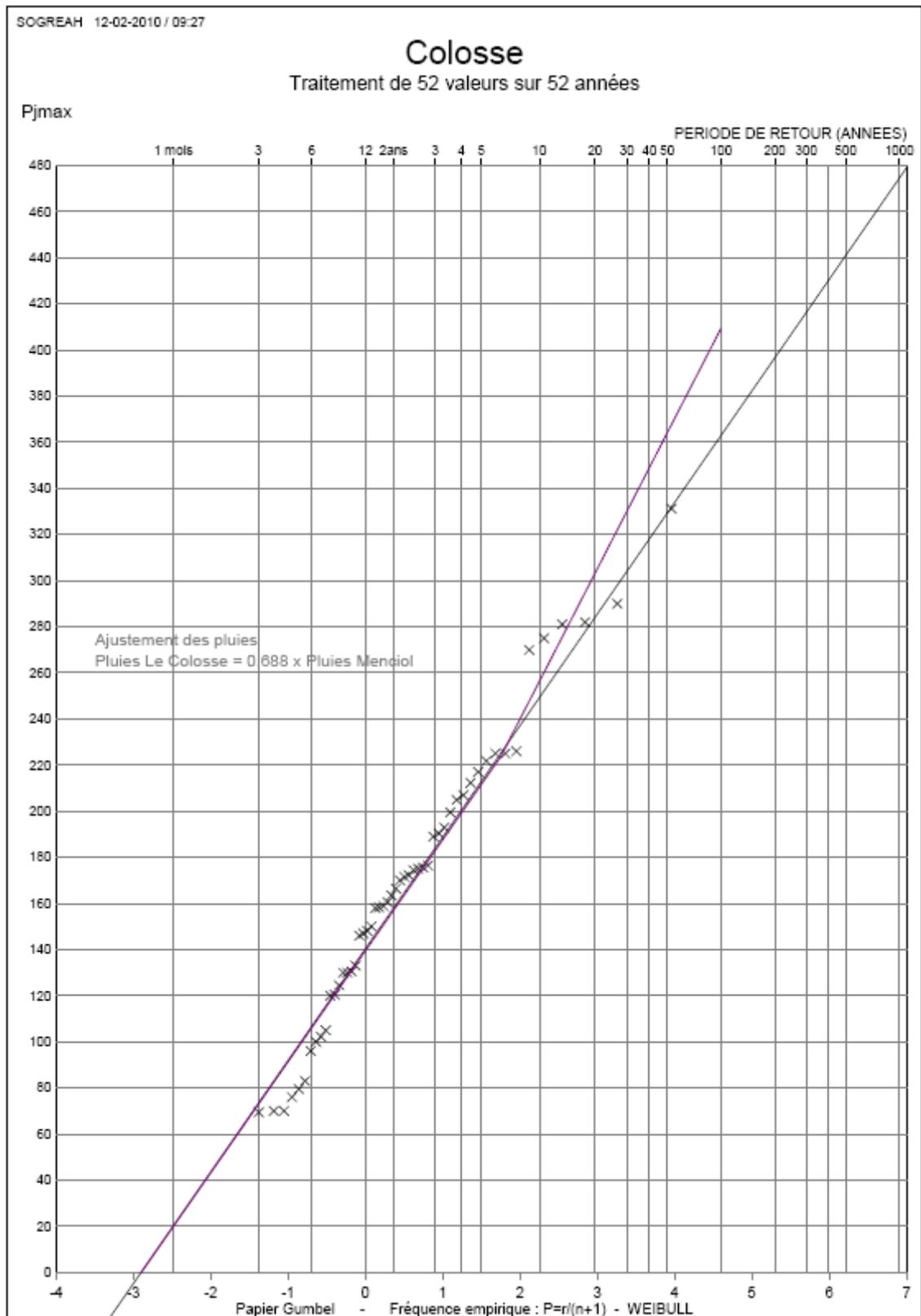


Figure n°21 – AJUSTEMENT DES P_{JMAX} ANNUELLES – STATION DE BAGATELLE

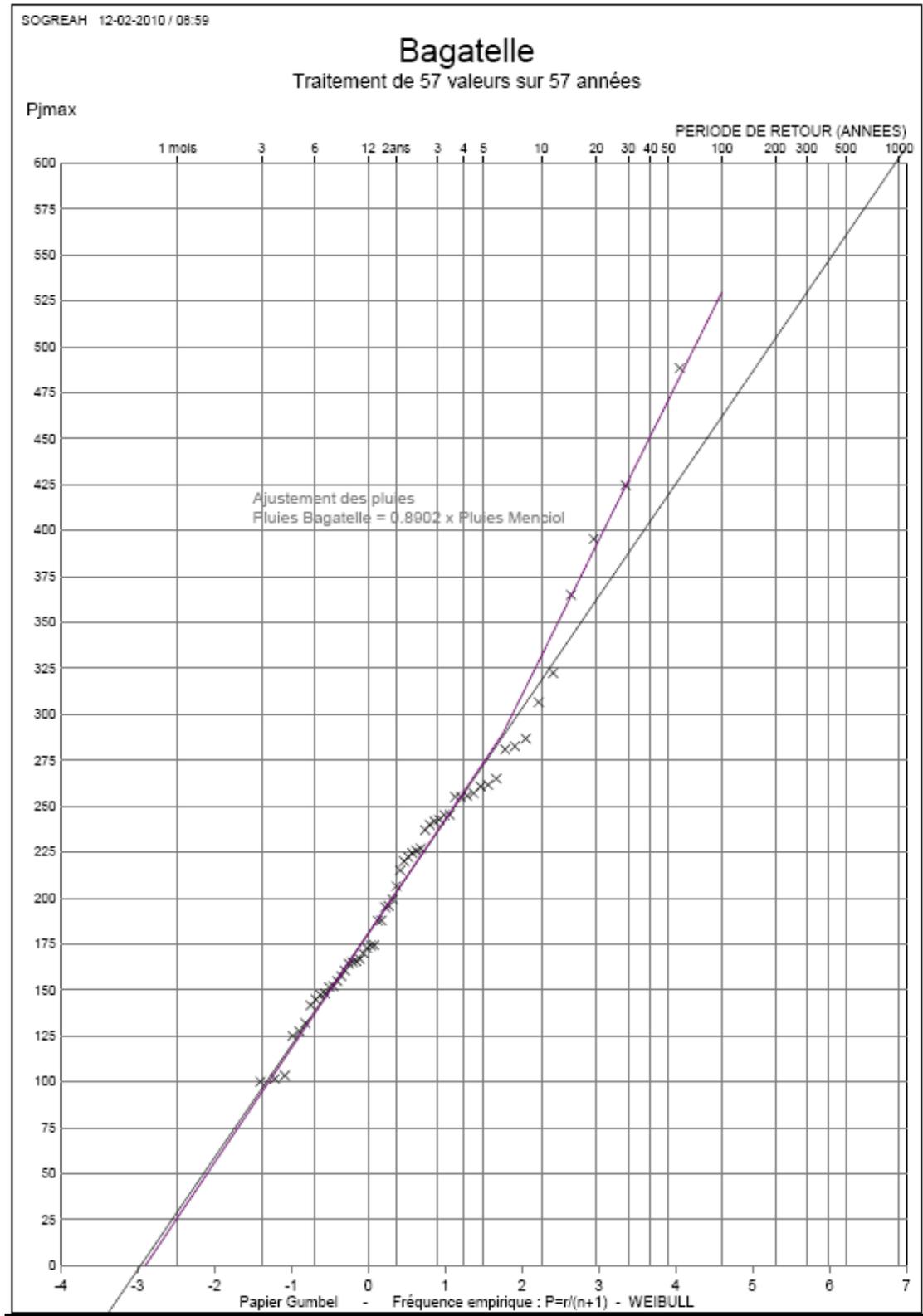


Figure n°22 – AJUSTEMENT DES P_{MAX} ANNUELLES – STATION DE BRAS PANON

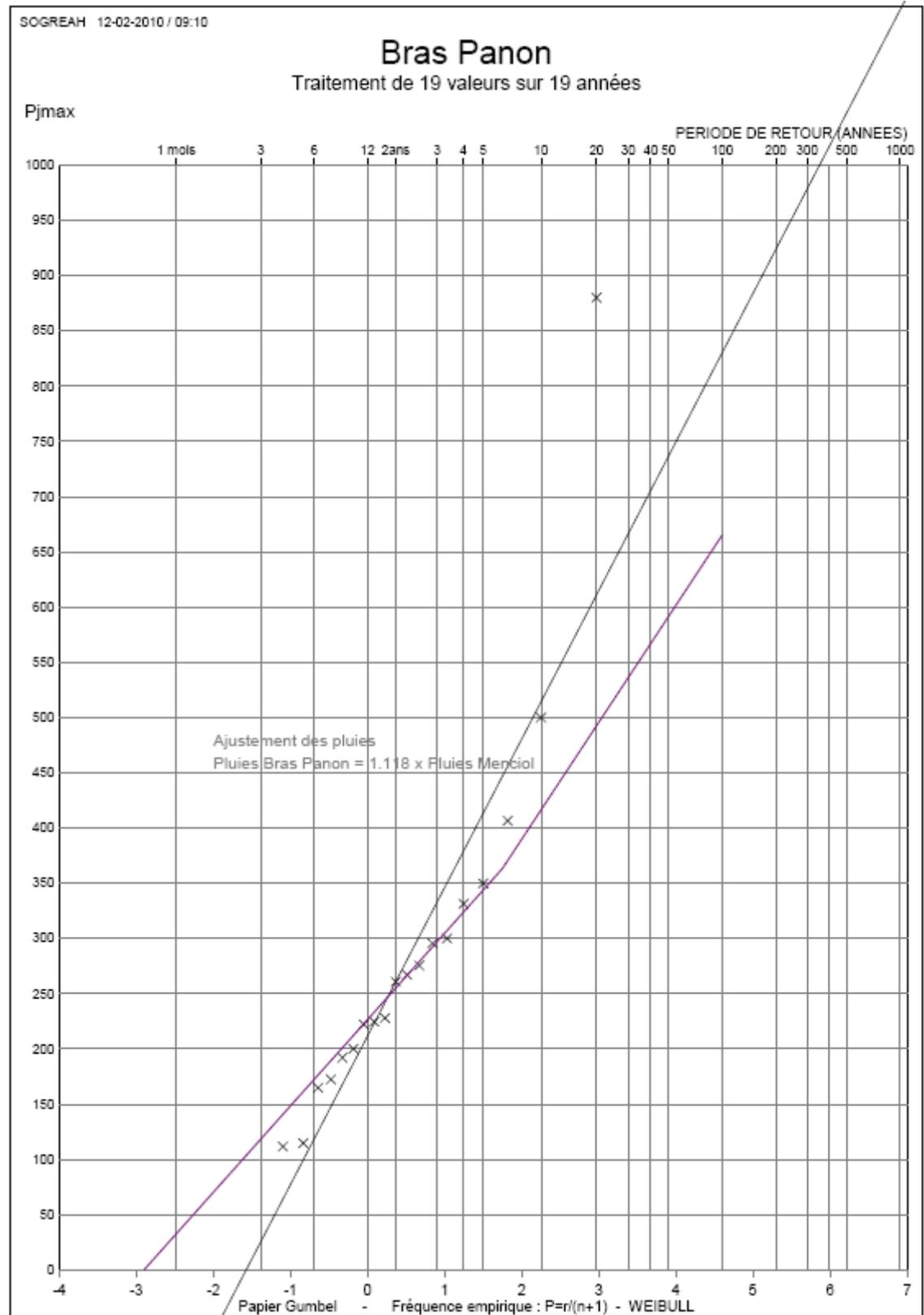
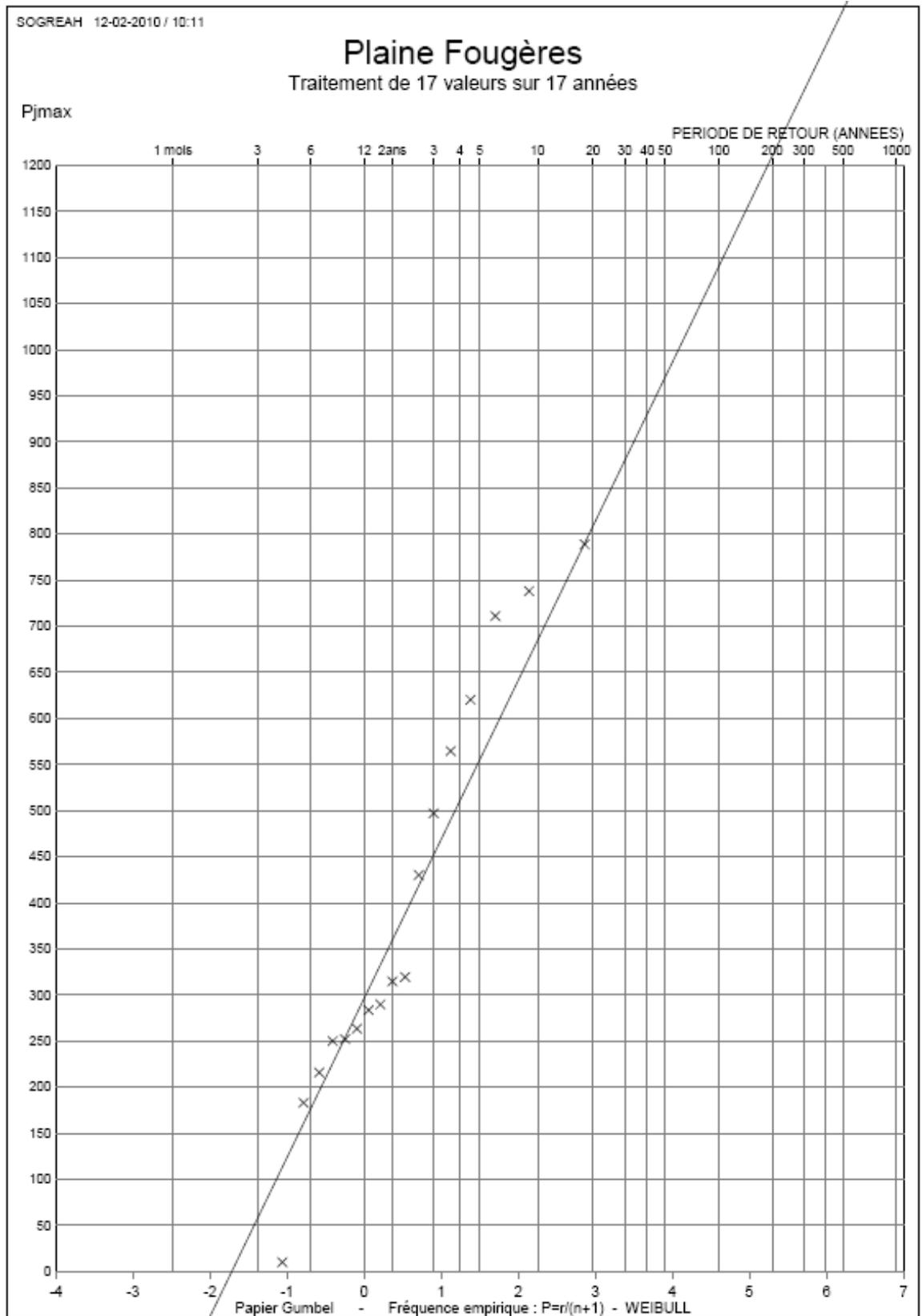


Figure n°23– AJUSTEMENT DES P_{JMAX} ANNUELLES – STATION DE PLAINE DES FOUGERES



5.4.3.5. LES PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES

Les ajustements réalisés dans le paragraphe précédent permettent d'établir les pluies caractéristiques journalières suivantes pour chacune des stations considérées :

Tableau n°16 – ESTIMATION DES PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES (MM)

Station	Altitude (mNGR)	P _{j2} (mm)	P _{j5} (mm)	P _{j10} (mm)	P _{j30} (mm)	P _{j100} (mm)	P _{j200} (mm)
Bois Rouge	3	155	210	255	325	405	450
Colosse	16	155	210	255	330	410	455
Quartier Français	25	185	245	300	385	475	530
St-André	95	190	255	310	400	490	550
Menciol	181	230	310	375	480	595	660
Bagatelle	262	205	275	330	430	530	590
Bras Panon	480	255	340	420	540	665	740
Bras Pistolet	555	250	330	400	520	645	715
Pl. des Fougères	1062	345	524	670	906	1164	1310

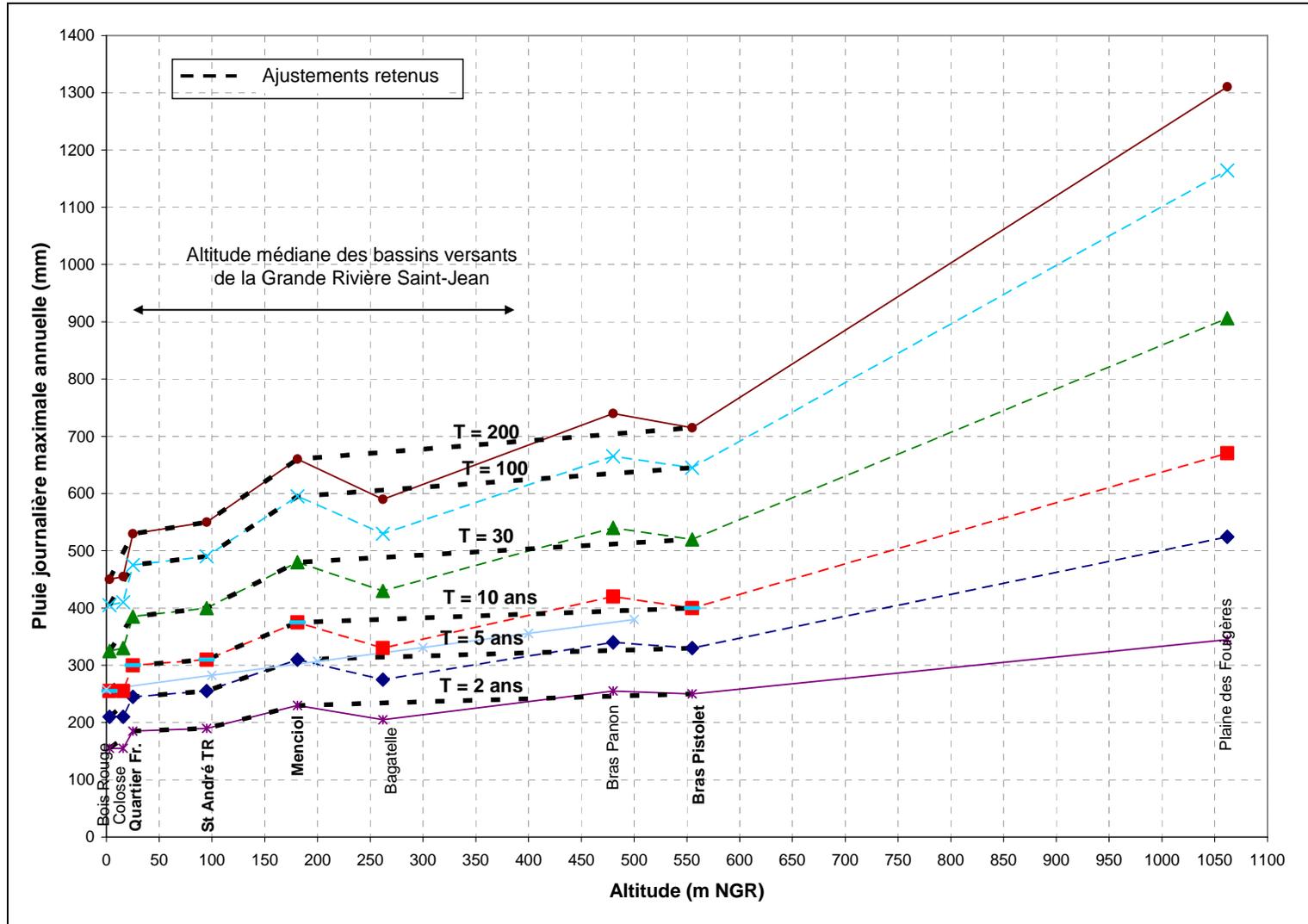
La relation pluies journalières caractéristiques en fonction de l'altitude est présentée sur la figure n°24 page 54 pour des périodes de retour de 2, 5, 10, 30, 100 et 200 ans.

Les valeurs de la station de Plaine des Fougères bien qu'a priori moins homogènes aux pluies du secteur d'étude sont données à titre indicatif. En effet, cette station est la seule à être située à proximité du bassin versant avec une altitude supérieure à 600 m NGR.

Les relations retenues en définitive pour l'estimation de la pluie journalière en fonction de l'altitude sur l'ensemble du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean prennent en compte les stations situées sur le bassin versant (Quartier Français, Saint-André T. Rouge, Menciol et Bras Pistolet) aux altitudes représentatives des altitudes médianes du bassin versant.

Le Tableau n°17 page 55 présente les relations retenues pour l'estimation de la pluie journalière en fonction de l'altitude pour une altitude inférieure à 600 m NGR.

Figure n°24– RELATION DES PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES AVEC L'ALTITUDE A PARTIR DES AJUSTEMENTS REALISES



*Tableau n°17– RELATIONS RETENUES POUR L'ESTIMATION
 DE LA PLUIE JOURNALIERE EN FONCTION DE L'ALTITUDE (< 600 MNGR)*

Période de retour	Relation retenue pour l'estimation de la pluie journalière en fonction de l'altitude (z en m NGR)			
	z < 30 m NGR	30 < z < 100 m NGR	100 < z < 200 m NGR	200 < z < 600 m NGR
P _{j200}	P _j = 3,636 z + 439	P _j = 0,286 z + 523	P _j = 1,279 z + 428	P _j = 0,201 z + 624
P _{j100}	P _j = 3,182 z + 395	P _j = 0,214 z + 470	P _j = 1,221 z + 374	P _j = 0,182 z + 562
P _{j30}	P _j = 2,727 z + 317	P _j = 0,214 z + 380	P _j = 0,930 z + 312	P _j = 0,146 z + 454
P _{j10}	P _j = 2,045 z + 249	P _j = 0,143 z + 296	P _j = 0,756 z + 238	P _j = 0,091 z + 358
P _{j5}	P _j = 1,591 z + 205	P _j = 0,143 z + 241	P _j = 0,640 z + 194	P _j = 0,073 z + 297
P _{j2}	P _j = 1,364 z + 151	P _j = 0,071 z + 183	P _j = 0,465 z + 146	P _j = 0,073 z + 217

Il ressort de cette analyse que le **gradient altimétrique est relativement faible sur le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean en comparaison d'autres bassins versants réunionnais.**

Ce gradient oscille entre 0,7 et 1,1 (pluie sur le bassin versant par rapport à la pluie enregistrée à Menciol pour des altitudes inférieures à 600 m NGR).

5.5. ANALYSE DES DEBITS ET RELATION PLUIE – DEBIT (METHODE SPEED)

Pour déterminer une relation entre les pluies journalières relatives à un bassin versant particulier et les débits au point de contrôle de ce bassin versant, une comparaison équifréquence est réalisée entre :

- ↳ **Les débits réduits** : Les débits maximaux annuels Q (m³/s) au point de contrôle considéré sont transformés en débit réduit (mm) par l'application de la formule :

$$Q_{re} = \frac{12}{S^{0,75}} \times Q$$

Avec "S" superficie du bassin versant au point de contrôle considéré en km².

Les débits maximaux annuels ont été estimés :

- D'une part à partir des estimations de crue historiques disponibles ;
- D'autre part à partir des données débitmétriques des stations de l'OLE sur le secteur d'étude ;
- Enfin à partir des estimations de débits issues de la modélisation pluies-débits réalisée dans le cadre de cette étude avec le logiciel HEC-HMS et présentée de façon détaillée dans le § 5.7 page 73.

- ↪ **Les pluies journalières maximales annuelles à l'altitude médiane du bassin versant considéré.** Celles-ci sont déduites des pluies de Menciol en fonction des relations du tableau n°17, page 55, et du gradient altimétrique considéré au-dessus de 600 m NGR (gradient Menciol – Bras Pistolet, Menciol – Bras Panon ou Menciol – Bras des Fougères),

5.5.1. RAPPEL DES ESTIMATIONS DE DEBITS DE CRUES HISTORIQUES

L'analyse des études antérieures du § 5.1 page 19 a permis de recenser les estimations de débits de crue suivantes sur le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la plaine inondable de Bois Rouge à partir de laisses de crue :

- ↪ Sur la Grande Rivière Saint-Jean, au pont de la RN 2002 :
- La crue du cyclone Hyacinthe (janvier 1980) estimée à 250 m³/s ;
 - La crue de la dépression tropicale modérée Inès (16 mars 1975) estimée à 410 m³/s ;
 - La crue du 12 février 1990 estimée à 450 m³/s.
- ↪ Sur la Ravine Sèche :
- Crue du cyclone Clotilda (février 1987) estimée à 90 m³/s en amont du centre ville de Saint-André au pont Minot ;
 - Crue du 12 février 1990 estimée à 60 à 80 m³/s dans le centre ville de Saint-André au pont Auguste ;

5.5.2. DEBITS DE CRUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DU SECTEUR

5.5.2.1. DESCRIPTION DES STATIONS LIMNIMETRIQUES D'INTERET

Les chroniques de hauteur d'eau des stations limnimétriques apportent des informations précieuses sur les débits.

Trois stations limnimétriques (2 gérées par l'OLE et une par la DDE) présentent un intérêt dans le cadre de cette étude :

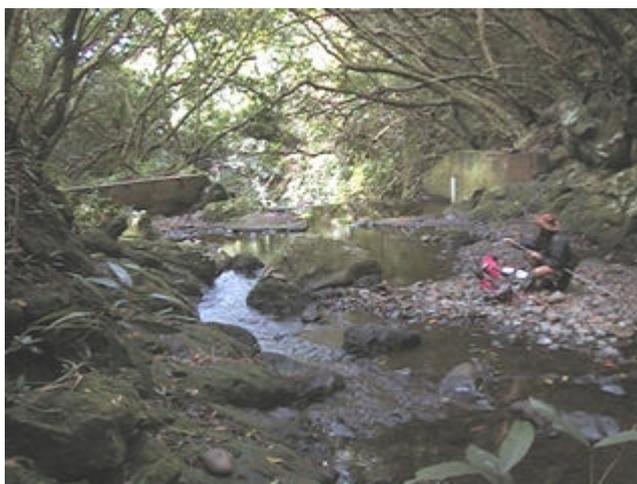
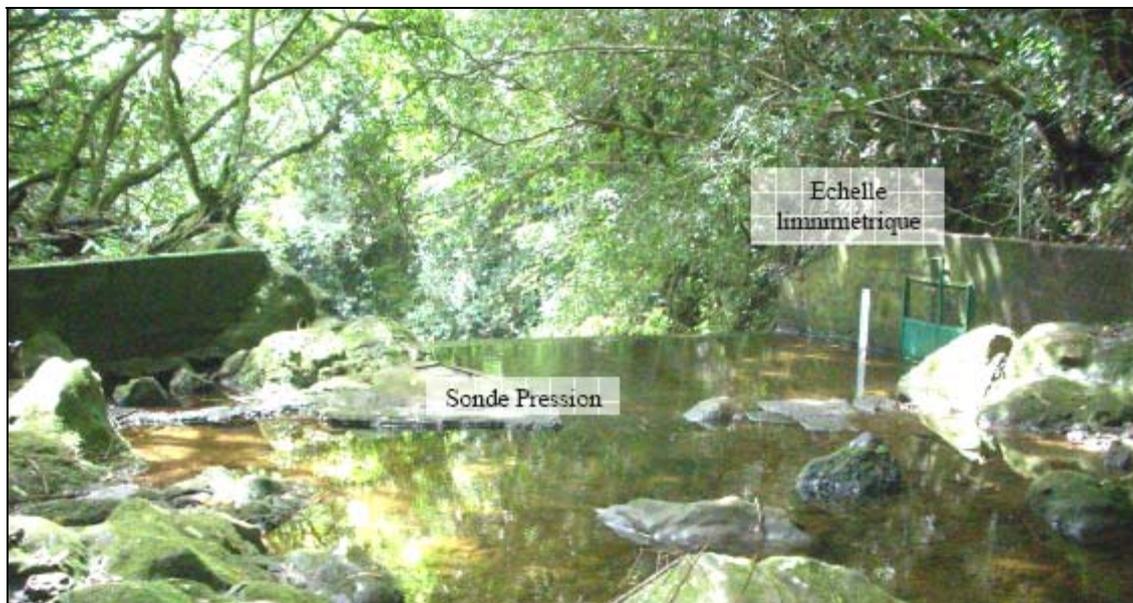
- ↪ **La station de Grand Bras** située sur la Grande Rivière Saint-Jean en tête de bassin mise en place le 6 octobre 1977 et toujours en activité. Cette station dispose en réalité de 30 années de mesures (dont 2010), la traduction hauteurs-débits des données antérieures à 1981 n'ayant pas pu être retrouvée par l'OLE. Les principales caractéristiques du bassin versant contrôlé par cette station sont les suivantes.

*Tableau n°18 – PARAMETRES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT
DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN A LA STATION DU GRAND BRAS*

Rivière	Station	Superficie (km ²)	Altitude médiane (m NGR)	Altitude de la station
Grande Rivière Saint-Jean	Grand Bras n° 22011	2	648	320

Cette station est située au droit d'une prise d'eau AEP communale et comprend une échelle limnimétrique et une sonde pression.

Photo n°1 – EMPLACEMENT DE LA STATION DE GRAND BRAS (SOURCE : OLE)



- ↳ **La station du Bras Laurent** est située sur le bassin versant limitrophe de la Rivière Sainte-Suzanne. Cette station est située également en tête du bassin versant de la rivière, 100 m environ en amont de la confluence avec la Rivière Sainte-Suzanne. Elle a été mise en place le 15 octobre 1992 et dispose donc de 19 années de mesure (dont 1992 et 2010 incomplètes). Les principales caractéristiques du bassin versant contrôlé par cette station sont synthétisées dans le tableau page suivante.

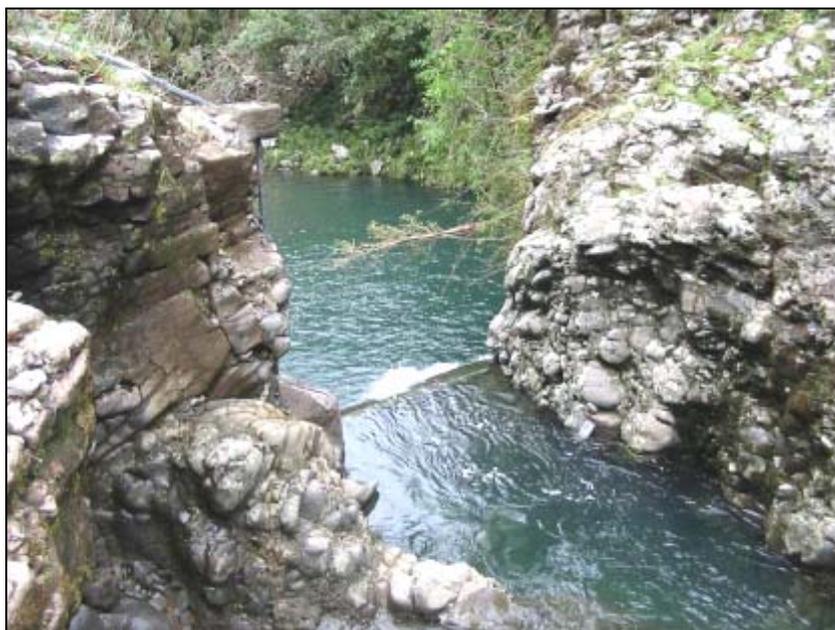
*Tableau n°19 – PARAMETRES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT
DU BRAS LAURENT A LA STATION DU MEME NOM*

Rivière	Station	Superficie (km ²)	Altitude médiane (m NGR)	Altitude de la station
Bras Laurent (affluent de la Riv. Sainte Suzanne)	Bras Laurent n° 21062	7,5	1 091	690

L'intérêt de cette station, en plus de sa proximité avec le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean, est qu'elle contrôle un bassin versant plus important. Sa taille (7,5 km²) est comparable à celle du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec le Bras des Chevrettes.

La station est située au niveau d'un verrou et d'un seuil naturel et comprend une échelle limnimétrique et une centrale d'acquisition.

Photo n°2 – EMPLACEMENT DE LA STATION DE BRAS LAURENT (SOURCE : OLE)



↪ **La station radar du pont de la RN 2002 à Quartier Français** située sur la Grande Rivière Saint-Jean en aval de sa confluence avec la Ravine Sèche et en amont de sa confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean.

Elle a été mise en place en novembre 2008 et dispose donc de peu de mesures. On recense toutefois deux crues d'importance : celle du 10 décembre 2008 et celle de la tempête tropicale JADE (9 avril 2009).

Les principales caractéristiques du bassin versant contrôlé par cette station sont les suivants.

Tableau n°20– PARAMETRES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN A LA STATION DU PONT DE LA RN 2002

Rivière	Station	Superficie (km ²)	Altitude médiane (m NGR)	Altitude de la station
Grande Rivière Saint-Jean	RN 2002	23	215	12

L'intérêt majeur de cette station, bien que récente, est qu'elle contrôle un bassin versant beaucoup plus important et qu'elle permet d'avoir une meilleure estimation des débits sur des secteurs à forts enjeux.

Photo n°3– EMPLACEMENT DE LA STATION DDE AU PONT DE LA RN 2002 (FACE AVAL)



5.5.2.2. COURBES DE TARAGE ET ESTIMATIONS DES DEBITS AU DROIT DES STATIONS HYDROMETRIQUES

STATIONS DE L'OLE

L'OLE dispose des chroniques de hauteurs d'eau pour les deux stations avec très peu de lacunes. Les données limnimétriques sont a priori de bonne qualité du fait des emplacements adéquats des deux stations, du moins pour l'évaluation des crues (la station de Grand Bras pose des problèmes de tarage pour les débits d'étiage du fait de la prise d'eau AEP).

L'OLE a réalisé des estimations des débits de crues les plus importants pour chacune des stations. A partir de ces données, nous avons déduit les courbes de tarage correspondantes par une corrélation polynomiale de degré 2. Les relations correspondantes sont indiquées sur les Figure n°25 et Figure n°26 page suivante.

On verra cependant que l'analyse pluie-débits met en évidence que ces courbes de tarage ne sont pas valides au-delà d'un certain seuil. Après discussions avec l'OLE, il s'avère que la courbe de tarage n'est valide que :

- ↳ Pour des hauteurs < 1,5 m pour la station de Grand Bras. Cette hauteur correspond à la hauteur des murs bajoyer du seuil en béton mis en place. Plus en hauteur, on retrouve les berges naturelles et une section très différente ce qui n'a vraisemblablement pas été pris en compte dans le calcul de la courbe de tarage ;
- ↳ Pour des hauteurs < 4 m pour la station de Bras Laurent. Cette hauteur correspond à la hauteur des parois qui constituent le verrou naturel de la station. Plus haut, la section s'évase, ce qui n'a vraisemblablement pas été pris en compte dans le calcul de la courbe de tarage.

Les crues maximales annuelles de chacune des stations (estimées par l'OLE) sont présentées dans les tableau n°21 et tableau n°22 pages 62 et 63. Les valeurs surlignées en rouge sont celles pour lesquelles la courbe de tarage n'est pas valide (hauteur mesurée correcte mais estimation de débit erronée).

Figure n°25– COURBE DE TARAGE DE LA STATION OLE DE GRAND BRAS

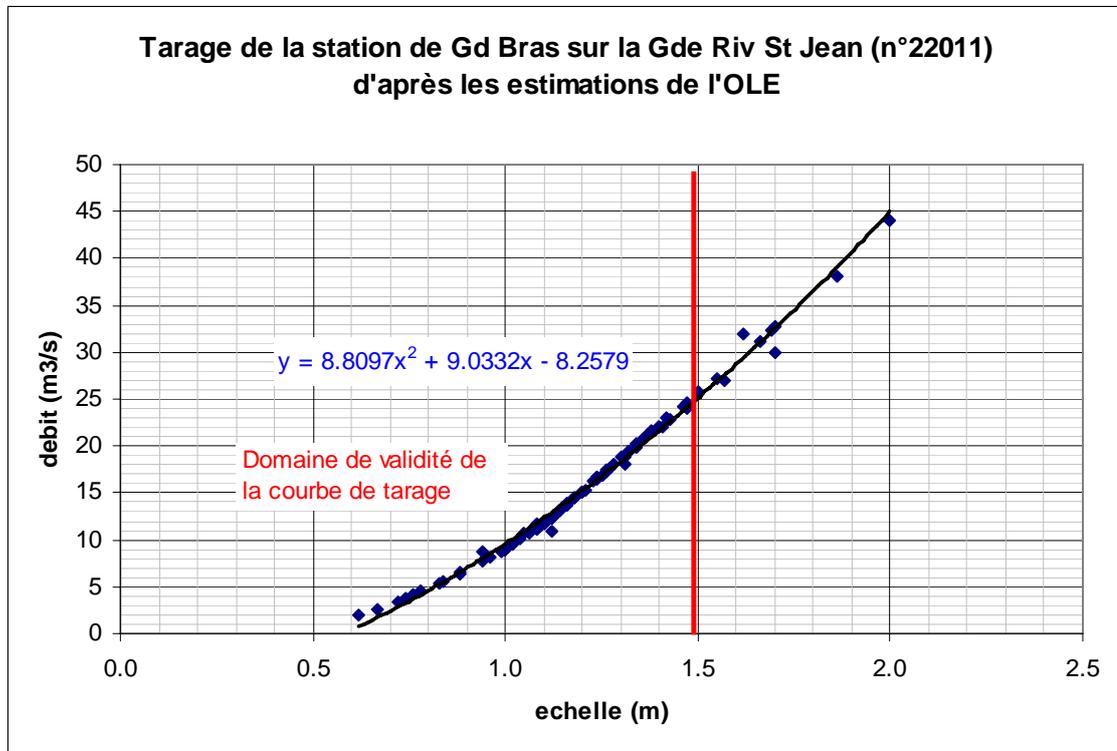
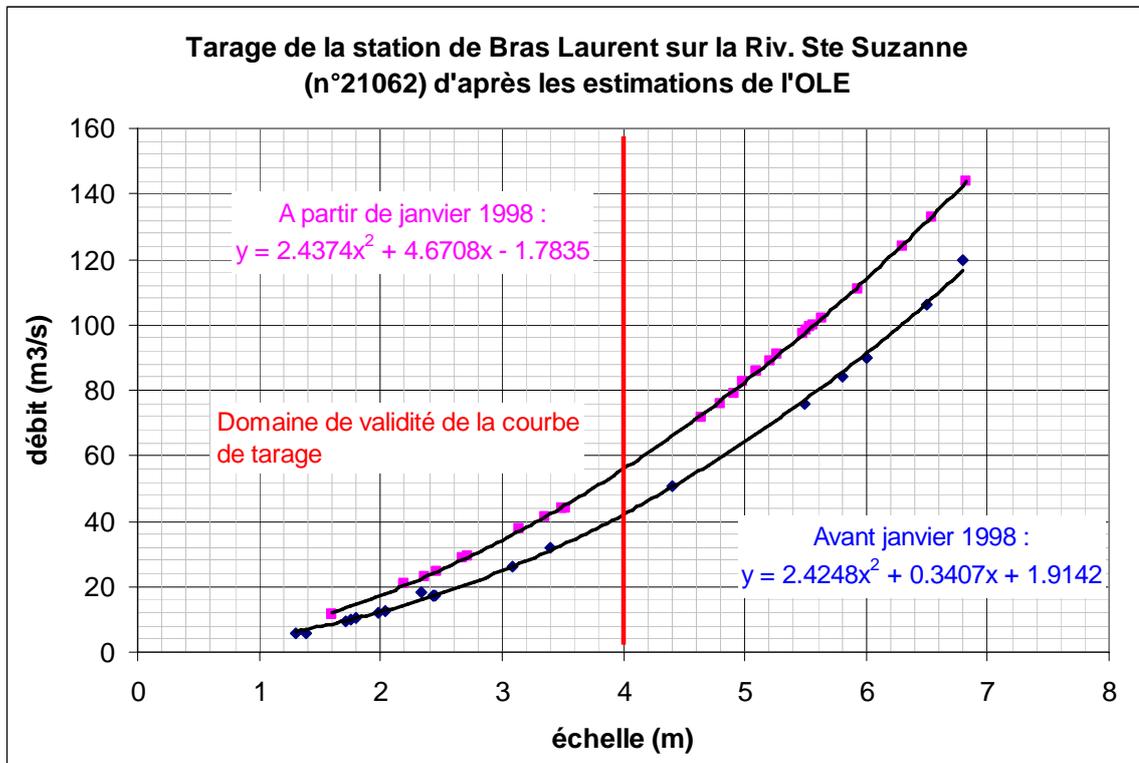


Figure n°26 – COURBE DE TARAGE DE LA STATION OLE DE BRAS LAURENT



DDE DE LA REUNION/RISC
 ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
 RAPPORT

*Tableau n°21 – CRUES MAXIMALES ANNUELLES DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 A LA STATION DE GRAND BRAS (ESTIMATIONS OLE)*

Année	Date / heure	Hauteur Maxi (m)	Débit maxi estimé par l'OLE (m ³ /s)	Observations
1981	02/12/1981 16:00	1.26	17.30	
1982	02/02/1982 04:30	1.32	19.50	
	06/02/1982 08:30	1.32	19.50	
1983	18/01/1983 21:10	1.32	19.50	
1984	06/04/1984 03:00	1.37	21.20	
1985	16/01/1985 19:00	1.47	24.70	"CELESTINA"
1986	14/03/1986 22:00	1.20	15.00	
1987	11/02/1987 17:00	1.62	32.00	"CLOTILDA"
1988	22/02/1988 02:20	0.99	8.80	
1989	29/01/1989 10:30	1.24	16.75	"FIRINGA"
1990	12/02/1990 05:10	1.50	25.70	
1991	15/02/1991 11:00	1.28	18.10	
1992	12/04/1992 10:50	1.24	16.75	
1993	01/03/1993 10:55	1.70	30.00	Pluie orageuse L 105
1994	02/03/1994 20:00	1.23	16.30	
1995	09/12/1995 00:00	1.38	21.60	
	31/12/1995 01:10	1.40	22.00	
1996	22/01/1996 18:10	1.24	16.75	
1997	05/02/1997 09:00	1.32	19.50	
	13/03/1997 17:45	1.32	19.50	
	16/06/1997 13:15	1.32	19.50	
1998	23/02/1998	1.86	38.00	
1999	12/03/1999 22:30	1.31	18.00	"DAVINA"
2000	29/01/2000 11:28	1.41	21.95	"CONNIE"
2001	07/01/2001 01:32	1.08	11.64	"ANDO"
2002	23/01/2002 01:28	1.70	32.70	"DINA" Crue écrétée (max non enregistré)
2003	11/02/2003 10:28	1.55	27.25	Pluies Orageuses Crue écrétée (max non enregistré)
2004	15/12/2004 09:28	2.00	44.00	Pluies Orageuses Crue écrétée (max non enregistré)
2005	18/02/05 18h30	1.50	25.50	
2006	18/02/2006 07:50	1.43	22.80	FTT "09_2005/2006"
	05/03/2006 20:20	1.40	22.00	FTT "DIWA"
2007	16/01/2007 06:50	1.31	18.95	
	26/02/2007 23:00	1.24	16.50	"GAMEDE"
2008	10/12/2008 16:40	1.69	32.33	
2009	07/11/2009 15:00	1.58	29.00	

DDE DE LA REUNION/RISC

ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
RAPPORT

Année	Date / heure	Hauteur Maxi (m)	Débit maxi estimé par l'OLE (m ³ /s)	Observations
2010	14/01/2010 20:30	1.50	25.50	maximum sur janvier et février seulement

*Tableau n°22 – CRUES MAXIMALES ANNUELLES DU BRAS LAURENT
A LA STATION DU MEME NOM (ESTIMATIONS OLE)*

Année	Date/heure	hauteur maxi (m)	Débit maxi (ex CT) m ³ /s	Débit Maxi (nvle CT) m ³ /s	Observations
1993	14/02/1993 16:00	6.8	120	140	"FINELLA"
1994	12/10/1994 00:57	2.04	12.5	19	
1995	08/12/1995 00:00	5.8	84		
	31/12/1995 00:00	5.5	76	100	
1996	22/01/1996 22:00	3.4	32.1	42	
1997	24/01/1997 03:00	2.45	17.5	23	"GRETELLE"
	26/03/1997 19:00	2.43	17.3		
	16/06/1997 15:16	2.43	17.3		
1998	23/02/1998 00:00	6.3		124	
1999	06/03/1999 14:30	3.5		44	
2000	30/01/2000 22:47	4.92		78.8	"CONNIE"
2001	07/01/2001 06:41	4.65		71.8	"ANDO"
2002	22/01/2002 22:32	5.21		89	"DINA"
	05/11/2002 00:44	5.1		86	
2003	11/02/2003 10:20	5.1		86	Pluie Orageuse
2004	15/12/2004 05:50	6.54		133	Pluie Orageuse
2005	16/02/2005 13:20	5.51		98.3	Pluies Orageuses Perturbations N° 14 (350 km a l'Ouest)
	17/02/2005 22:40	5.64		102.0	
	18/02/2005 18:30	5.54		99.3	
2006	18/02/2006 12:30	6.83		143.9	Pluies Orageuses du 16 au 19/02
	05/03/2006 04:10	5.93		111.0	TT "DIWA" du 03 au 07/03
2007	26/02/2007 23:10	5.57		100.0	

Année	Date/heure	hauteur maxi (m)	Débit maxi (ex CT) m ³ /s	Débit Maxi (nvle CT) m ³ /s	Observations
	27/02/2007 12:50	5.48		97.4	
2008	30/01/2008 06:30	4.99		82.8	
2009	08/02/2009 01:10	4.53		68.0	GAEL
	07/11/2009 14 :50	4.38		66.0	
2010	14/01/2010 20:20	4.95		79.0	<u>max sur janvier et fevrier seulement</u>

De ces données, on peut faire les observations suivantes :

- ↪ On recense pour une même année des crues provoquant des pics d'intensité très proches. Dans ce cas, plusieurs crues sont indiquées dans le tableau ;
- ↪ Un certain nombre de crues d'intensité importante ont pu être recensées en dehors de la période cyclonique (décembre à mars). Ces valeurs restant toutefois sensiblement inférieures aux valeurs maximales, elles ne sont pas indiquées dans les tableaux précédents ;
- ↪ Les maximums annuels ne sont pas toujours observés aux mêmes dates pour l'une et l'autre des stations. Ceci montre une variabilité régionale des pluies conforme à ce qui a pu être relevé dans l'analyse régionale des pluies.

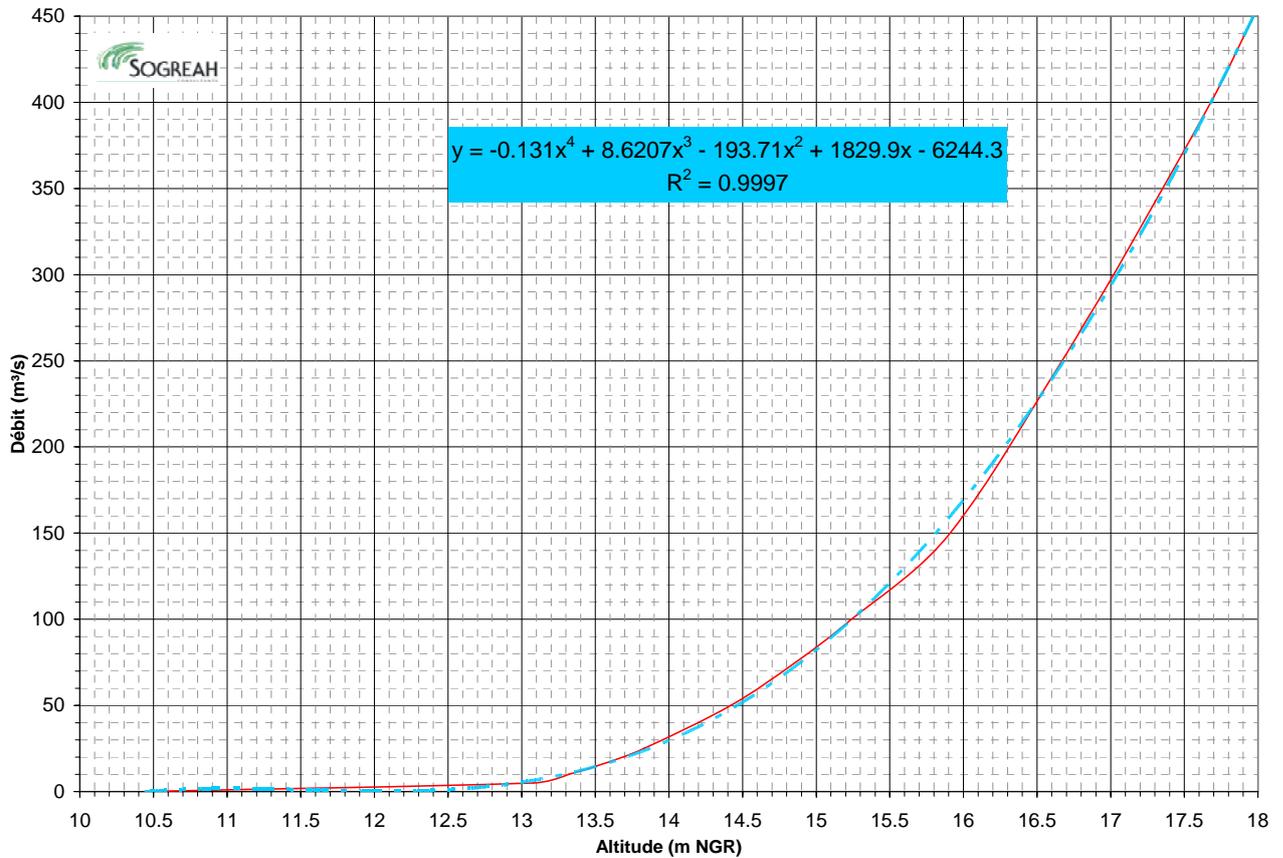
STATION DE LA DDE AU PONT DE LA RN2002

Une courbe de tarage a été établie par M. Henry Dumay en décembre 2008: Cette courbe n'était pas cohérente avec les estimations de crue historiques.

Dans le cadre de la mise en place du réseau de stations hydrométriques dont fait partie cette station, la DDE de La Réunion a missionné SOGREAH, pour procéder à une nouvelle estimation de la courbe de tarage de cette station. Un modèle numérique a donc été réalisé sur la base de la topographie de mars 2010 (cf. réf./40// du Tableau n°32 page 126) et à l'aide du logiciel de simulation des écoulements HEC-RAS. Précisons que ce modèle a été calé à l'aide des informations issues des crues historiques (1975, 1980 et 1990).

Cette courbe est présentée ci-après.

Figure n°27- COURBE DE TARAGE DE LA STATION DDE (SOGREAH, 2010)



5.5.3. DEBITS DES CRUES MAJEURES ESTIMES PAR MODELISATION PLUIE-DEBIT (HEC-HMS)

Du fait du problème de tarage des stations OLE, les chroniques de valeurs de débits (notamment pour des débits moyens à forts) méritent d'être complétées. C'est pourquoi les débits de pointe estimés par modélisation pluies-débits ont été utilisés.

Cette modélisation pluies - débits a été réalisée avec le logiciel HEC-HMS dans le cadre de cette étude. Elle est présentée de façon détaillée dans le § 5.7 page 73.

Elle a permis d'estimer les débits de pointe de 21 crues d'importance entre 1972 et 2009 en différents points du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean. Les résultats de ces simulations sont présentés dans le Tableau n°28 page 80.

5.5.4. RELATIONS PLUIE – DEBIT

Les relations pluie-débit sont déduites des estimations de débits par les trois méthodes exposées ci-avant (estimations historiques, estimations par les courbes de tarage de OLE, crues modélisées avec HEC-HMS).

5.5.4.1. RELATION PLUIE-DEBIT A PARTIR DES DONNEES HYDROMETRIQUES DES STATIONS DE L'OLE

Les débits maximaux annuels sont issus des valeurs obtenues avec la courbe de tarage de l'OLE.

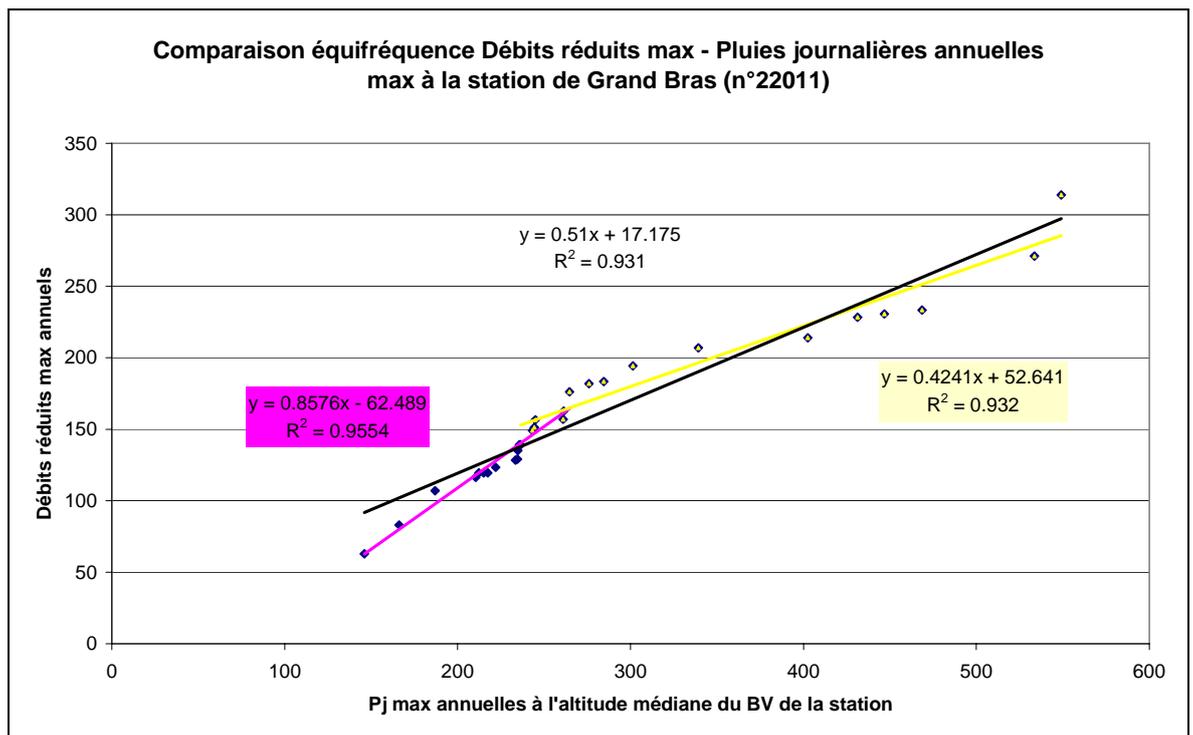
Le rapport adopté entre les pluies à l'altitude médiane du bassin versant et celles de Mencil est de :

- 1,15 pour la station de Grand Bras ($Z_{\text{médiane}} = 648$ m NGR) ;
- 1,5 pour la station de Bras Laurent ($Z_{\text{médiane}} = 1\ 091$ m NGR).

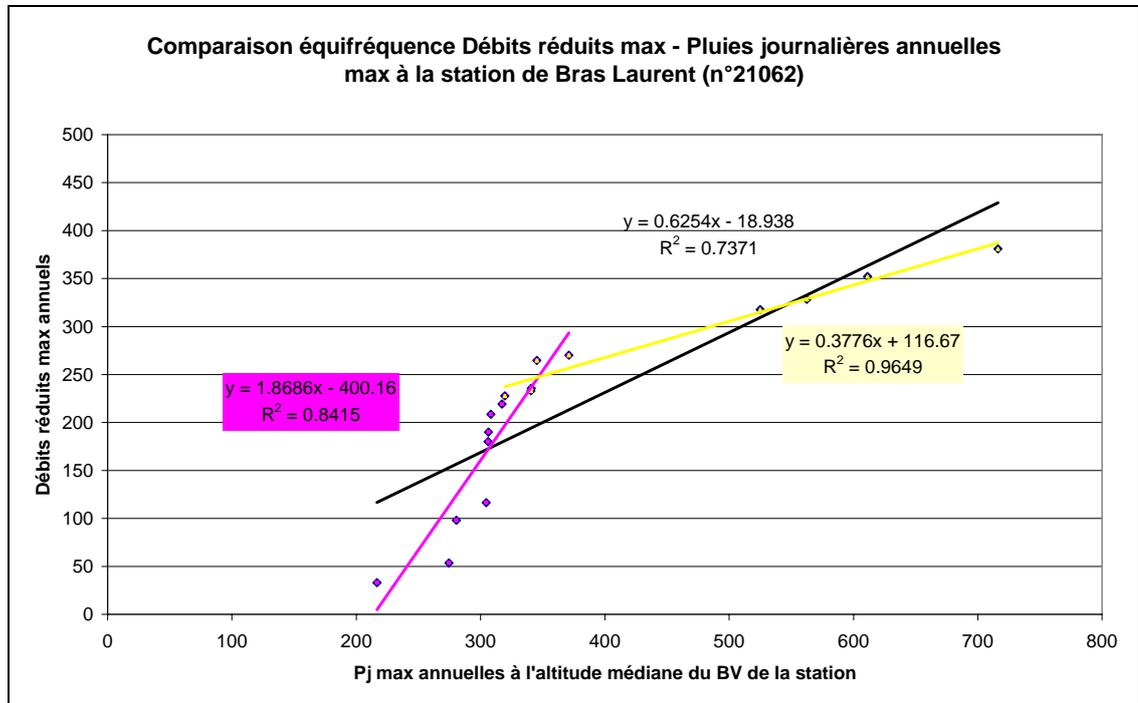
Sur la période commune de mesure, les valeurs sont comparées en les classant par ordre décroissant. Cette analyse par équifréquence permet de comparer directement les débits aux pluies sur papier Gumbel.

Les graphiques de la figure n°28 et de la figure n°29 ci-après présentent la corrélation obtenue pour chacune des stations.

*Figure n°28 – CORRELATION Q_{RE} GRAND BRAS ET PLUIES JOURNALIERES
 A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT CONTROLE*



*Figure n°29 – CORRELATION QRE BRAS LAURENT ET PLUIES JOURNALIERES
 A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT CONTROLE*



Il apparaît que ces corrélations ne sont pas cohérentes physiquement. En effet, au-delà d'un certain seuil de pluie, le bassin devrait être saturé et le ruissellement devrait être au moins équivalent voire plus important qu'avant saturation. On devrait donc observer une pente pluie-débit constante à plus forte pour des pluies plus fortes.

Les seuils de rupture de pente correspondent justement aux limites de validité des courbes de tarage de l'OLE. Seule la première partie des courbes serait donc valide. Il s'avère alors nécessaire de compléter cette analyse avec les débits estimés par modélisation pluie-débit (HEC-HMS).

5.5.4.2. RELATION PLUIE-DEBIT A PARTIR DES ESTIMATIONS DE DEBITS HEC-HMS

Grâce au modèle pluie-débit, la comparaison équi-fréquence a pu être réalisée en différents points du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean.

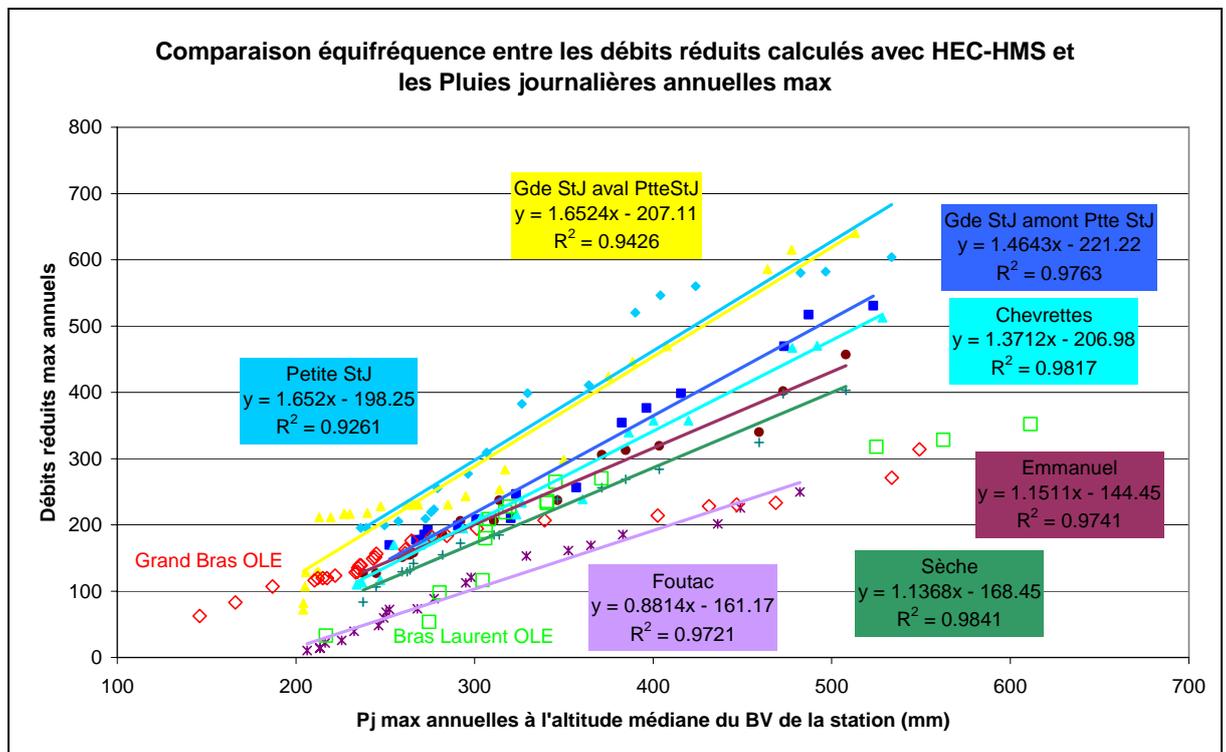
Les résultats de cette analyse sont présentés sur la figure ci-après. Les valeurs pluie-débits des stations de Grand Bras et de Bras Laurent ont été ajoutées pour comparaison.

On observe sur ce graphique que :

- ↳ la relation pluie-débits diffère selon le point de contrôle considéré. On peut cependant identifier 4 groupes de relations pluie-débits particulières sur le bassin versant :
 - celle de la Petite Rivière Saint-Jean et de la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean ;
 - celle de la Grande Rivière Saint-Jean en amont du Bras des Chevrettes et du Bras des Chevrettes ;

- celle de la Ravine Sèche et du Ruisseau Emmanuel ;
 - celle du ruisseau Foutac qui implique des débits de pointe moins importants pour une même pluie ;
- ↪ la relation pluie débits issue des données hydrométriques des stations OLE s'ajuste bien au deuxième groupe de courbes pour les domaines de validité de leur courbe de tarage respective :
- pour la station de Grand Bras, les valeurs pluie-débits s'ajustent bien avec celles du bassin versant dont cette station fait partie (Grande Rivière Saint-Jean en amont du Bras des Chevrettes) jusqu'au seuil de débit réduit de 170 (= seuil de validité de la courbe de tarage de la station) ;
 - pour la station de Bras Laurent :
 - ✓ Les valeurs pluie-débits s'ajustent bien avec ce même groupe de courbes (notamment bassin versant du ruisseau Emmanuel situé en aval) pour les valeurs de débits réduits comprises entre 180 et 250.
 - Les valeurs pluie-débits en deçà de 180 s'ajustent mal aux autres courbes : ceci est dû au nombre de valeurs disponibles pour cette station (depuis 1993 seulement) qui implique un ajustement équifréquence moins bon pour les valeurs de pluie les plus faibles.
 - Les valeurs pluie-débits au-delà de 250 s'ajustent très mal aux autres valeurs du bassin : elles correspondent aux valeurs de débit erronées (courbe de tarage non valide).
 - ✓ Les valeurs pluie-débits s'ajustent moins bien avec les valeurs pluie-débits du bassin versant limitrophe de la Petite Rivière Saint-Jean.

*Figure n°30– CORRELATION QRE HEC-HMS ET PLUIES JOURNALIERES
A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT CONTROLE*



5.5.4.3. RELATION PLUIE-DEBIT RETENUE ET AJUSTEMENT DES DEBITS CARACTERISTIQUES

Les observations précédentes permettent de valider les relations obtenues par HEC-HMS. On retiendra 4 relations correspondant aux 4 groupes de valeurs-pluie-débit identifiées pour la suite de l'analyse :

Tableau n°23– RELATIONS PLUIE-DEBITS REDUITS RETENUES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN

Bassin versant	Bassin versant représentatif	Relation entre le débit réduit et la pluie journalière à l'altitude médiane du bassin versant
Petite Rivière Saint-Jean	Grande Riv. St Jean en aval de la confluence avec la Ptte RSJ	$Q_{re} = 1.6524 \cdot P_j - 207.11$
Grande Riv. St Jean en aval de la confluence avec la Ptte RSJ		
Bras des Chevrettes	Bras des Chevrettes	$Q_{re} = 1.3712 \cdot P_j - 206.98$
Grande Riv. St Jean en amont de la confluence avec la Ptte RSJ		
Ravine Sèche	Ravine Sèche	$Q_{re} = 1.1368 \cdot P_j - 168.45$
Ruisseau Emmanuel		
Ruisseau du Foutac	Ruisseau du Foutac	$Q_{re} = 0.8814 \cdot P_j - 161.17$

Les relations (Q_{re} fonction de P_j) établies ont été appliquées à l'ajustement des pluies tel que supposé dans le § 5.4.3 pour la station de Menciol (cf. *Figure n°7 page 38*) corrigé à l'altitude médiane du bassin versant sur l'ensemble de la période disponible pour cette station (population "mère" de 56 années).

On en déduit les ajustements sur les débits réduits pour chacun des bassins versants considérés et par voie de conséquence les débits réduits caractéristiques pour les périodes de retour souhaitées.

5.6. DEBITS DE CRUE CARACTERISTIQUES DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN ET DE SES AFFLUENTS (METHODE SPEED)

Pour estimer les débits caractéristiques de crue des bassins versants du secteur d'étude, caractérisés dans § 5.2, la démarche est la suivante pour une période de retour donnée :

- ↪ Calcul de la pluie journalière maximale à l'altitude médiane du bassin versant par les relations établies au Tableau n°17 page 55 ;
- ↪ Calcul du débit réduit en fonction des relations entre pluies et débits réduits mis en évidence Tableau n°23 page 69 ;
- ↪ Calcul du débit caractéristique avec la formule suivante :

$$Q = Q_{re} \frac{S^{0,75}}{12}$$

Les résultats sont portés dans le tableau de la page suivante et appellent les commentaires suivants :

- ↪ Par rapport aux valeurs obtenues par la méthode rationnelle et les études antérieures, les **valeurs de débit caractéristiques** obtenues sont **relativement proches pour les cours d'eau affluents de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean**. En revanche, pour la Petite Rivière Saint-Jean et pour la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean, on obtient des valeurs sensiblement plus fortes qui tendent à penser que la forme du bassin versant et le type de drainage (bassins longitudinaux parallèles confluant quasiment tous à la même altitude dans la Grande Rivière Saint-Jean) ne peuvent pas être pris en compte correctement par la méthode rationnelle. L'approche par modélisation pluie-débit permet d'obtenir une relation pluie-débit et des valeurs de débits caractéristiques plus cohérents en aval de la confluence avec les affluents majeurs (Chevrette, Sèche, Petite Rivière Saint-Jean) ;
- ↪ **Les incertitudes** peuvent paraître importantes essentiellement du fait des données pluviométriques disponibles (Données pluviographiques à Menciol uniquement jusqu'en 2002). Toutefois, Le nombre d'années de mesures pluviométriques et pluviographiques disponibles pour une station située idéalement à l'altitude médiane du bassin versant comme l'est Menciol permet de limiter fortement ces incertitudes. Le gradient altimétrique de pluie est par ailleurs relativement faible sur le bassin, ce qui tend également à limiter les incertitudes liées à ce paramètre.

Ainsi, on obtient une relative stabilité pour les périodes de retour de crue des crues historiques estimées (crue proche de la trentennale pour 1975 et 1990 et proche de la décennale pour Hyacinthe en 1980).

Le fait que ces trois crues soient antérieures à la dernière mise à jour des courbes intensités durée fréquence (1990) participe au fait que les estimations aient peu évolué entre 1990 (valeurs figurant dans l'étude de juin 2007) et aujourd'hui.

Par ailleurs en appliquant un intervalle de confiance à 70 % sur les pluies de la station de Menciol, **la marge d'erreur résultante sur les débits est comprise en moyenne entre -15% et +12% sur l'ensemble du bassin versant.**

- ↳ Le point précédent souligne qu'il est indispensable de poursuivre les mesures pluviométriques et hydrométriques aux stations existantes de Menciol et de Bras Pistolet.

- ↳ **En termes de mesures hydrométriques** (mesures des hauteurs d'eau et des débits) :
 - La mise en place récente par la DDE d'une station sur la Grande Rivière Saint-Jean au pont de la RN2002 (depuis nov. 2008) et d'une station sur la Petite Rivière Saint-Jean à la cascade Délices (en prévision) est un point fort à préserver pour la connaissance des débits à venir. Le calage des niveaux par une échelle en place est essentiel ;
 - Les mesures en amont du bassin au Grand Bras méritent elles-aussi d'être poursuivies pour améliorer la connaissance des temps de propagation dans le bassin et pour permettre de reconstituer les débits de crue majeurs par corrélation. Le calcul de la courbe de tarage pour les débits moyens à forts est nécessaire pour que cette station garde toute son utilité.

Tableau n°24 – DEBITS DE POINTE DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN ET DE SES AFFLUENTS ESTIMES PAR LA METHODE SPEED

Cours d'eau considéré	S (km²)	Z med (m NGR)	Q2 (m³/s)	Q5 (m³/s)	Q10 (m³/s)	Q30 (m³/s)	Q100 (m³/s)	Q200 (m³/s)
Grande Rivière St Jean à la station de Grand Bras	2	648	22	37	51	76	102	116
Grande Rivière St Jean en amont de la confluence avec le Bras des Chevrettes	7,5	381	48	90	125	186	249	284
Bras des Chevrettes	5,1	261	33	64	90	132	178	204
Grande Rivière St Jean en aval de la confluence avec le Bras des Chevrettes	12,5	310	67	128	179	264	355	406
Ravine Sèche en amont de la confluence avec Grande Riv. St Jean	7.95	155	31	65	93	138	186	215
Grande Rivière St Jean en aval de la confluence avec Ravine Sèche	21,3	235	94	185	259	382	514	589
Grande Rivière St Jean en amont de la confluence avec Petite Riv. St Jean	23,9	205	100	199	279	411	554	635
Petite Rivière St Jean en amont de la confluence avec Gde Riv. St Jean	10,95	314	95	161	217	310	409	465
Grande Rivière St Jean en aval de la confluence avec Ptte Riv. St Jean	34,9	231	214	372	503	716	947	1 077
Ruisseau Emmanuel en amont de la confluence avec Grande Riv. St Jean	5,3	166	25	50	71	105	142	163
Grande Rivière St Jean en aval de la confluence avec Ruisseau Emmanuel	40,3	216	236	412	557	792	1 048	1 193
Ruisseau Foutac	1,7	30	0	7	13	22	32	38
Grande Rivière St Jean en aval de la confluence avec Ruisseau Foutac	42,05	205	242	424	573	814	1 078	1 227
Grande Rivière St Jean en aval de la Plaine de Bois Rouge (exutoire)	42,95	200	245	430	581	826	1 093	1 244

5.7. MODELISATION PLUIE – DEBIT (HEC-HMS)

Pour permettre de reconstituer le plus grand nombre d'hydrogrammes de crue (en fonction des données disponibles) et mieux comprendre la genèse des crues, nous avons mis en œuvre une modélisation pluie – débit des bassins versants de la Grande Rivière Saint-Jean.

La modélisation est réalisée à l'aide du logiciel HEC-HMS (version 3.1.0.).

Elle s'inspire de celle mise en place pour l'étude sur la Rivière du Mât (bassin versant de la Rivière du Mât – Estimation des volumes fréquentiels de crues, SOGREAH, 2004) sur un bassin similaire en ce qui concerne la géologie, et de celles récemment effectuées sur le bassin versant de la Rivière Saint-Etienne (SOGREAH, 2007), de la Rivière des Remparts (SOGREAH, 2007), de la Rivière des Pluies (SOGREAH, 2008), de la Rivière des Galets (SOGREAH, 2009).

Pour caler le modèle, on a utilisé :

- ↪ Les hydrogrammes des crues du 10 décembre 2008 et du 9 avril 2009 (Jade) disponibles à la station DDE du pont de la RN2002. La comparaison des crues simulées avec les crues observées a permis :
 - De caler à la fois les paramètres de pertes initiales et les coefficients de ruissellement (établis en première approche grâce aux valeurs des modèles pluie-débits de bassins versants comparables). Ces paramètres ont une incidence sur le débit de pointe estimé et sur le volume de la crue ;
 - De valider la cohérence du modèle de propagation des crues (coïncidence des temps de pointe de crue observés et calculés) ;
- ↪ La simulation de crues historiques (1975, 1987 et 1990) a permis de vérifier la cohérence entre les débits de pointe calculés et les débits de pointe estimés par laisse de crue au pont de la RN2002 ;
- ↪ Enfin les crues les plus récentes (après 2000) ont été simulées avec plusieurs hyétogrammes (Colosse, Menciol, Bras Pistolet) et avec le seul hyétogramme de Menciol pour estimer la marge d'erreur sur le débit de pointe en utilisant le seul hyétogramme de Menciol (cas des crues antérieures à 2000) :
 - Pour les crues de 2005, 2006, 2008 et 2009, les simulations avec la seule station de Menciol tendent à donner des valeurs légèrement plus élevées que les simulations avec les trois stations : la pointe de crue de la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la confluence avec la Petite est supérieure resp. de 5 %, 17 %, 6 % et de 16 %;
 - Pour la crue de 2002 (Dina) seul le hyétogramme de Bagatelle est disponible et pour celle de 2007 (Gamede), seul celui de Colosse est disponible ;
 - Pour la crue de 2004, les simulations avec la seule station de Menciol donnent des valeurs légèrement plus faibles que les simulations avec les trois stations : la pointe de crue de la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la confluence avec la Petite est inférieure de 35 %. Cela est dû à la forte variabilité pluviométrique de cet événement (l'intensité horaire est sous-estimée à Colosse).

5.7.1. DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS

Le découpage en sous-bassins versants utilisé pour la modélisation pluie – débit est réalisé en prenant en compte :

- ↳ La géologie des bassins versants ;
- ↳ Les points de calcul souhaités.

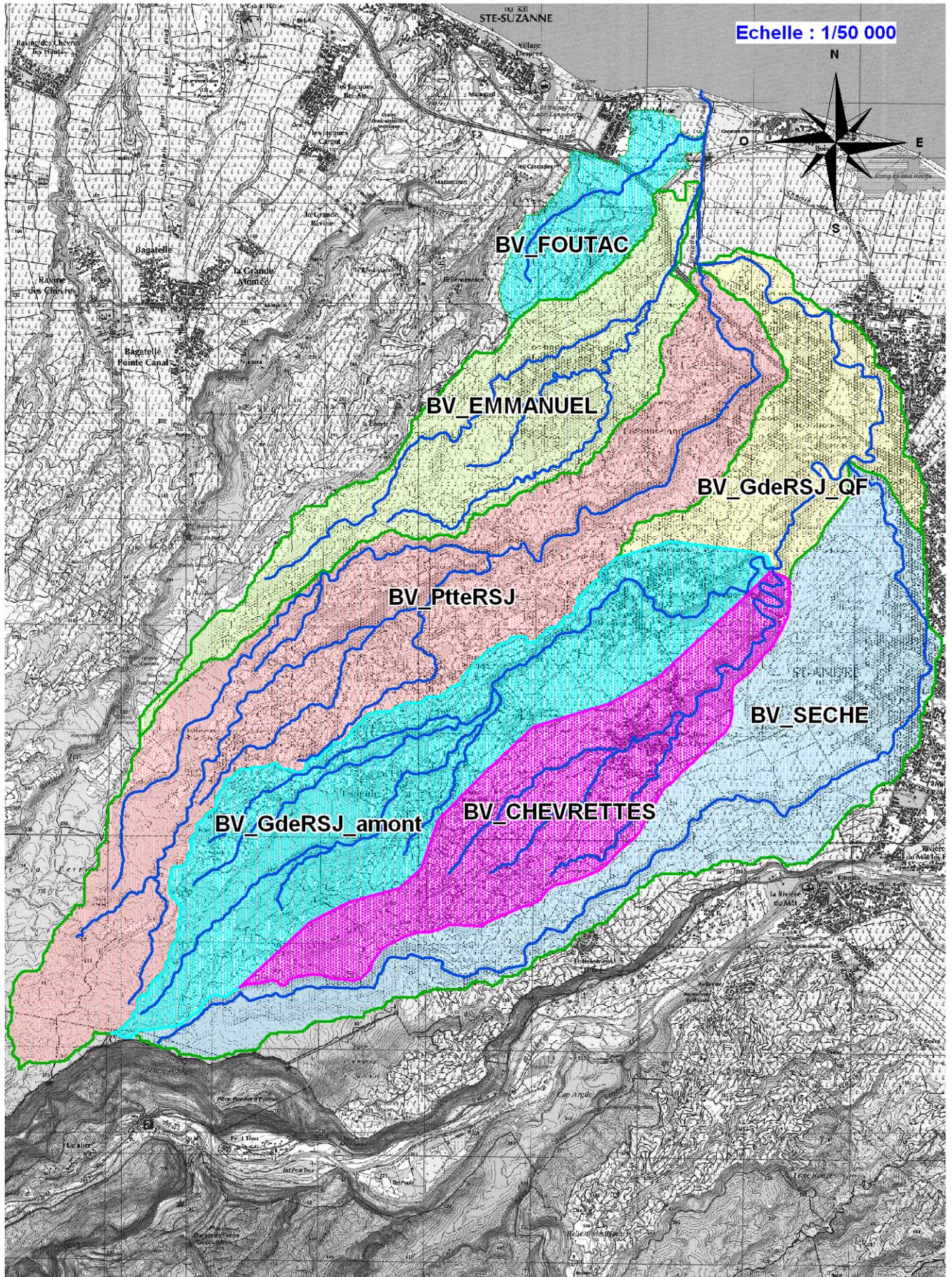


Tableau n°25 – CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS POUR LA MODELISATION

Sous-bassin versant	Description	Exutoire	Superficie (km ²)	Altitude médiane (m NGR)
BV_GdeRSJ_amont	Bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec le Bras des Chevrettes	Confluence avec le Bras des Chevrettes	7.5	381
BV_CHEVRETTES	Bassin versant du Bras des Chevrettes en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	Confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	5.1	261
BV_SECHE	Bassin versant de la Ravine Sèche en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	Confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	7.95	155
BV_GdeRSJ_QF	Bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean entre la confluence avec le Bras des Chevrettes et la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean (sans le BV de la Ravine Sèche)	Confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean	3.5	46
BV_PtteRSJ	Bassin versant de la Petite Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	Confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	10.95	314
BV_EMMANUEL	Bassin versant du Ruisseau Emmanuel en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	Confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	5.25	166
BV_FOUTAC	Bassin versant du Ruisseau Foutac en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	Confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	1.7	30

La pluie modélisée pour chaque sous-bassin versant est fonction de la disponibilité des données pluviométriques.

5.7.2. SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE – DEBIT

La figure suivante présente le schéma topologique du modèle pluie – débit. Outre les 7 sous-bassins versants précédemment décrits (BV - . sur la figure), nous avons :

↪ Des points de jonction : J_CHEVRETTES ; J_SECHE ; J_QUARTIER-FRANCAIS ; J_PtteRSJ ; J_EMMANUEL ; J_FOUTAC ;

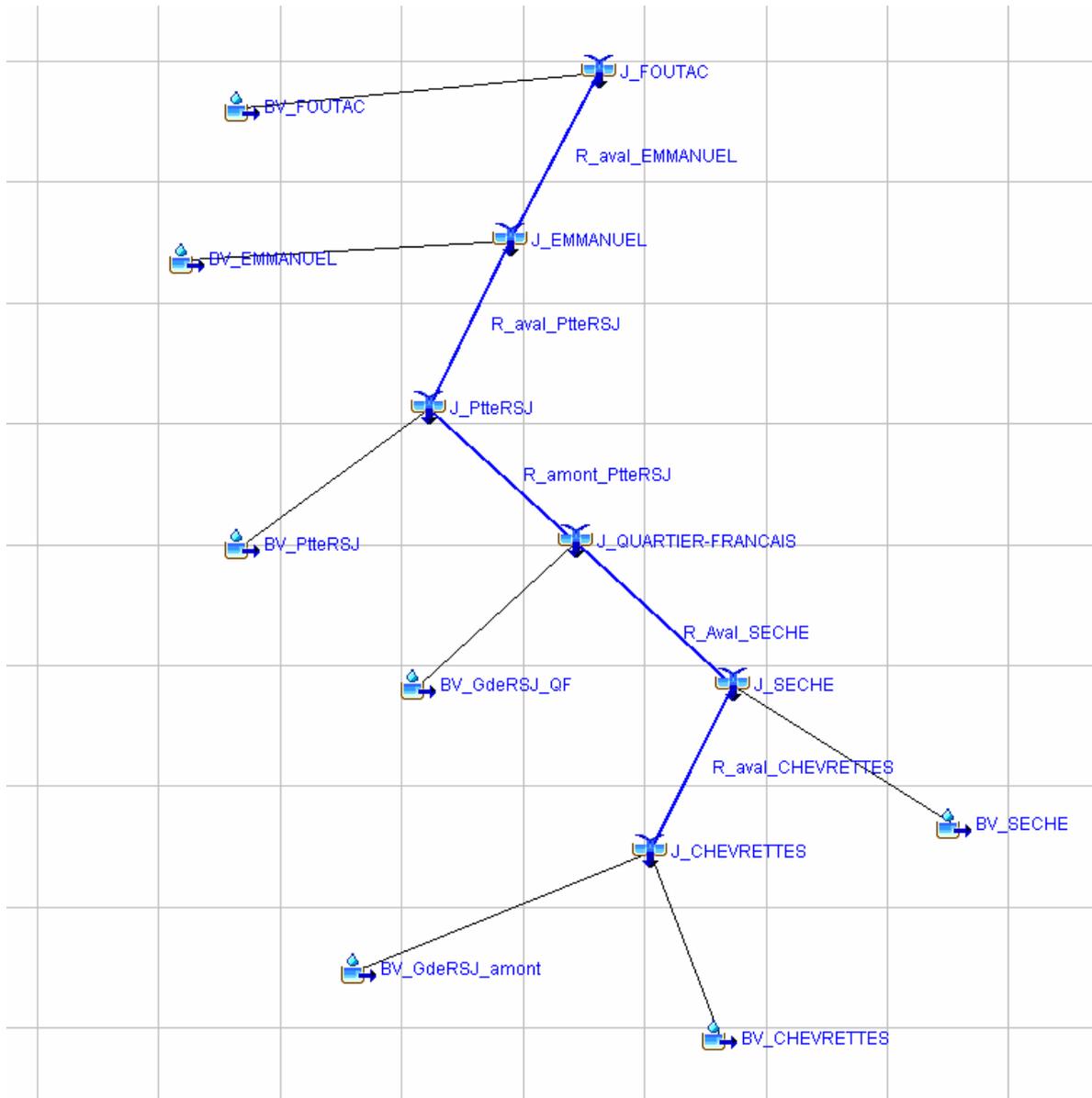
↪ Des tronçons de liaisons ou (biefs) entre ces points de jonction :

- R_aval_CHEVRETTES : La Grande Rivière Saint-Jean de la confluence avec le Bras des Chevrettes à la confluence avec la Ravine Sèche ;
- R_aval_SECHE : La Grande Rivière Saint-Jean de la confluence avec la Ravine Sèche au pont de la RN2002 à Quartier Français ;
- R_amont_PtteRSJ : La Grande Rivière Saint-Jean au pont de la RN2002 à Quartier Français à la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean ;

- R_aval_PtteRSJ : La Grande Rivière Saint-Jean de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean à la confluence avec le Ruisseau Emmanuel ;
- R_aval_EMMANUEL : La Grande Rivière Saint-Jean de la confluence avec le Ruisseau Emmanuel à la confluence avec le Ruisseau Foutac.

Remarque : Le bassin versant BV_Gde RSJ_QF qui correspond au bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean entre la confluence avec le Bras des Chevrettes et l'amont de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean est injecté dans le modèle au point de jonction situé au pont de la RN2002 (J_QUARTIER-FRANCAIS).

Figure n°32 – SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE – DEBIT



5.7.3. FONCTIONS DE PRODUCTION ET DE TRANSFERT ADOPTES

5.7.3.1. FONCTION DE PRODUCTION

Il s'agit, pour chaque sous-bassin, de la transformation de la pluie brute en pluie efficace pour l'écoulement.

La fonction de production est le modèle de perte "SCS" (Soil Conservation Service) :

$$\frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Avec :

↻ Pe : cumul de la pluie efficace (mm) ;

↻ P : cumul de la pluie brute (mm) ;

↻ Ia : perte initiale (mm) ;

↻ S : rétention potentielle maximale (mm).

S s'écrit en fonction de CN ("Curve Number") :

$$S = \frac{25\,400 - 254\,CN}{CN}$$

Cette fonction de production est variable en fonction de l'état de saturation des bassins versants au démarrage du calcul.

Les simulations de calage ont été démarrées sur la base des relations mises en évidence sur le bassin versant de la Ravine Sèche sur le bassin de la Rivière des Pluies pour des géologies similaires.

Les paramètres de production des bassins versants ont donc été estimés en fonction de la géologie.

Tableau n°26 – RELATIONS RETENUES POUR LE CALCUL DES PERTES INITIALES ET DE CN

Bassin versant	Superficie (Km ²)	Pertes initiales (mm)	CN
BV_GdeRSJ_amont	7.5	50- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80
BV_CHEVRETTES	5.1	50- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80
BV_SECHE	7.95	50- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80

Bassin versant	Superficie (Km ²)	Pertes initiales (mm)	CN
BV_GdeRSJ_QF	3.5	30- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80
BV_PtteRSJ	10.95	50- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80
BV_EMMANUEL	5.25	50- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80
BV_FOUTAC	1.7	30- P5j précédents	Ip<200 : CN=25 200<=Ip<300 : CN=50 Ip>=300 : CN=80

Ip : indice de pluviométrie antérieure, définit comme suit :

$$I_p = P_{10j \text{ précédents}} + \frac{P_{30j \text{ précédents}}}{2}$$

Les pertes initiales, sont, sans pluviométrie préalable, de l'ordre de 50 mm sur le bassin versant. Cette valeur n'est pas comparable au P0 de la méthode SPEED, qui est un seuil probabiliste de ruissellement, dans le cadre d'une relation entre débits de pointe et pluies journalières fréquents.

5.7.3.2. FONCTION DE TRANSFERT

Il s'agit de transformer la pluie efficace en débit à l'exutoire du bassin versant.

La fonction de transfert est basée sur le modèle d'hydrogramme unitaire de Clark :

↳ Translation du hyétogramme de pluie efficace depuis son origine jusqu'à l'exutoire du bassin versant ;

↳ Atténuation par stockage dans le bassin versant.

Ces paramètres sont invariants pour chaque sous-bassin versant. Ils s'inspirent des paramètres précédemment calés sur le bassin versant de la Rivière du Mât et la Ravine Sèche (de la Rivière des Pluies), en fonction de la géologie présente.

Tableau n°27 – FONCTION DE TRANSFERT DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Bassin versant	Superficie (Km ²)	Temps de concentration HEC-HMS(heures)	Coefficient de stockage (heures)
BV_GdeRSJ_amont	7.5	0.8	0.4
BV_CHEVRETTES	5.1	0.7	0.3

BV_SECHE	7.95	1.5	0.8
BV_GdeRSJ_QF	3.5	0.9	0.4
BV_PtteRSJ	10.95	0.9	0.5
BV_EMMANUEL	5.25	0.7	0.4
BV_FOUTAC	1.7	0.5	0.3

Note : Le temps de concentration utilisé dans HEC-HMS est en réalité environ 0,6 fois le temps de concentration réel. Le coefficient de stockage correspond environ à la moitié des temps de concentration HEC-HMS.

5.7.4. FONCTION DE PROPAGATION DANS LES BIEFS

C'est le modèle de l'onde cinématique (« kinetic wave ») qui est utilisé, pour tenir compte des pentes relativement fortes des biefs.

Un test de sensibilité a été réalisé par emploi du modèle de Muskingum – Cunge, plus adaptée à des écoulements lents. Les délais de propagation sont plus réduits pour le modèle de l'onde cinématique, mais l'écart demeure toutefois relativement réduit.

Les paramètres adoptés sont les suivants. Ils sont estimés à partir des topographies disponibles.

Le coefficient de rugosité est celui correspondant à un lit alluvial. Il est volontairement assez élevé pour ne pas surestimer le temps de propagation de la crue ($K = 20$ et $K = 18$ pour le tronçon compris entre la confluence avec la Ravine Sèche et la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean).

5.7.5. RESULTATS POUR LES CRUES MODELISEES

5.7.5.1. DEBIT DE POINTES CALCULES

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats obtenus pour les crues modélisées avec le logiciel HEC-HMS. Vingt-et-une crues ont été modélisées. Elles ont été choisies en recherchant les événements annuels les plus forts par analyse des valeurs pluviométriques journalières les plus fortes de chaque année aux différentes stations pluviométriques et par analyse des événements les plus forts enregistrés aux stations hydrométriques de l'OLE.

Tableau n°28 – BILAN DES CRUES MODELISEES AVEC LE LOGICIEL HEC-HMS

Evénement	Date (date du pic de crue calculé*)	Débit de pointe estimé (m ³ /s)
-----------	---	--

DDE DE LA REUNION/RISC

ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
RAPPORT

		Sèche	Gde RSJ amont Petite RSJ	Petite Rivière Saint-Jean	Gde RSJ aval Petite RSJ	Emmanuel	Foutac
DOLLY	4-8 février 1972 (07/02/1972, 14:25)	73	222	139	357	60	8.5
CHARLOTTE	8-10 janvier 1973 (09/01/1973, 00:30)	78.5	228	142	365	64	8.6
INES	15-17 mars 1975 (16/03/1975, 02:30)	159	478	292	766	133	25
Fortes Pluies	19-21 avril 1976 (20/04/1976, 09:20)	20	55	33	86	17	1.8
FIFI	4-8 février 1977 (05/02/1977, 09:30)	51	160	98	253	44	9
Fortes Pluies	13-16 déc. 1979 (14/12/1979, 23:10)	61	173	103	273	45	9.1
HYACINTHE	21-28 janvier 1980 (27/01/1980, 14:40)	112	339	200	534	91	23
HELISAONINA	15 – 17 avril 1984 (16/04/1984, 14:20)	42	153	112	259	37	2.7
CLOTILDA	9-15 février 1987 (11/02/1987, 17:30)	106	319	192	507	89	19
Fortes Pluies	9-13 février. 1990 (12/02/1990, 05:40)	157	466	274	736	117	31
COLINA / HUTELLE H1	27 fév.-2 mars 1993 (01/03/1993, 09:10)	128	359	206	562	99	21
Depression B29596	28 déc-1 ^{er} jan.1995 (30/12/1995, 23:20)	94	231	110	339	69	20
Fortes Pluies	24-26 février 1998 (25/02/1998, 14:20)	101	423	281	701	93	28
DAVINA	12-14 mars 1999 (13/03/1999, 05:30)	51	160	105	259	46	4.9
DINA	22-24 janvier 2002 (22/01/2002, 22:20)	15.5	86	71	154	25	1.3
Fortes Pluies	14-16 déc. 2004 (15/12/2004, 07:30)	4.7	50	98	98	4.7	1.7
Fortes Pluies	15-19 février 2005 (18/02/2005, 19:30)	52	188	303	303	54	15
DIWA	3-7 mars 2006 (05/03/2006, 03:40 et 21:20)	56	167	261	261	45	11
GAMEDE	24-28 février 2007 (27/02/2007, 09:10)	33	84	128	128	37	7.4
Fortes Pluies	10-11 déc. 2008 (10/12/2008, 18:40)	21	87	155	155	23	3.2
JADE	9-10 avril 2009 (09/04/2009, 19:30)	68	189	291	291	69	14

* sur la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la Petite Rivière Saint-Jean

5.7.5.2. HYDROGRAMMES DE CRUE CALCULES ET VOLUMES RUISSELES

Les Figure n°33 à Figure n°38 présentent **par bassin versant** (en amont immédiat de leur confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean) les hydrogrammes de crue calculés pour les 6 événements donnant des débits de pointe supérieurs ou proches de la décennale. Il s'agit des modélisations de 1975, 1990, 1998, 1980, 1987 et 1993.

Les valeurs de crues caractéristiques décennale et centennale estimées dans le chapitre précédent pour le point de contrôle considéré sont indiquées pour repère.

Ils sont présentés calés sur la pointe de crue afin de pouvoir comparer leur forme respectives (temps de base, temps de montée et volume).

D'autre part ces mêmes hydrogrammes sont présentés **par événement** pour les 3 crues les plus importantes (1975, 1990 et 1998) sur les Figure n°39 à Figure n°41.

On observera sur ces graphiques :

- ↪ que ces 6 événements se situent globalement entre la crue décennale et centennale pour l'ensemble des points considérés ;
- ↪ que le temps de base (durée de l'événement) des hydrogrammes est variable d'une crue à l'autre mais globalement de l'ordre de 12 heures ;
- ↪ que l'ordre de grandeur des volumes ruisselés sur la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean (*cf. Figure n°36 page 86*), diffèrent peu entre les 3 crues les plus importantes proches de la trentennale (volumes ruisselés entre 9 et 14,5 Mm³) et les 3 crues suivantes proches de la décennale (volumes ruisselés entre 9,5 et 13 Mm³) ;
- ↪ Que les temps de pointe de crue aux points de confluence sont très proches quel que soit l'affluent considéré :
 - Toutes les pointes de crue atteignent la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean dans un laps de temps d'environ ½ h maximum ;
 - La pointe de crue de la Petite Rivière Saint-Jean atteint la Grande Rivière Saint-Jean très peu de temps avant (10 min) la pointe de crue de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de cette confluence ;
 - La pointe de crue de la Ravine Sèche atteint la Grande Rivière Saint-Jean très peu de temps après (10 min) la pointe de crue de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de cette confluence ;
 - Les pointes de crue du Ruisseau Emmanuel et du Ruisseau du Foutac atteignent la Grande Rivière Saint-Jean un peu plus en avance (20 min) que la pointe de crue de la Grande Rivière Saint-Jean en amont de ces confluences.

Figure n°33– HYDROGRAMMES DES 6 PLUS FORTES CRUES CALCULEES PAR MODELISATION PLUIE DEBIT
SUR LA RAVINE SECHE A LA CONFLUENCE AVEC LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN

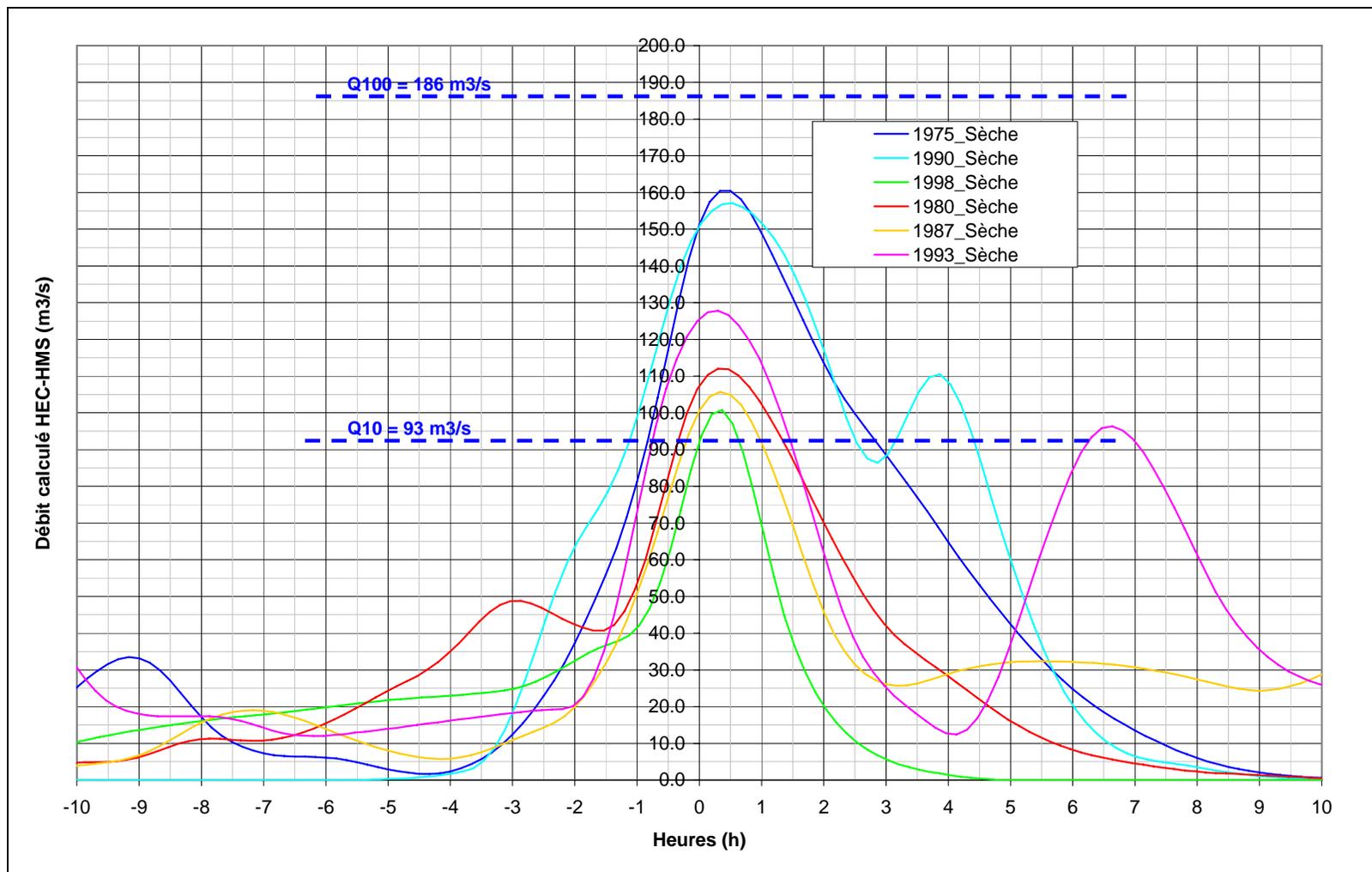


Figure n°34– HYDROGRAMMES DES 6 PLUS FORTES CRUES CALCULEES PAR MODELISATION PLUIE DEBIT
SUR LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN EN AMONT DE LA CONFLUENCE AVEC LA PETITE RIVIERE SAINT-JEAN

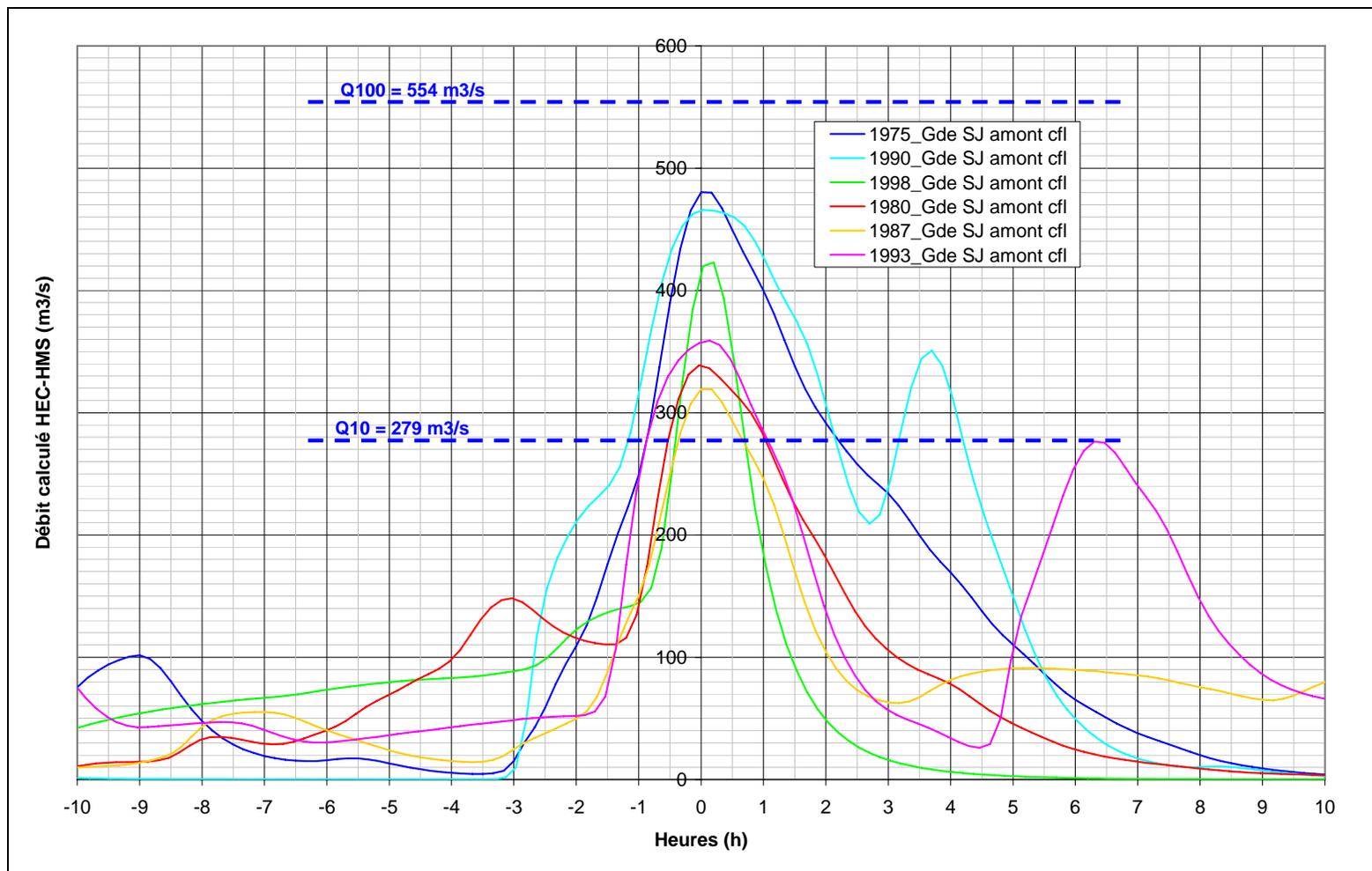


Figure n°35 – HYDROGRAMMES DES 6 PLUS FORTES CRUES CALCULEES PAR MODELISATION PLUIE DEBIT
A L'EXUTOIRE DE LA PETITE RIVIERE SAINT-JEAN

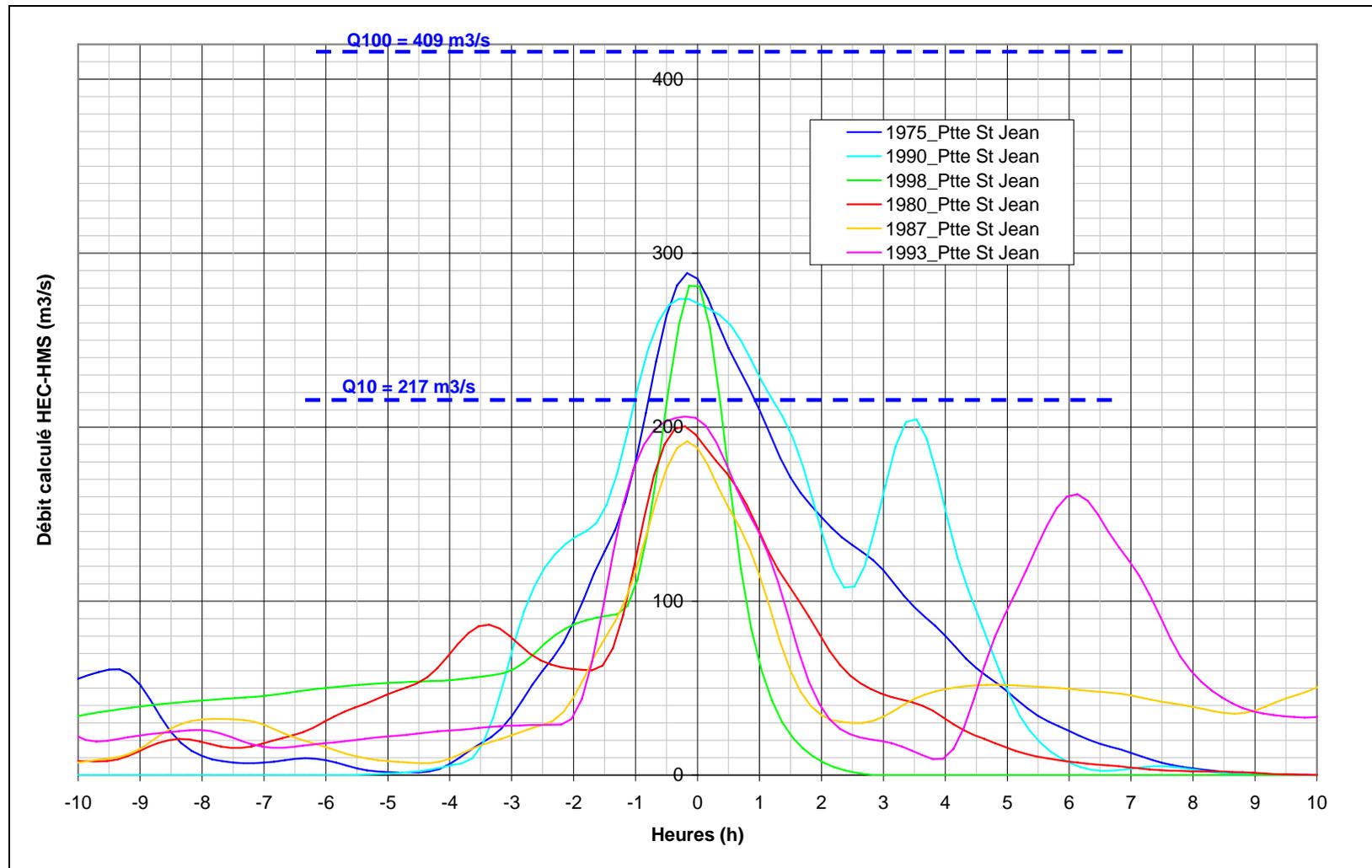


Figure n°36– HYDROGRAMMES DES 6 PLUS FORTES CRUES CALCULEES PAR MODELISATION PLUIE DEBIT
SUR LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN EN AVAL DE LA CONFLUENCE AVEC LA PETITE RIVIERE SAINT-JEAN

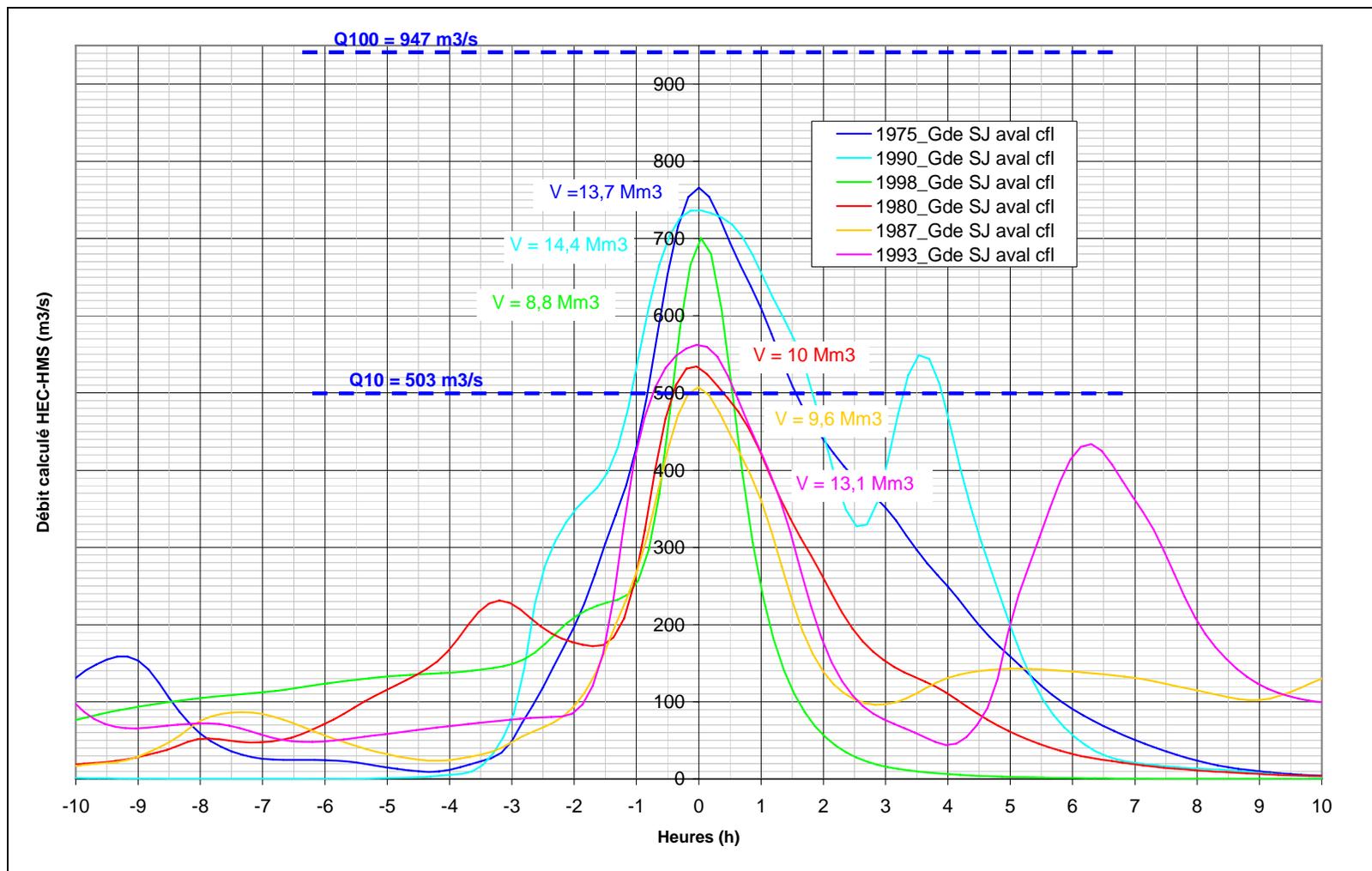


Figure n°37 – HYDROGRAMMES DES 6 PLUS FORTES CRUES CALCULEES PAR MODELISATION PLUIE DEBIT
A L'EXUTOIRE DU RUISSEAU EMMANUEL

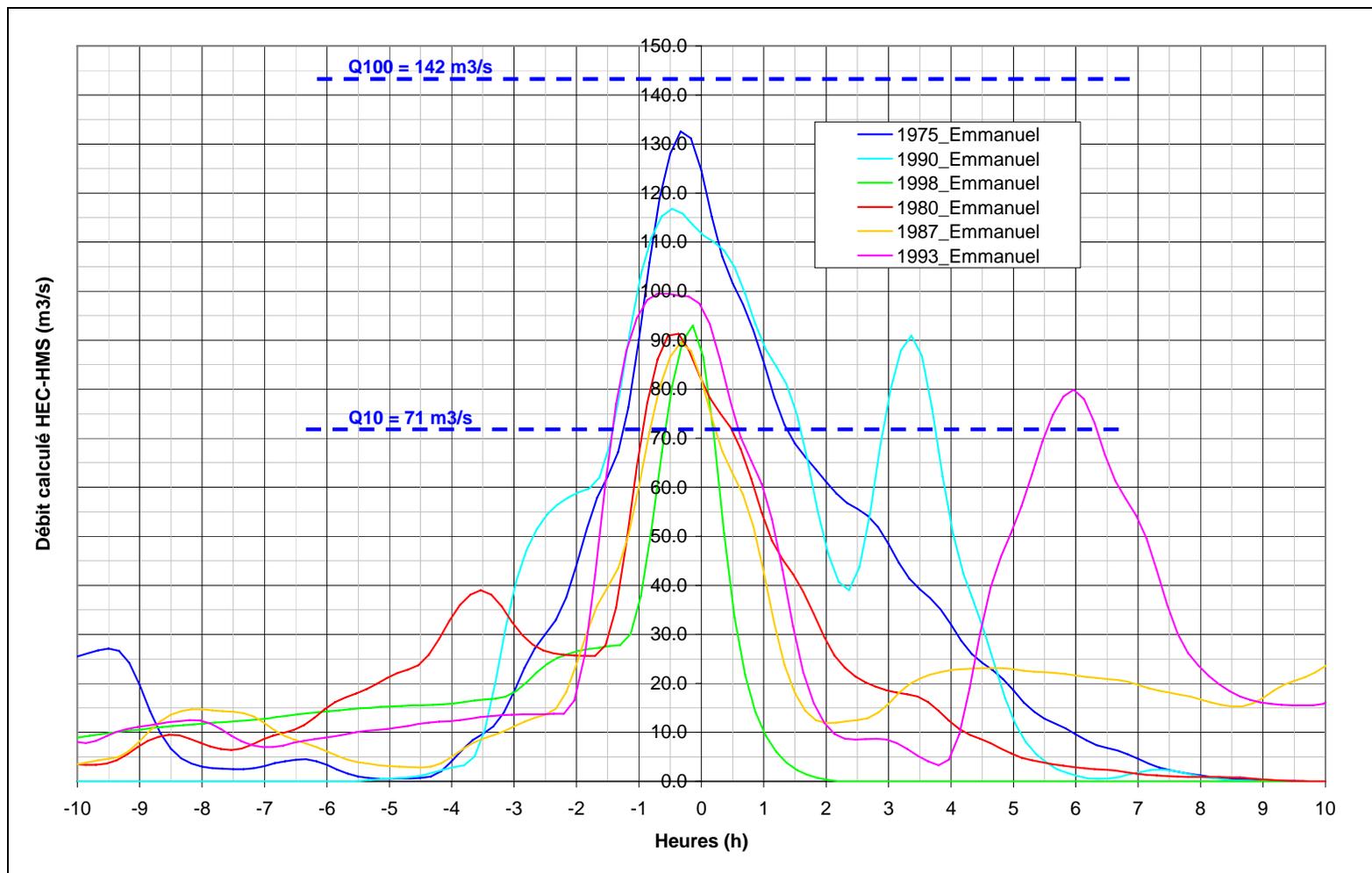


Figure n°38 – HYDROGRAMMES DES 6 PLUS FORTES CRUES CALCULEES PAR MODELISATION PLUIE DEBIT
A L'EXUTOIRE DU RUISSEAU FOUTAC

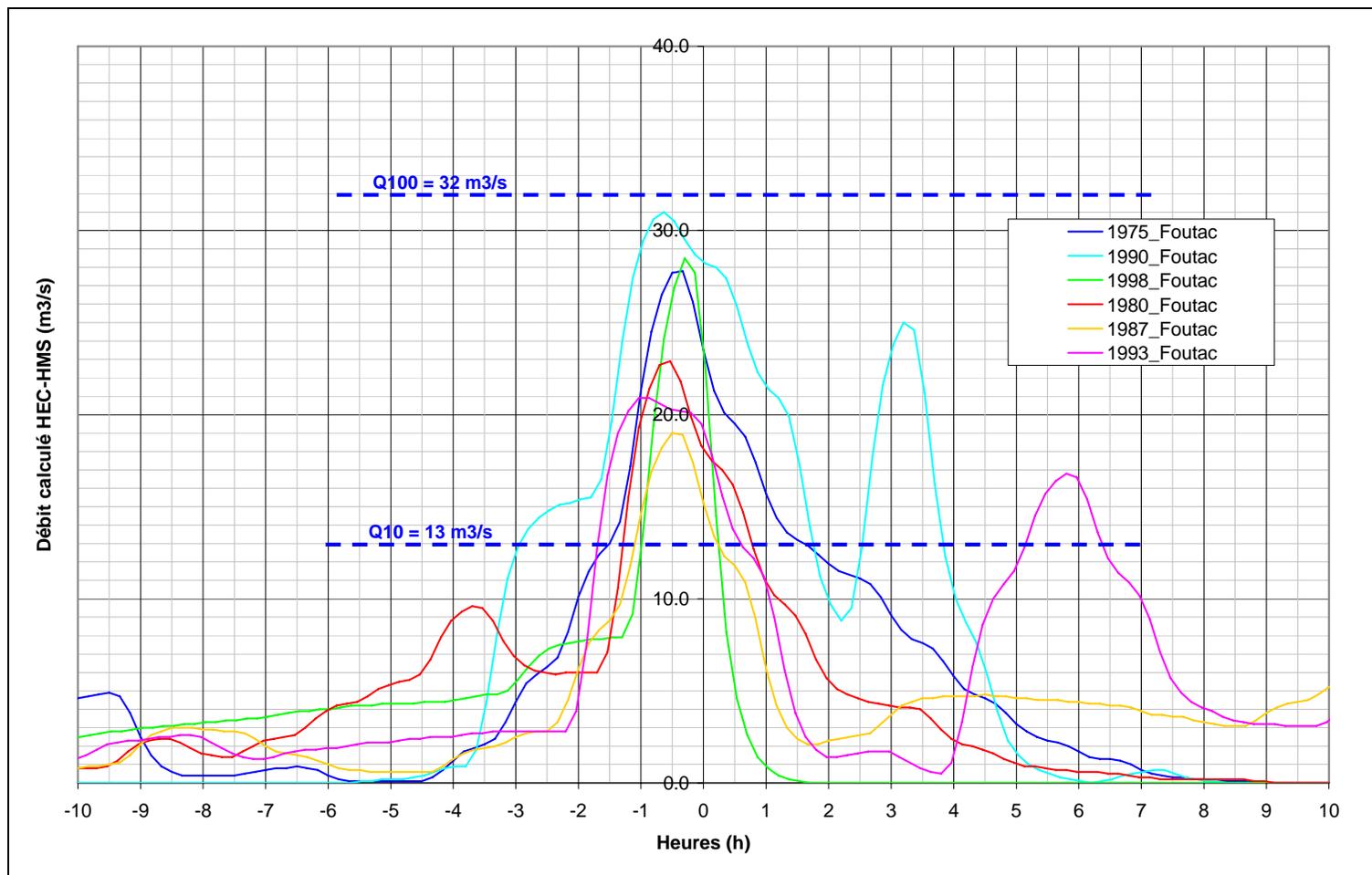


Figure n°39– HYDROGRAMMES DE LA CRUE INES (1975)
CALCULES PAR MODELISATION PLUIE-DEBIT

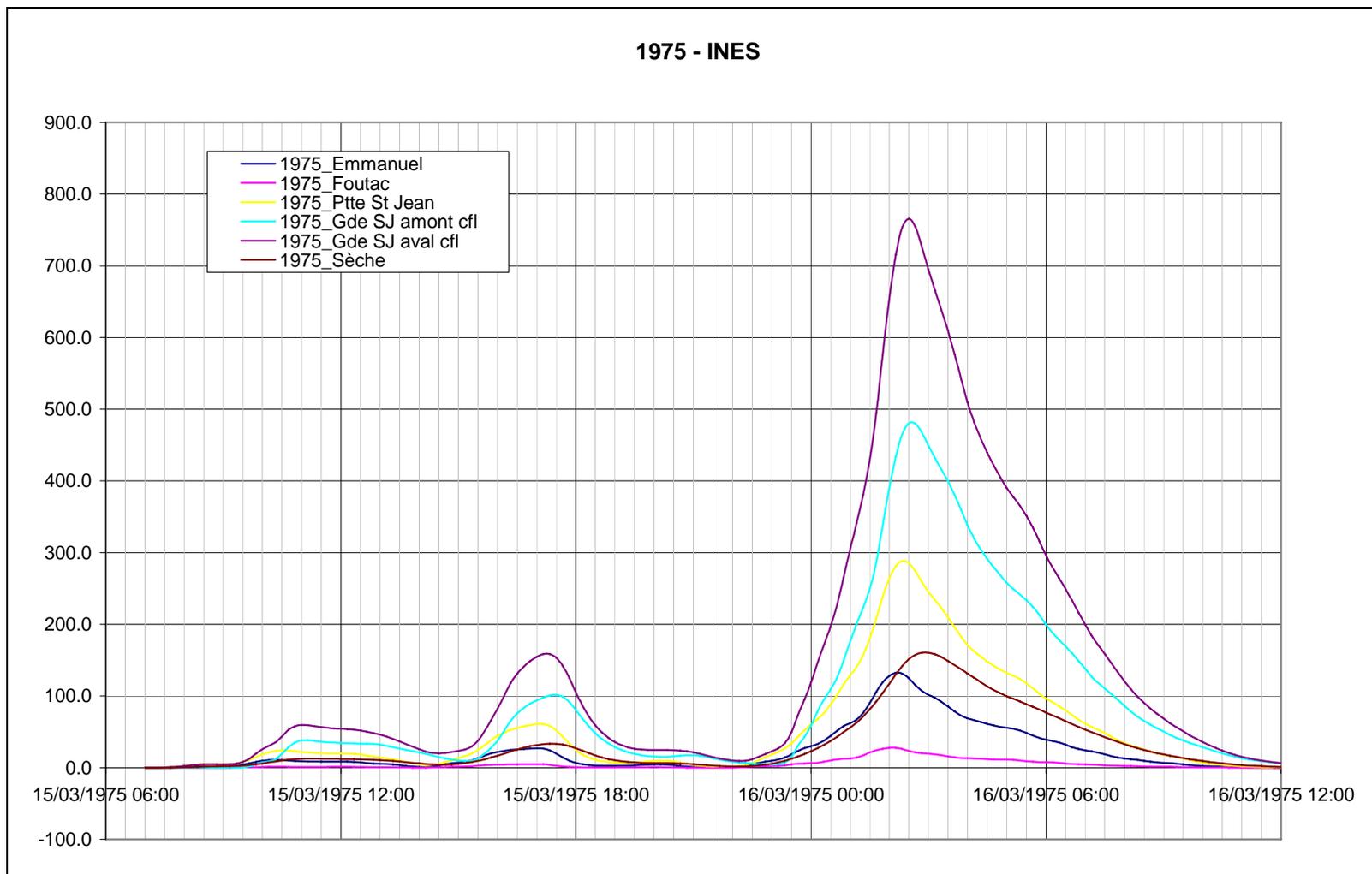


Figure n°40– HYDROGRAMMES DE LA CRUE DES FORTES PLUIES DE FEVRIER 1990
CALCULES PAR MODELISATION PLUIE-DEBIT

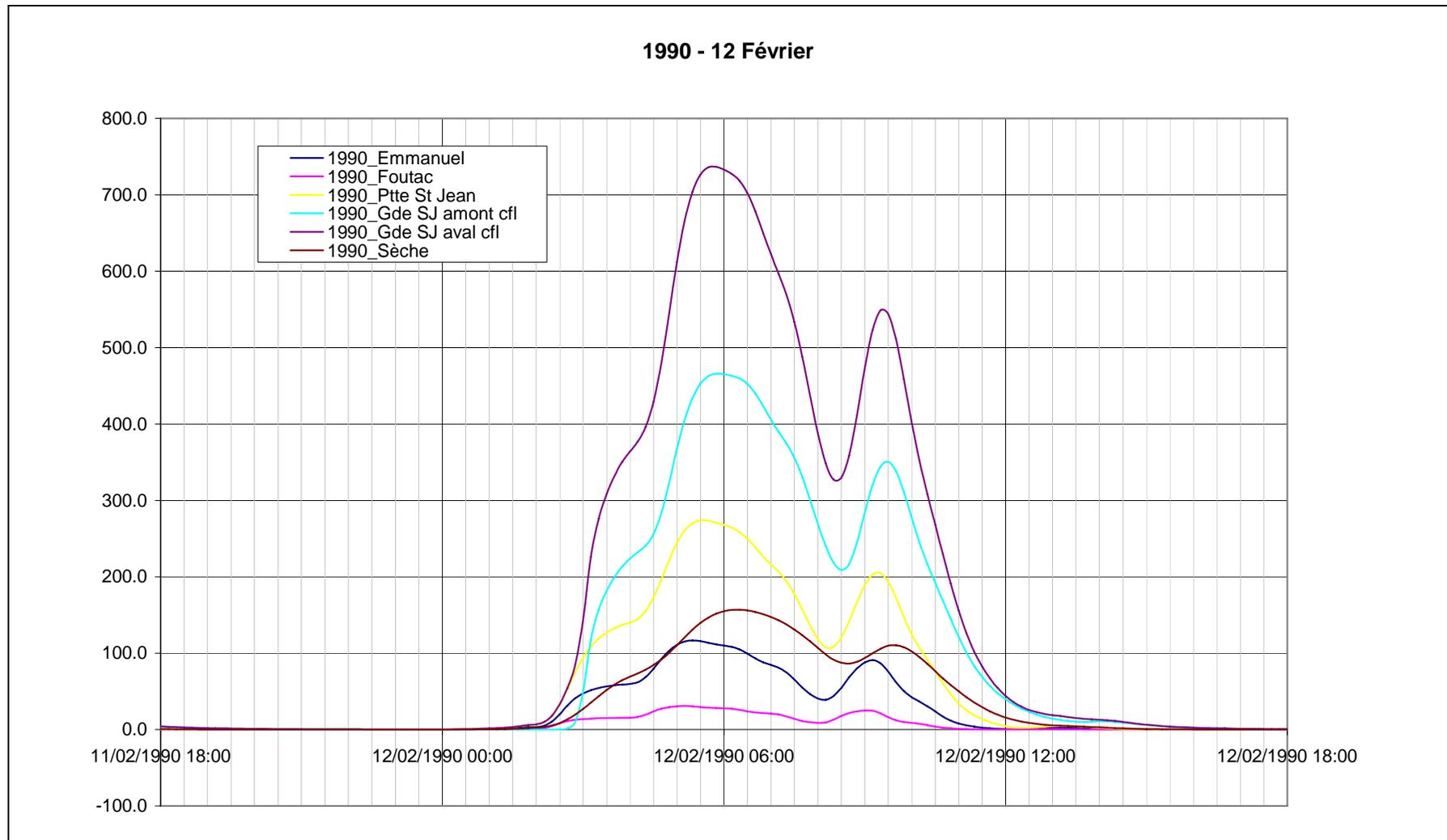
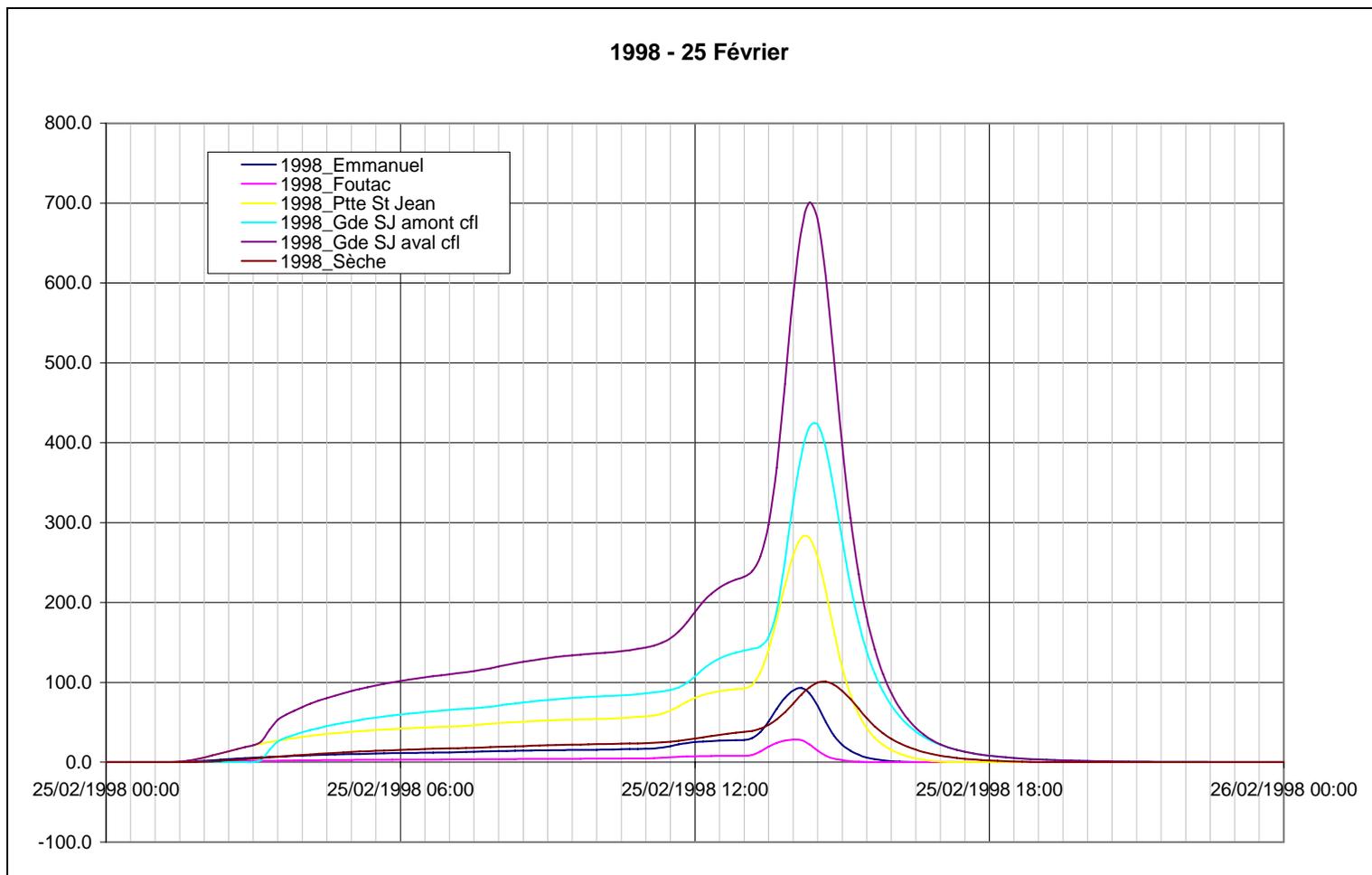


Figure n°41– HYDROGRAMMES DE LA CRUE DES FORTES PLUIES DE FEVRIER 1998
CALCULES PAR MODELISATION PLUIE-DEBIT



5.8. HYDROGRAMMES DE CRUE RETENUS POUR LA DEFINITION DES ALEAS

Pour la modélisation 2D des écoulements dans la plaine de Bois Rouge, au regard des hydrogrammes obtenus, de la localisation des enjeux sur le bassin versant, et de l'impact potentiel d'une crue de fort débit de pointe et/ou de fort volume ruisselé sur l'inondabilité de la plaine de Bois Rouge, il paraîtrait intéressant de simuler :

- ↪ Une crue de pointe proche de la décennale sur la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la Petite Rivière Saint-Jean ($Q_{10} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$) avec un volume important (type 1993, Hutelle H1) ;
- ↪ Une crue de pointe proche de la décennale sur la grande Rivière Saint-Jean en aval de la Petite Rivière Saint-Jean ($Q_{10} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$) avec un volume moins important (type 1987, Clotilda) ;
- ↪ Une crue de pointe proche de la centennale sur la grande Rivière Saint-Jean en aval de la Petite Rivière Saint-Jean ($Q_{100} = 950 \text{ m}^3/\text{s}$) avec un volume important (type 1990, Fortes Pluies du 12 février) ;
- ↪ Une crue de pointe proche de la décennale sur la grande Rivière Saint-Jean en aval de la Petite Rivière Saint-Jean ($Q_{100} = 950 \text{ m}^3/\text{s}$) avec un volume moins important (type 1998, Fortes Pluies du 5 février) ;

Pour obtenir ces hydrogrammes, HEC-HMS permet de réaliser une simulation avec une homothétie d'un hyétogramme donné. Par tâtonnement, en simulant la crue que donnerait ce hyétogramme modifié, on peut alors obtenir un hydrogramme de débit de pointe voulue par exemple sur la Grande Rivière Saint-Jean en aval de la Petite Rivière Saint-Jean. Cette façon de procéder présente l'avantage d'obtenir directement des hydrogrammes en différents points du bassin versant prenant en compte les décalages de pointe pour un événement observé.

L'ensemble des hydrogrammes d'entrée du modèle de simulation 2D ainsi obtenus sont présentés sur les Figure n°42 à Figure n°45 page 93: Ruisseau Emmanuel, Ruisseau du Foutac, Petite Rivière Saint-Jean au pont de la RN2, Grande Rivière Saint-Jean au pont de la RN2, apport de la Grande Rivière Saint-Jean entre la RN2 et la confluence avec la Petite Rivière Saint-Jean, ainsi que 5 hydrogrammes d'apport propres à la Plaine de Bois Rouge (CP14, CP15, CP16, CEBR, CV3B).

En ce qui concerne les modélisations 1D des crues de la Ravine Sèche et de la Ravine Payet, les hydrogrammes de simulation proposés sont (cf. Figure n°46 page 97) :

- ↪ celui des fortes pluies de 1998 extrapolé à un débit de pointe décennal (calculé par la méthode SPEED pour le bassin versant considéré) pour la crue décennale ;
- ↪ celui de la crue Inès (1975) extrapolé à un débit de pointe centennal (calculé par la méthode SPEED pour le bassin versant considéré) à un débit de pointe de $186 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la crue centennale.
- ↪ Ils ont été construits en amont des zones à enjeux : Ravine Payet à la confluence avec la Ravine Sèche, Ravine Sèche au Chemin Morin (amont du centre ville de Saint-André) et Ravine Sèche en amont immédiat de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean.

Figure n°42 – HYDROGRAMMES DE SIMULATION D'UNE CRUE DECENNALE DE FAIBLE VOLUME

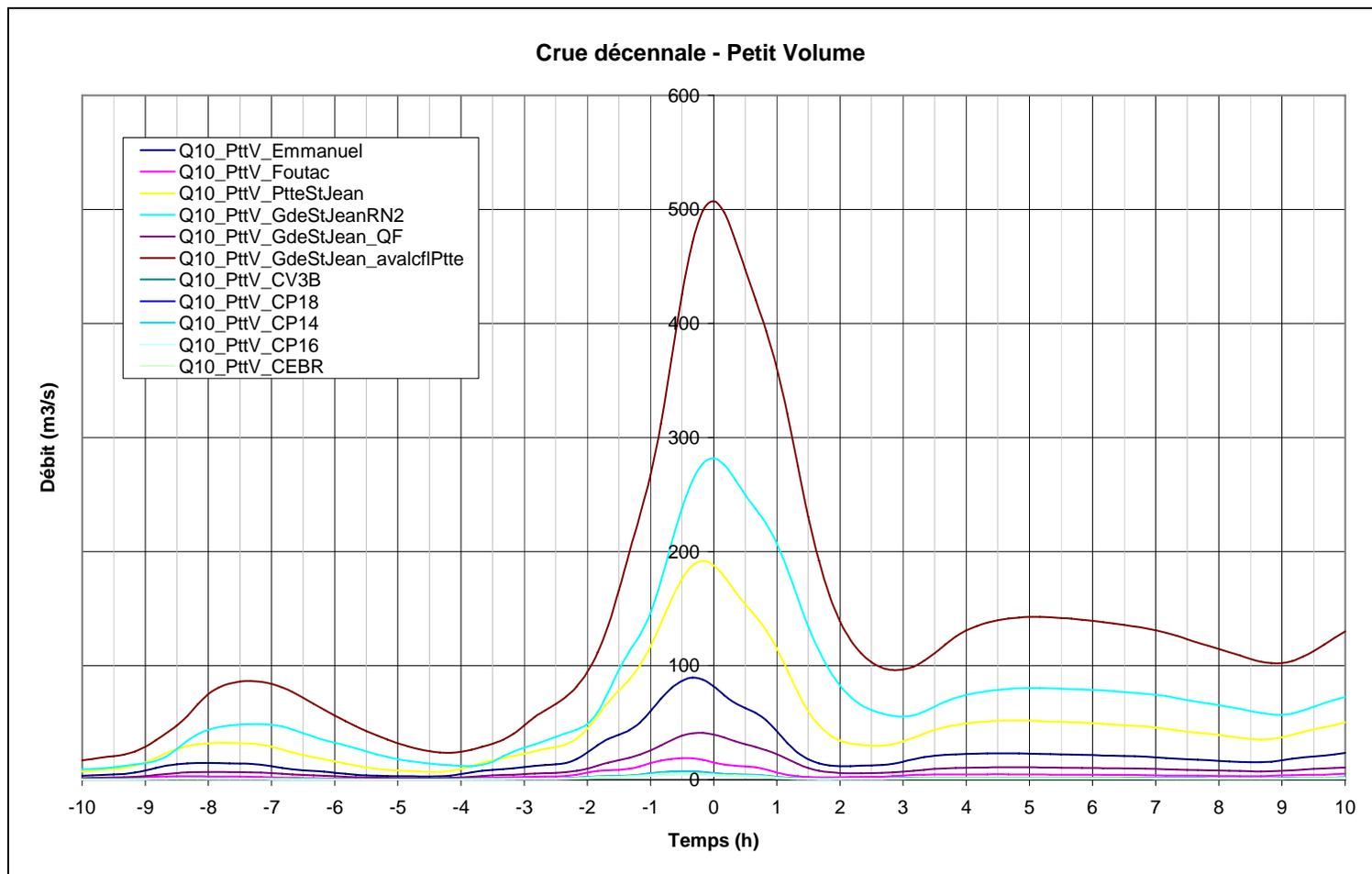


Figure n°43– HYDROGRAMMES DE SIMULATION D'UNE CRUE DECENNALE DE FORT VOLUME

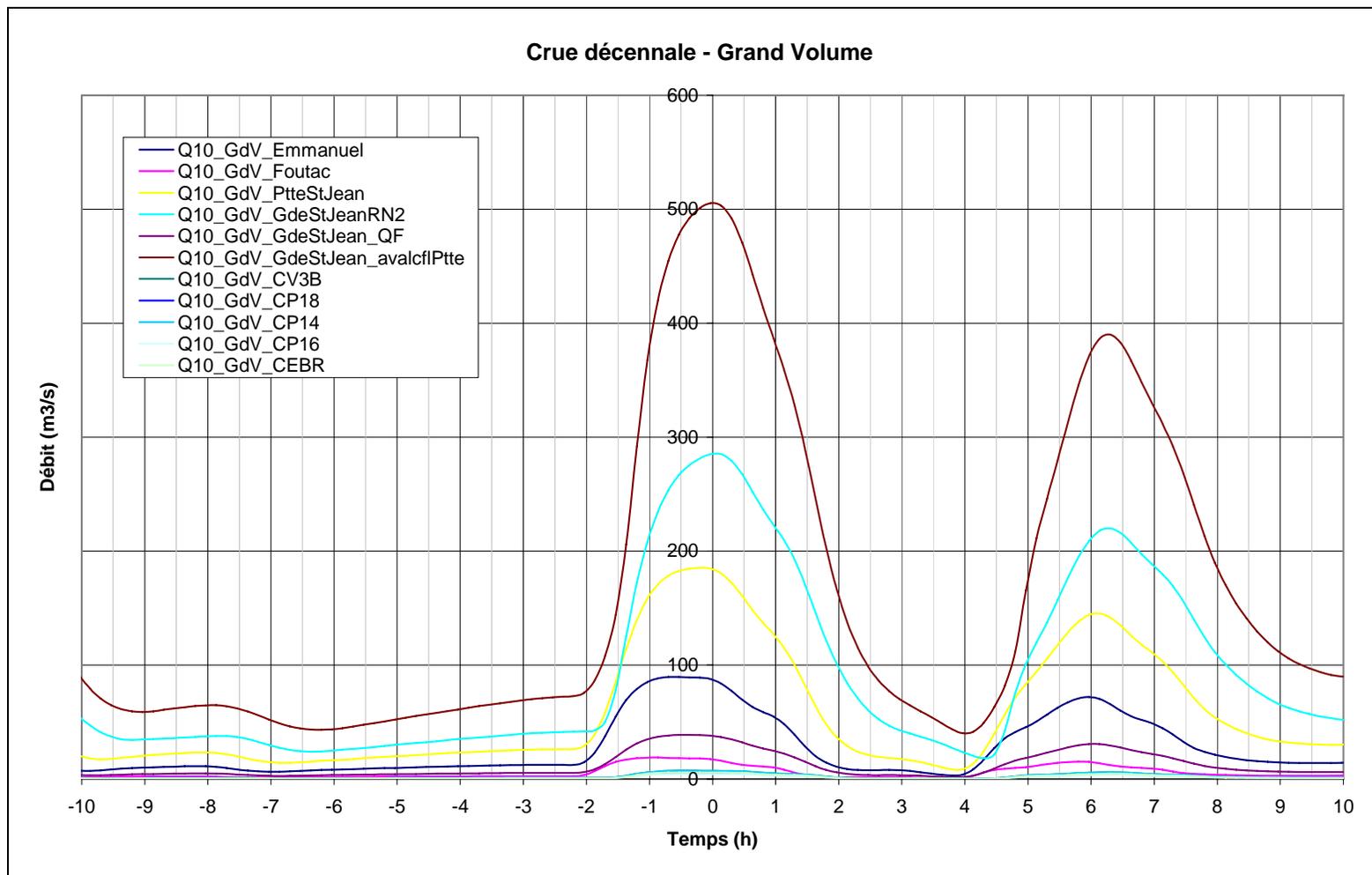


Figure n°44– HYDROGRAMMES DE SIMULATION D'UNE CRUE CENTENNALE DE FAIBLE VOLUME

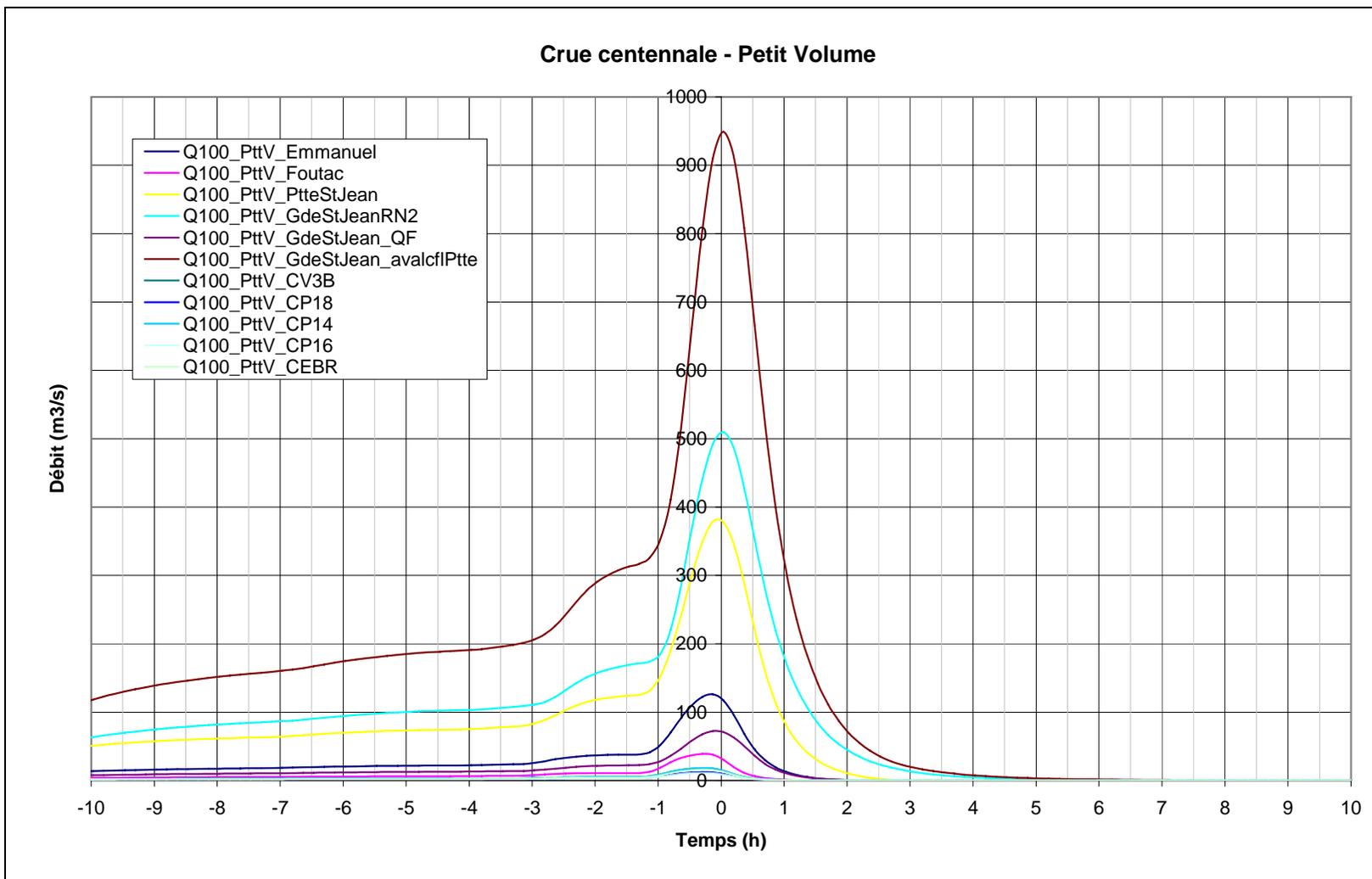


Figure n°45– HYDROGRAMMES DE SIMULATION D'UNE CRUE CENTENNALE DE FORT VOLUME

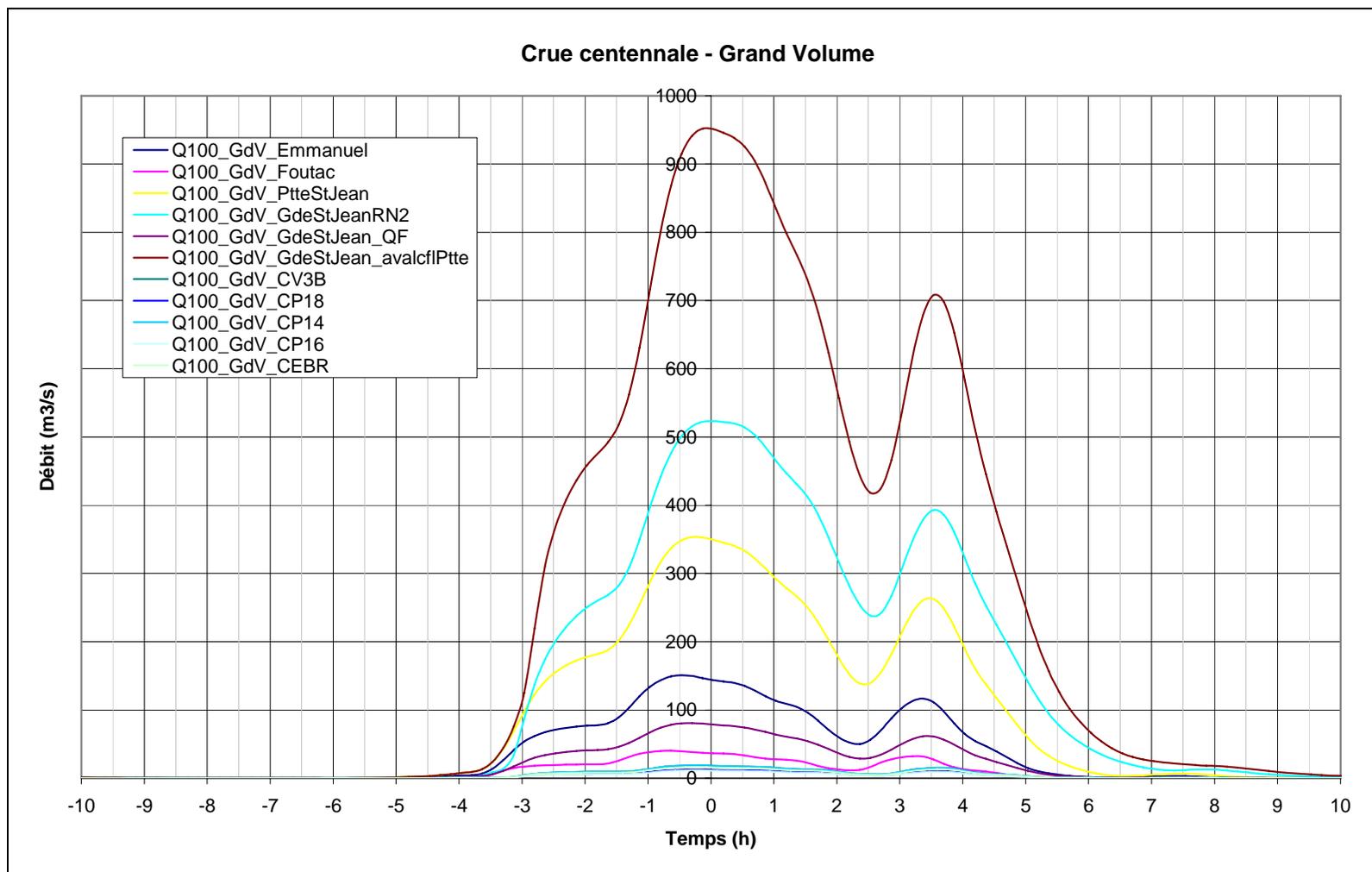
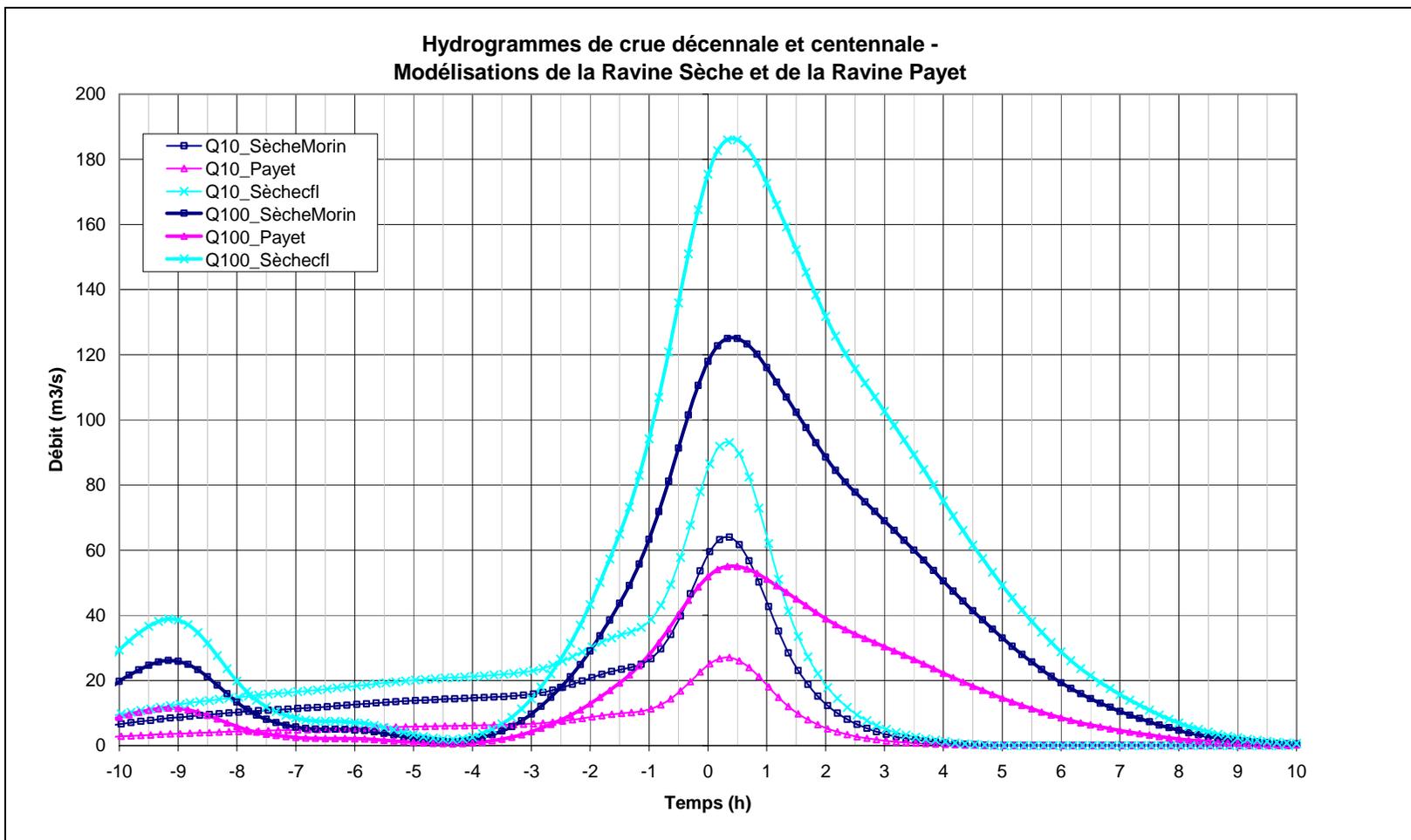


Figure n°46– HYDROGRAMMES DE CRUE POUR LES SIMULATIONS 1D DE LA RAVINE SECHE ET DE LA RAVINE PAYET



ANNEXES

**ANNEXE 1 – INVENTAIRE DES ETUDES ANTERIEURES ET DES
DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES**

DDE DE LA REUNION/RISC
 ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
 RAPPORT

Tableau n°31 – ETUDES ANTERIEURES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN

Réf.	Intitulé	Type d'étude	Auteur(s)	Maître d'Ouvrage	N° dossier	Date	Thématique	Intérêt
Bassin versant ruisseau Emmanuel								
/1/	Etude de la station de refoulement des EP dans le cadre de la création d'un PI sous la RN2	Etude de faisabilité	SOGREAH	DDE - SGT	63002b	août-91	Eaux pluviales RN 2	Faible
Bassin versant Petite Rivière Saint-Jean								
/2/	Dossier réglementaire centre commercial Carrefour à Sainte-Suzanne	Etude réglementaire	SOGREAH	FICASA	4700196	sept-07	Environnement CC Carrefour Ste-Suzanne	Moyen
/3/	Route des Hauts - Réfection des ouvrages de franchissement de la ravine Figaro et de la Petite Rivière Saint-Jean - AVP à DCE	Conception MOE	SOGREAH	Commune Sainte-Suzanne	4700306	juin-06, avr-07, juil-07	Travaux ouvrages route des Hauts	Faible
/4/	Plan de Prévention des Risques Inondations sur la commune de Sainte-Suzanne	Etude hydraulique, zone inondable	SOGREAH	DDE	850102	août-02	Inondations Ste-Suzanne	Fort
/5/	Schéma Technique de Protection contre les Crues (STPC) de la commune de Sainte-Suzanne - Phases 1 à 3	Etude hydraulique, zone inondable	SOGREAH	Commune Sainte-Suzanne	34030	juin-92	Inondations et protections de Ste-Suzanne	Fort
Bassin versant Grande Rivière Saint-Jean								
/6/	Plan de Prévention des Risques Inondations sur la commune de Saint-André	Etude hydraulique, zone inondable	SOGREAH	DDE	4700116	En cours	Inondations St-André	Fort
/7/	Expertise hydraulique relative au projet de centrale thermique à Bois Rouge - Compléments	Etude hydraulique, zone inondable	SOGREAH	Séchilienne SIDEC	4700896	sept-09	Inondations usine de Bois Rouge	Fort
/8/	Projet Saint-André Energie - Evaluation environnementale	Etude réglementaire	SOGREAH	Séchilienne SIDEC	4700828	août-09	Environnement usine de Bois Rouge	Faible
/9/	Etude de faisabilité pour le développement du pôle énergétique de Bois Rouge	Etude de faisabilité	SOGREAH	Commune St-André	4700448	mars-08	Etude générale environnement plaine de Bois Rouge	Moyen
/10/	Diagnostic hydraulique et étude de conception des aménagements sur la ravine des Chevrettes autour de la RD 46	MOE partielle	SOGREAH	CG 974	4700194	févr-08	Inondations et protection quartier Menciol (Ravine Chevrettes)	Moyen

DDE DE LA REUNION/RISC

ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
RAPPORT

Réf.	Intitulé	Type d'étude	Auteur(s)	Maître d'Ouvrage	N° dossier	Date	Thématique	Intérêt
/11/	Analyse des relations entre hauteurs d'eau et dommages sur les rivières de l'île de la Réunion	Etude de faisabilité	SOGREAH	DIREN	4700522	janv-08	Repères de crues cours d'eau de La Réunion	Fort
/12/	Expertise hydraulique relative au projet de centrale thermique à Bois Rouge	Etude hydraulique, zone inondable	SOGREAH	Séchilienne SIDEC	4700532	nov-07	Inondations usine de Bois Rouge	Moyen
/13/	Faisabilité d'un dépôt pétrolier sur la zone de Bois Rouge	Etude de faisabilité	SOGREAH	SRPP	4700426	juin-07	Etude générale environnement plaine de Bois Rouge	Fort
/14/	CDIS Bois Rouge - Etude du franchissement par les vagues	Expertise hydraulique	SOGREAH	STAR	2850289	déc-03	Analyse houle zone de Bois Rouge	Moyen
/15/	Dossier réglementaire relatif à l'opération Résidence Martin Pêcheur	Etude réglementaire	SOGREAH	SA Cassiopée	2850135	févr-03	Environnement projet résidence à Ste-Suzanne	Faible
/16/	Etude d'impact relative à l'extension de la centrale thermique de Bois Rouge	Etude réglementaire	SOGREAH	CTBR	2850021	mai-02	Etude générale environnement usine de Bois Rouge	Fort
/17/	Etude des risques d'inondation de la commune de Saint-André en termes d'aléas et de vulnérabilité	Etude hydraulique, zone inondable	BRL	DDE		déc-95	Inondations et protections de St-André	Fort
/18/	Schéma Technique de Protection contre les Crues (STPC) de la commune de Saint-André - Grande Rivière Saint-Jean - Phases 1 à 3	Etude hydraulique, zone inondable	BCEOM	Commune St-André, DDE	A93-05	juin-93	Inondations et protections de St-André	Fort
/19/	Zone industrielle de Bois Rouge – Modèle numérique	Etude hydraulique, zone inondable	BCEOM	SEDRE	A92-45	juin-93	Inondations usine de Bois Rouge	Fort
/20/	Etude hydraulique sur la zone industrielle de Bois Rouge	Etude hydraulique, zone inondable	BCEOM	Commune St-André, SEDRE	A92-14	mars-92	Inondations usine de Bois Rouge	Moyen
/21/	Etude des mesures de protection contre les inondations d'un secteur à aménager à Bois Rouge	Etude hydraulique, zone inondable	BRGM	SEDRE	90 REU 48	déc-90	Inondations usine de Bois Rouge	Moyen
/22/	Evaluation des risques d'inondation sur une zone à aménager à Bois Rouge	Etude hydraulique, zone inondable	BRGM	SEDRE	90 REU 31	août-90	Inondations usine de Bois Rouge	Moyen

DDE DE LA REUNION/RISC

ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES COURS D'EAU
RAPPORT

Ref.	Intitulé	Type d'étude	Auteur(s)	Maître d'Ouvrage	N° dossier	Date	Thématique	Intérêt
/23/	Etude hydraulique du projet de déviation de la RN 2 à Quartier Français - Compléments relatifs au tracé amont (sud)	Etude de faisabilité	SOGREAH	DDE	60 305	sept-88	Déviations RN 2 quartier Français (optimisation des ouvrages de décharge)	Moyen
/24/	Etude hydraulique du projet de déviation de la RN 2 à Quartier Français	Etude de faisabilité	SOGREAH	DDE	R 46 0051	janv-85	Déviations RN 2 quartier Français (pré-dimensionnement des ouvrages de franchissement)	Moyen
/25/	Mise hors d'eau de la RN 2002 (ex RN 2) entre le ruisseau Emmanuel et la Petite Rivière St-Jean (Quartier Français)	Etude de faisabilité	SOGREAH	DDE	36 1752 R1	nov-82	Amélioration des écoulements sous la RN 2002 autour de la Petite Riv St-Jean	Moyen
Bassin versant ravine Sèche								
/26/	Protection de la résidence Le Taj Mahal vis-à-vis des crues de la ravine Sèche	Etude de faisabilité	SOGREAH	SCCV Le Taj Mahal	4700653	juin-08	Expertise hydraulique projet résidence St-André	Faible
/27/	Franchissement de la ravine Sèche par le chemin Morin	Etude de faisabilité	SOGREAH	Conseil Général	4700317	sept-06	Expertise hydraulique projet de pont sur ravine Sèche	Moyen
/28/	Schéma directeur des eaux pluviales de la commune de Saint-André - Phase 1	SDEP	SAFEGE	Commune St-André, DAF		août-04	Réseaux EP St-André	Moyen
/29/	AVP de la dérivation de la ravine Sèche	AVP	SOGREAH	Commune St-André, DDE	850127	mai-03	Protection de St-André contre les crues (Rav. Sèche)	Fort
/30/	Protection de la résidence Ile de France vis-à-vis des crues de la ravine Sèche	Etude de faisabilité	SOGREAH	SHLMR	850050	avr-00	Expertise hydraulique projet résidence St-André	Faible
/31/	Etude diagnostic de la dérivation de la ravine Sèche	Etude de faisabilité	SOGREAH	Commune St-André, DDE	554534	nov-99	Protection de St-André contre les crues de la ravine Sèche	Fort
/32/	Projet d'extension des terrains de Petit Bazard dans le lit de la ravine Sèche	Etude de faisabilité	SOGREAH	DDE - ETN		janv-91	Expertise hydraulique projet résidence St-André	Moyen

DDE DE LA REUNION/RISC

ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
 RAPPORT

Réf.	Intitulé	Type d'étude	Auteur(s)	Maître d'Ouvrage	N° dossier	Date	Thématique	Intérêt
/33/	Expertise technique des dégâts recensés sur St-André suite aux pluies du 12/02/90	Expertise hydraulique	SET-OI	DDE		avr-90	Analyse dégâts St-André suite pluie du 12/02/90	Moyen
/34/	Schéma Technique de Protection contre les Crues (STPC) de la commune de Saint-André - Ravine Sèche - Phases 1 à 3	Etude hydraulique, zone inondable	SET-OI	Commune St-André, DAF	4638-1	mars-90	Inondations et protections de St-André	Fort
/35/	APD de la dérivation de la ravine Sèche	PRO	SET-OI	Commune St-André	4624-1	déc-89	Protection de St-André contre les crues de la ravine Sèche	Moyen
/36/	APS de la régulation des eaux de la ravine Sèche et de la ravine Payet	AVP	SET-OI	Commune St-André	4624	juil-88	Protection de St-André contre les crues de la ravine Sèche	Moyen

DDE DE LA REUNION/RISC
ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES COURS D'EAU
RAPPORT

Tableau n°32 – DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES SUR LE SECTEUR D'ETUDE

Réf.	Description	Date	BV concerné	N° dossier correspondant	Type^(*)	Format	Calage	Echelle	Maître d'Ouvrage	Auteur(s)
/37/	Levé photogrammétrique complet de la plaine	mars-09	Tous		VP	Numérique	NGR / UTM	1/1 500	DDE 974	Cabinet AIGL
/38/	Ravine des Chevrettes (de la route de Bras Mousneline à sa confluence avec le Bras des Chevrettes)	août-07	Grande Rivière St-Jean	4700194	VP	Numérique	NGR / UTM	1/200	CG 974	Géomex Réunion
/39/	Plan parcelle AB 570 (Plaine de Bois Rouge)	juin-07	Grande Rivière St-Jean	4700532	VP	Numérique	NGR / UTM	1/1 000		Cabinet Mérigaud, Hoffmann, Onfray et associés
/40/	Plan partiel du lit majeur rive droite de la Grande Rivière St-Jean en aval de la RN 2002	févr-07	Grande Rivière St-Jean	4700426	VP	Numérique	NGR / PDN	1/1 000		Cabinet Veyland
/41/	Plans du lit mineur de la Petite Rivière Saint-Jean et de la ravine Figaro autour de la route des Hauts	mars-06	Petite Rivière St-Jean	4700306	VP	Numérique	NGR / PDN	1/200		Cabinet Méchy
/42/	Levés de réseaux pluviaux sur Saint-André	2004	Ravine Sèche	SDEP Safège	?	-	?	?		?
/43/	BD Topo IGN incluant les courbes de niveau	2003	Tous		VP	Numérique	NGR / PDN			IGN
/44/	Plan de l'embouchure de la Grande Rivière St-Jean	juil-03	Grande Rivière St-Jean	2850289	VP	Numérique	NGR / UTM	1/500		Cabinet Euphrasie
/45/	Plan terrain résidence Martin Pêcheur	2002	Grande Rivière St-Jean	2850135	VP	Numérique	NGR / PDN	1/500		Cabinet Guid-OI
/46/	Tracé de la déviation de la Ravine Sèche	août-02	Ravine Sèche	850127	VP	Numérique	NGR / PDN	1/200 et 1/1 000		Cabinet Méchy
/47/	Elévation des ouvrages de franchissement de la ravine Sèche dans Saint-André	juin-02	Ravine Sèche	850127	PT	Numérique	NGR	1/50		Cabinet Méchy
/48/	Levé du chemin Morin entre la RD 46 et l'avenue Bourbon	févr-02	Ravine Sèche	4700317	VP	Numérique	NGR / PDN	1/200		SARL OIT
/49/	Levés de profils en travers sur les ravines Sèche (78) et	oct-01	Ravine Sèche	850127	PT	Numérique	NGR	1/200		Cabinet Méchy

DDE DE LA REUNION/RISC
 ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
 RAPPORT

Réf.	Description	Date	BV concerné	N° dossier correspondant	Type(*)	Format	Calage	Echelle	Maître d'Ouvrage	Auteur(s)
	Payet (12) dans la traversée de Saint-André									
/50/	Etablissement de profils en long sur les ravines Sèche et Payet dans leur traversée de Saint-André	oct-01	Ravine Sèche	850127	PL	Numérique	NGR	1/500 et 1/1 000		Cabinet Méchy
/51/	Plan lits mineur et majeur (partiel) des ravines Sèche et Payet dans leur traversée de Saint-André	oct-01	Ravine Sèche	850127	VP	Numérique	NGR / PDN	1/2 000		Cabinet Méchy
/52/	Plan du lit majeur rive droite de la Grande Rivière St-Jean à proximité de l'embouchure	2000	Grande Rivière St-Jean	2850289	VP	Numérique	NGR / UTM	?		Cabinet Euphrasie
/53/	Plan usine de Bois Rouge	août-00	Grande Rivière St-Jean	2850021	VP	Numérique	NGR	1/500		Cabinet Méchy
/54/	6 profils en travers de la Grande Rivière St-Jean entre la RN 2 et la RN 2002 (Quartier Français)	1993	Grande Rivière St-Jean	A93-05	PT	-	NGR	1/200		Cabinet Talibart
/55/	Levé de la plaine de Bois Rouge	nov-92	Grande Rivière St-Jean	A92-45	VP	-	NGR	1/2 000 et 1/5 000		Cabinet Talibart
/56/	12 profils en travers de la Grande Rivière St-Jean entre l'aval de la RN 2002 et son embouchure	févr-92	Grande Rivière St-Jean	A92-14	PT	-	NGR	1/200		Cabinet Talibart
/57/	Levé terrestre du lit majeur de la Grande Rivière St-Jean entre le temple hindou et l'usine sucrière	1990 ?	Grande Rivière St-Jean	90 REU 48	VP	Papier	NGR	1/2 500		SARL OIT
/58/	Tracé de la déviation de la Ravine Sèche	1989 ?	Ravine Sèche	4624-1	VP	Papier	NGR	1/100 et 1/1 000		?
/59/	Levés déviation ravine Sèche et ravine Payet	1988 ?	Ravine Sèche	4624	VP	Papier	NGR	1/500 et 1/1 000		?
/60/	18 profils en travers de la Grande Rivière St-Jean depuis l'amont de la RN 2002 (ex RN 2) et l'aval de sa confluence avec la Petite	1985 ?	Grande Rivière St-Jean	R 46 0051	PT	-	NGR ?	?		?

DDE DE LA REUNION/RISC
 ETUDE GENERALE (PGRI) DU BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN
 PHASE 2 – FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES COURS D'EAU
 RAPPORT

Réf.	Description	Date	BV concerné	N° dossier correspondant	Type(*)	Format	Calage	Echelle	Maître d'Ouvrage	Auteur(s)
	Rivière St-Jean									
/61/	Plan de la Grande Rivière St-Jean (lit mineur et lit majeur proche) autour de la RN 2002 (ex RN 2)	1985 ?	Grande Rivière St-Jean	R 46 0051	VP	Papier	NGR	1/1 000		?
/62/	9 profils en travers Petite Rivière St-Jean et 5 profils en travers Grande Rivière St-Jean autour de la RN 2002	1982 ?	Petite et Grande Rivière St-Jean	36 1752 R1	PT	Papier	NGR ?	?		?
/63/	Plan des lits mineur et majeur (partiel) de la Petite Rivière St-Jean et du ruisseau Emmanuel autour de la RN 2002	1982 ?	Petite Rivière St-Jean et ruisseau Emmanuel	36 1752 R1	VP	Papier	NGR	1/1 000		?
/64/	Restitution photogrammétrique IGN	1978	Tous		VP	Numérique	NGR	1/5 000		IGN