

EXPERTISE HYDROLOGIQUE SUR LA RIVIERE DES PLUIES



RE14-103

HYDRETUDES Ocean Indien

13/07/2015

Emetteurs **HYDRETUDES**

Siège

815 route de champ

Farçon

74 370 ARGONAY

Tél. : 04.50.27.17.26

Fax : 04.50.27.25.64



Filiale Océan Indien



Résidence les Kréolis - 8-10 rue Axel Dorseuil - 97410 SAINT PIERRE

Tél : 02 62 96 82 45 - Fax : 02 62 32 69 05 - email : contact-reunion@hydretudes.com

Réf affaire **RE14-103**

Auteur principal **Benoit CHAPON**

24 novembre 2012 JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Texte 25 sur 118

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Arrêté du 15 novembre 2012 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques

IV. - Dignes et petits barrages - études et diagnostics

NUMÉRO D'AGREMENT	DÉSIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGRÉÉ : dignes et barrages - études et diagnostics	AGRÉE JUSQU'AU
14	HYDRETUDES	10 juin 2017

V. - Dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux

NUMÉRO D'AGREMENT	DÉSIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGRÉÉ : dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux	AGRÉE JUSQU'AU
14	HYDRETUDES	10 juin 2017

Indice	Date	Titre du document	Phase	Statut du document	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
01	13/07/2015	Expertise hydrologique sur la Rivière des Pluies	Première diffusion	☒ Provisoire ☐ Définitif			
02			Première diffusion	☒ Provisoire ☐ Définitif	...		

Chef de projet Philippe Martin

Intervenant Maître d'Ouvrage:

CINOR

Document protégé, propriété exclusive d'HYDRETUDES. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

Table des matières

Avant propos 5

Etat des lieux	6
.1. Détermination des débits de projet	6
.1.1 Présentation des bassins versants	6
.2. Étude hydrologique de SOGREAH - 2008	7
.3. Étude hydrologique d'Hydoreex – 2014	8
Modélisation hydrologique HYDRETTES 2015	9
.4. Les données de calage du modèle	9
.4.1 Données événementielles : pluviométriques et hydrométriques	9
.5. Topographie	14
.6. Pluies statistiques Journalières	15
.7. Pluies statistiques infra-horaires	16
.8. Analyse géomorphologique et hydrologique du bassin de la Rivière des Pluies	16
.8.1.1 La fonction de transfert géomorphologique : principe	17
.8.1.2 La fonction de transfert géomorphologique de la Rivière des Pluies à son exutoire	19
.9. Analyse climatologique	20
.9.1 Pas de temps journalier	20
.9.1 Pas de temps horaire	22
.9.2 Principe d'estimation de la saturation moyenne du bassin sur le Cas du Lez : application au 22 Septembre 1992	23
.9.3 Interprétation	26
.9.4 Détail de nos modélisations	27
.10. Résultats de modélisations	28
.10.1 Pour la Rivière des Pluies à son exutoire aval :	28
.10.2 Pour la Rivière des Pluies au pont Domenjod (ou Desbassyns)	29
.11. Conclusion sur la méthode	30
.11.1 Une méthode basée sur l'étude du comportement physique des bassins versants	30
.11.2 Une méthode basée sur le retour d'expérience	30
.11.3 Les résultats pour la Rivière des Pluies	30

Table des Illustrations

Figure 1 : Cartographie des bassins versants de la Rivière des Pluies (SOGREAH, 2008)	6
Figure 2 : Caractéristiques des bassins versants (SOGREAH, 2008)	7
Figure 3 : Débits de pointes au pont Desbassyns selon plusieurs périodes de retour (SOGREAH, 2008)	7
Figure 4 : Débits de pointes au pont Desbassyns (ou Domenjod) selon plusieurs périodes de retour (HYDROREEX, 2014).....	8
Figure 5: Modèle Numérique de terrain du bassin versant de la Rivière des Pluies	14
Figure 6 : Analyse climatologique Sogreah 2008	15
Figure 7 : Données climatologiques de la Plaine des Chicots (Météo France).....	15
Figure 8 : extrait de l'étude Hydoreex 2014, lame d'eau de 1h à 12h sur trois stations du secteur d'étude.	16
Figure 9: Modèle Numérique de terrain du bassin versant de la Rivière des Pluies	17
Figure 10: schéma de principe du transfert géomorphologique (vue 3D)	17
Figure 11 : cartographie de la répartition des distances de parcours sur terre et dans le réseau sur l'ensemble du bassin versant	18
Figure 12: Réponse hydrologique "géomorphologique" pour le bassin de la Rivière des Pluies à son exutoire	19
Figure 13: Evénement du 22 Septembre 1992 mesuré à Montségur sur Lauzon (156 km ²)	23
Figure 14 : localisation et valeurs de mesure des stations pluviométriques pour le 22 septembre 1992.....	23
Figure 15 : extrait de l'étude Hydoreex 2014, lame d'eau de 1h à 12h sur trois stations du secteur d'étude.	26
Tableau 1 : analyse des cumuls de pluies journaliers des événements de calage choisis	21
Tableau 2 : rappel des données du réseau shypre issu de l'étude Hydoreex.....	22
Tableau 3 : valeurs des cumuls maximum sur 3 heures pour les 4 événements de calage	22

AVANT PROPOS

La Rivière des Pluies est l'un des cours d'eau majeur de la Réunion et concentre des enjeux importants de part et d'autre de ses berges mais également en termes de franchissements.

Plusieurs études hydrauliques se sont succédées sur ce bassin versant apportant des données hydrologiques discordantes sur les crues extrêmes avec pour les deux principales:

- ARTELIA en 2008 par l'application de la méthode SPEED avec une valeur de 1610 m³/s pour la crue centennale,
- HYDROREEX en 2014 par application de la méthode HMS avec une valeur de 1145 m³/s pour la crue centennale.

HYDRETUDES travaillant sur le projet de redimensionnement du Pont Desbassyns pour le compte de la CINOR et ayant été alerté par l'hétérogénéité des valeurs de débits annoncées a donc proposé son expertise hydrologique en développant un modèle de transfert puis de propagation spatialisé, pour apporter un éclairage nouveau et valider/invalider certaines valeurs de débits de la littérature.

ÉTAT DES LIEUX

.1. Détermination des débits de projet

.1.1 *Présentation des bassins versants*

Les bassins versants de la Rivière des Pluies ont été cartographiés dans l'étude de protection contre les crues de SOGREAH en 2008.

Ceux-ci sont présentés sur la figure ci-dessous :

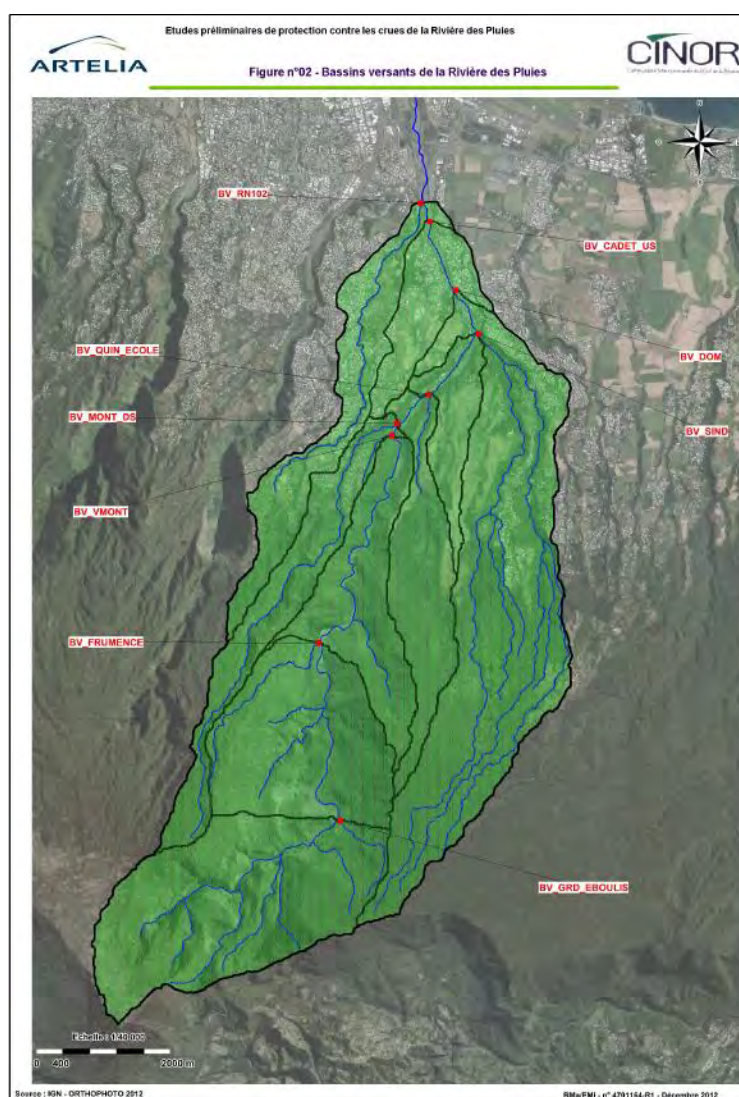


Figure 1 : Cartographie des bassins versants de la Rivière des Pluies (SOGREAH, 2008)

Leurs caractéristiques morphologiques sont rappelées dans le tableau suivant :

NOM REDUIT	EXUTOIRE	SUPERFICIE (KM ²)	PERIMETRE (KM)	ALTITUDE MÉDIANE (M NGR)
BV_GRD-EBOULIS	Limite amont Grand Eboulis	8,48	15,85	1 347
BV_FRUMENCE	Cap Frumence – Limite amont zone de dépôt ILO (aval Ravine Emmanuel)	14,41	21,67	1 141
BV_VMONT	Verrou Montauban – Amont confluence Ravine Montauban	18,30	29,42	1 010
BV_MONT-DS	Aval confluence Ravine Montauban	21,91	30,14	993
BV_QUIN-ECOLE	Limite amont zone étude – Ecole îlet Quinquina	25,34	31,80	954
BV_SIND	Amont confluence Ravine Bachelier – Lot Sindrama	26,97	34,27	913
BV_DOM	Pont Domenjod – Aval confluence Ravine Bachelier	38,90	37,23	906
BV_CADET-US	Amont confluence Ravine Cadet	41,02	38,85	865
BV_RN102	Limite aval zone étude – aval confluence Ravine Cadet	44,76	40,31	807

Figure 2 : Caractéristiques des bassins versants (SOGREAH, 2008)

.2. Étude hydrologique de SOGREAH - 2008

Dans le cadre de l'étude de protection contre les crues de la Rivière des Pluies en 2008, SOGREAH a réalisé une étude hydrologique pour calculer les débits de différentes périodes de retour (de 2 à 100 ans).

La méthodologie utilisée était la suivante :

- Analyse régionale des pluies ;
- Exploitation des données de débit disponibles ;
- Etablissement d'une relation pluie-débit (méthode SPEED).

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

PERIODE DE RETOUR (ANS)	Q (M ³ /s)
2	180
5	400
10	700
20	970
30	1 130
50	1 330
100	1 610

Figure 3 : Débits de pointes au pont Desbassyns selon plusieurs périodes de retour (SOGREAH, 2008)

Cependant, la méthode SPEED d'ARTELIA est peu explicitée ce qui ne permet pas une analyse critique probante.

.3. Étude hydrologique d'Hydoreex – 2014

Dans le cadre de son étude de définition de repères de crue sur le bassin versant de la Rivière des Pluies, HYDROREEX a réalisé une étude hydrologique pour calculer les débits de différentes périodes de retour (de 10 à 100 ans).

La méthodologie utilisée était la suivante :

- *Observation des repères de crue ;*
- *Reconstitution d'une crue historique à partir des pluies horaires avec le logiciel HEC HMS*
- *Interpolation avec les différentes périodes de retour avec le logiciel HEC HMS*

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Rivière des Pluies au pont Domenjod Débit maximum de crue (m ³ /s) selon période de retour (ans)		
	ARTELIA	HYDROREEX
T10	700	470
T20	970	640
T50	1130	925
T100	1610	1145

Figure 4 : Débits de pointes au pont Desbassyns (ou Domenjod) selon plusieurs périodes de retour (HYDROREEX, 2014)

MODELISATION HYDROLOGIQUE HYDRETUDES 2015

.4. Les données de calage du modèle

.4.1 *Données évènementielles : pluviométriques et hydrométriques*

Pour l'hydrométrie : Nous avons travaillé sur les données hydrométriques les plus récentes possibles pour lesquels les stations de mesures hydrométriques du pont Domenjod (ou Desbassyns) et Piton Tanan étaient opérationnelles, soient :

- Du 24 au 27/02/2007
- Du 27 au 30/01/2011
- Du 02 au 04/01/2013
- Du 01 au 03/01/2014

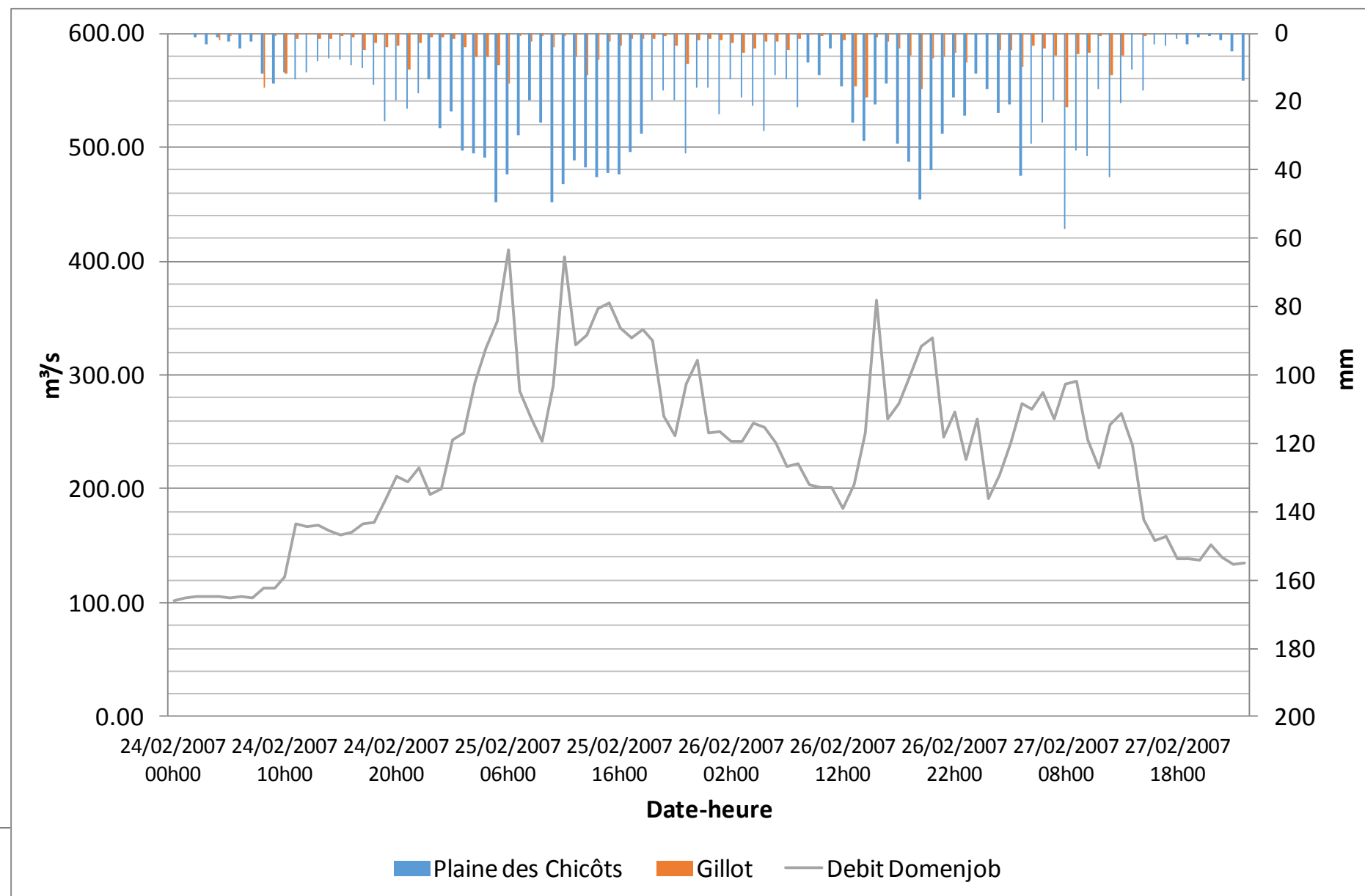
Ces données nous ont été fournies par les services de la DEAL Réunion (Cellule de Veille Hydrologique).

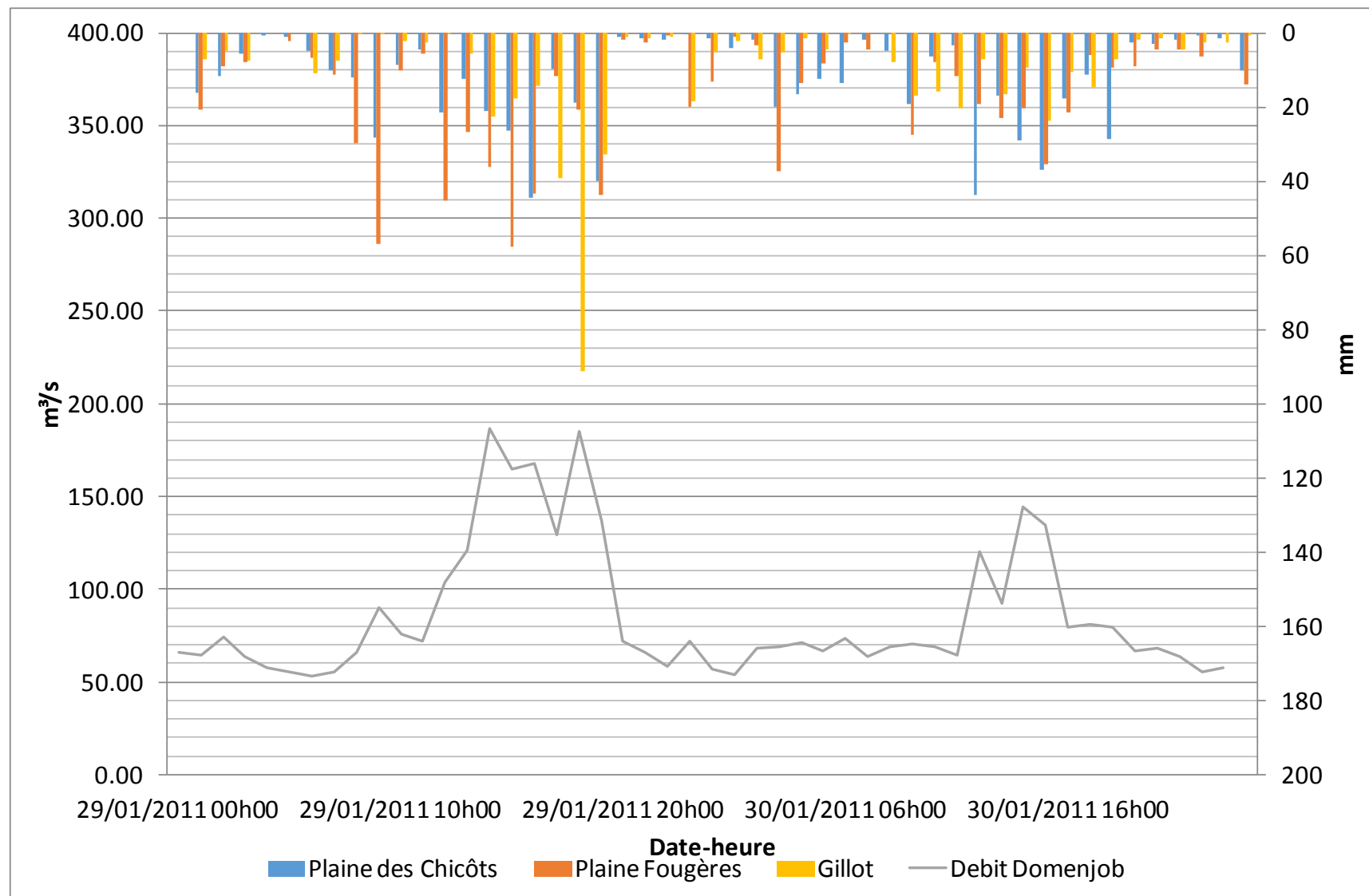
Pour les pluies : Nous avons utilisé les données de pluies horaires sur les stations du réseau Météo France en accès libres sur le site de la Publiothèque.

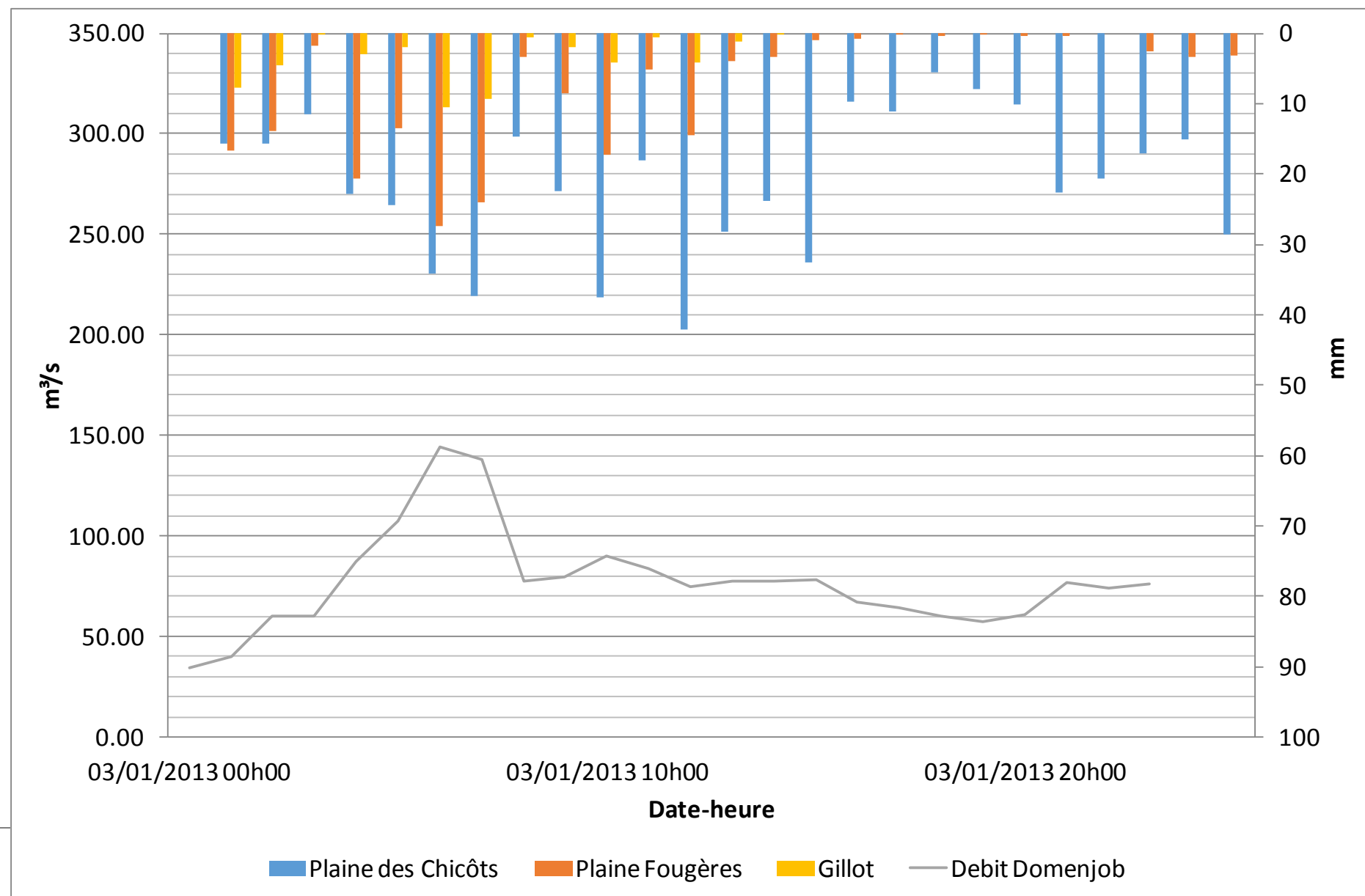
Les stations représentatives du bassin versant que nous avons retenues sont:

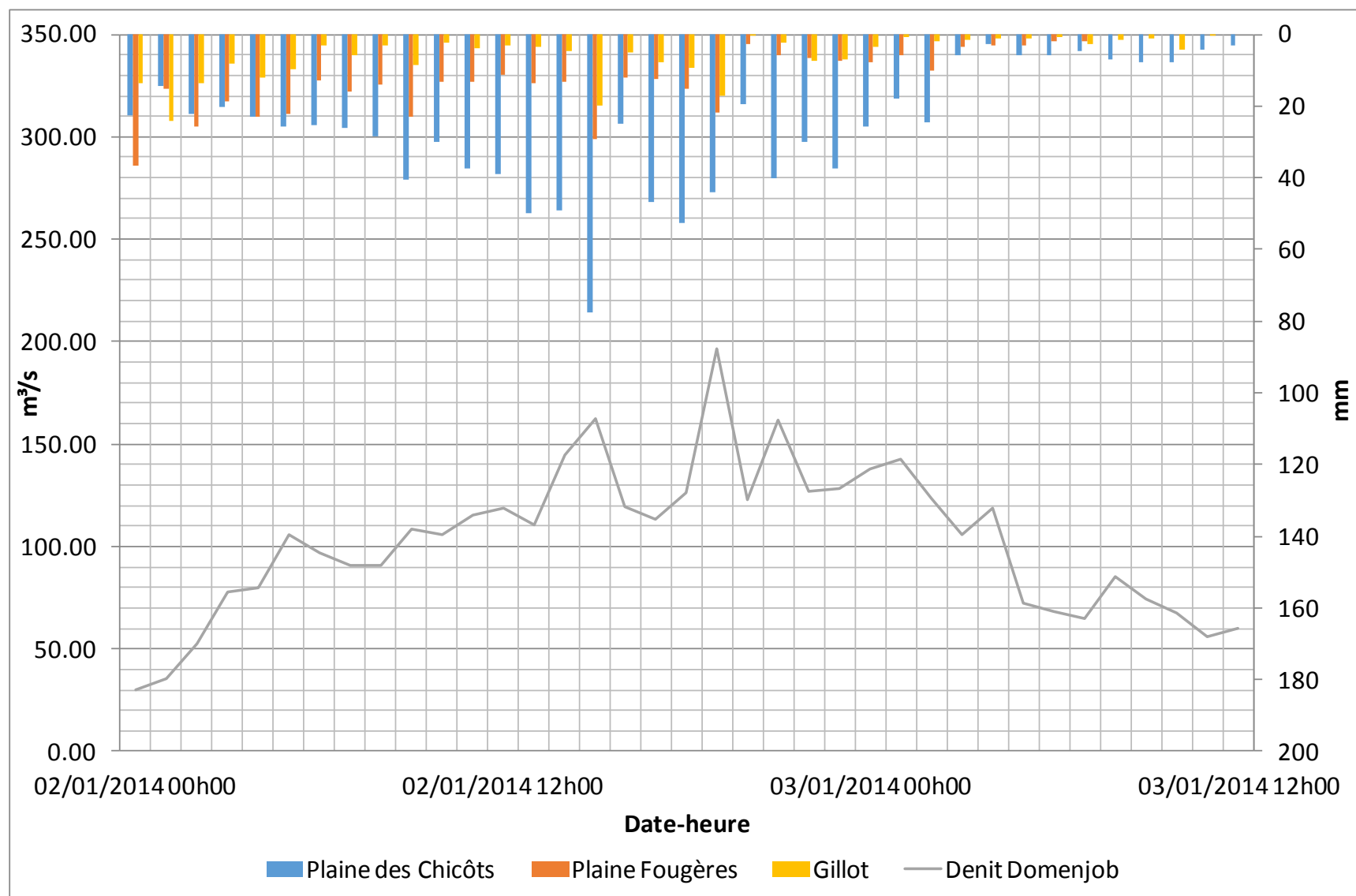
- station n°97411170 : PLAINE DES CHICOTS
- station n°97418110 : GILLOT AEROPORT
- station n°97418170: PLAINE DES FOUGERES

Ci-après nous présentons pour chaque évènement les chroniques de débit mesurées ainsi que les chroniques de pluies correspondantes :









.5. Topographie

Pour réaliser notre modélisation spatialisée nous avons eu accès aux données de la base de données Litto 3D de l'IGN, données topographiques sur des mailles entre 2m et 5m de définition en plan en (x;y):

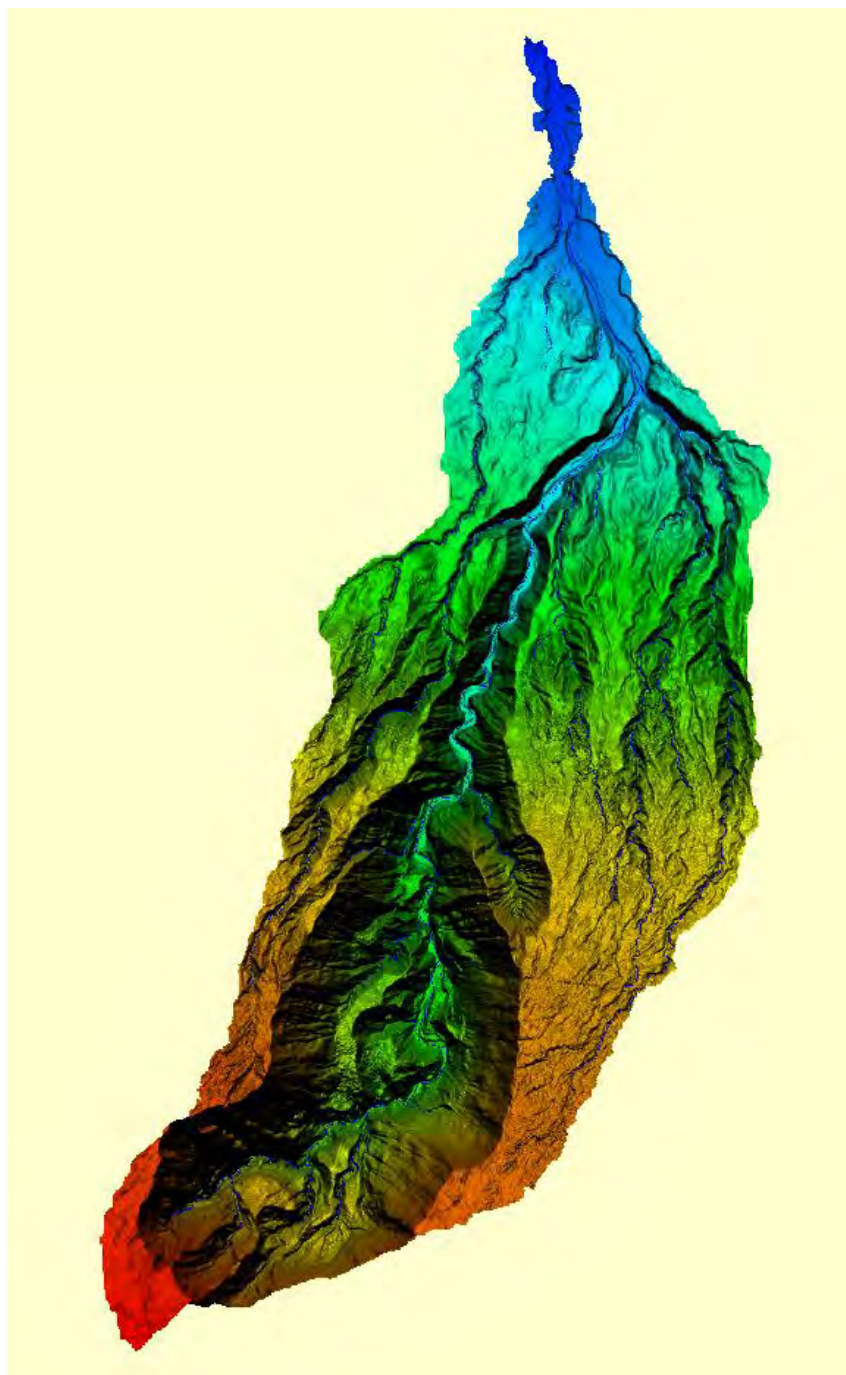


Figure 5: Modèle Numérique de terrain du bassin versant de la Rivière des Pluies

6. Pluies statistiques Journalières

Pour réaliser notre analyse statistique des pluies nous nous sommes appuyés sur l'analyse climatologique réalisée dans l'étude Sogreah 2008 dont nous présentons un extrait ci-dessous.

Station	Altitude (m NGR)	P _{j5}	P _{j10}	P _{j30}	P _{j100}
Gillot	10	212	291	411	540
Moka	232	269	370	522	686
St François	545	300	412	582	764
Brûlé – Val-Fleuri	1 065	435	598	843	1 107
Beaumont	1 100	549	755	1 065	1 398
Plaine des Chicots	1 834	721	991	1 399	1 837

Figure 6 : Analyse climatologique Sogreah 2008

Les données présentées dans le tableau ci-dessus nous permettront de classer les temps de retour des événements de pluies de calage et d'estimer les pluies extrêmes que nous mettrons en place dans notre modélisation.

Pour affiner notre analyse, nous avons également utilisé les données climatologiques de la station Plaines des Chicots dont nous présentons un extrait de la fiche ci-dessous :



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1982–2003

PL. CHICOTS (97)

Indicatif : 97411170, alt : 1834 m., lat : 20°58'24"S, lon : 55°27'00"E

L'échantillon contient 22 valeurs supérieures au seuil 189.0 mm, pour 11 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi exponentielle**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	710.3 mm	584.3 mm	836.3 mm
10 ans	867.2 mm	708.7 mm	1025.7 mm
20 ans	1024.1 mm	832.2 mm	1215.9 mm
30 ans	1115.9 mm	904.3 mm	1327.4 mm
50 ans	1231.5 mm	995.0 mm	1468.1 mm
100 ans	1388.4 mm	1117.8 mm	1659.1 mm

Figure 7 : Données climatologiques de la Plaine des Chicots (Météo France)

Nous voyons que pour la station PL des chicots que l'estimation de la lame d'eau centennale est supérieure par Sogreah 2008 par rapport à la fiche Météo France. Nous prendrons les

valeurs Météo France comme référence.

.7. Pluies statistiques infra-horaires

Les données statistiques pluviométriques sur le secteur d'étude donnant accès aux coefficients de calcul infra-horaire nous sont données par les services de Météo France et du réseau Shypre telles qu'elles sont rappelées dans l'étude Hydoreex 2014.

Nous prendrons comme données de références les valeurs suivantes:

Pt SHYPRE n° 1066 (en mm)					Pt SHYPRE n° 931 (en mm)					Pt SHYPRE n° 792 (en mm)				
	T10	T20	T50	T100		T10	T20	T50	T100		T10	T20	T50	T100
1h	92	121	170	206	1h	83	105	147	177	1h	77	100	137	163
2h	143	189	267	331	2h	125	164	220	270	2h	117	151	211	248
3h	185	245	352	434	3h	160	208	289	346	3h	148	190	269	316
4h	219	289	421	518	4h	188	244	338	410	4h	173	222	317	373
6h	280	368	540	668	6h	239	307	429	522	6h	220	276	397	479
12h	437	560	822	1039	12h	374	461	648	793	12h	335	417	597	727

Figure 8 : extrait de l'étude Hydoreex 2014, lame d'eau de 1h à 12h sur trois stations du secteur d'étude.

Ces mesures proviennent de calculs par modélisation maillés sur le bassin versant et basés sur les stations météorologies du secteur.

Ces mesures vont nous permettre de classer les temps de retour de pluie des événements de calage.

.8. Analyse géomorphologique et hydrologique du bassin de la Rivière des Pluies

La base de données topographiques mise à disposition comprend les données de la Litto 3D de l'IGN. Nous avons donc à notre disposition le Modèle Numérique de Terrain (MNT) par maille carrée de 5 à 2 m de coté sur tout le bassin versant de la Rivière des Pluies (voir figure suivante).

L'analyse du MNT (Cf. figure page suivante) nous renseigne sur la réponse hydrologique de l'ensemble du bassin versant. En effet, en crue, c'est le ruissellement de surface qui est le plus dommageable.

Or le transfert du ruissellement se fait en suivant les lignes de plus grandes pentes sur le bassin versant pour arriver jusqu'à l'exutoire.

En calculant pour chaque point le cheminement préférentiel d'une goutte jusqu'à l'exutoire nous pouvons en déduire la réponse dite « géomorphologique » du bassin. Nous présentons cette notion dans le paragraphe suivant.

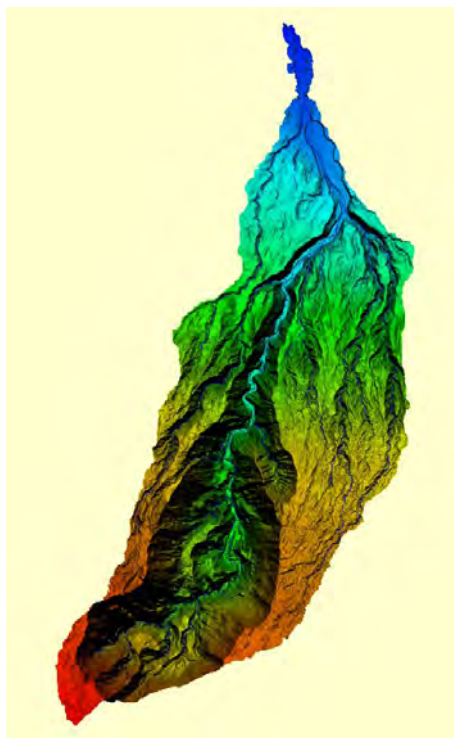


Figure 9: Modèle Numérique de terrain du bassin versant de la Rivière des Pluies

.8.1.1 La fonction de transfert géomorphologique : principe

Le transfert du ruissellement sur le bassin versant se décompose instinctivement en deux phases :

- Un parcours sur le versant (flèche blanche sur le schéma suivant),
- Un parcours dans le réseau hydrographique lorsque la goutte d'eau a atteint la rivière qui la transporte jusqu'à l'exutoire (flèche bleue sur le schéma suivant),

La distance de parcours est directement évaluée à partir du modèle numérique de terrain en calculant pour chaque point du bassin versant le cheminement jusqu'à l'exutoire et en dissociant le transfert sur versant et le cheminement dans le réseau.

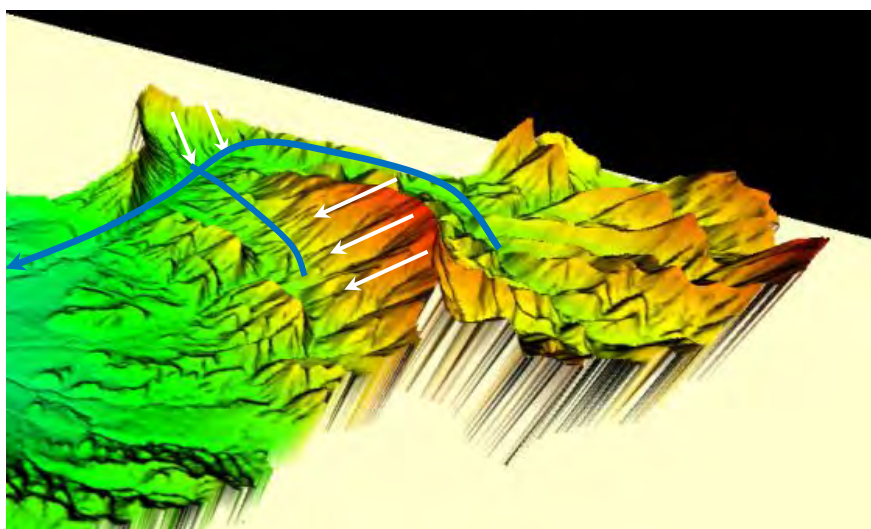


Figure 10: schéma de principe du transfert géomorphologique (vue 3D)

Les temps de transfert, pour chaque point du bassin versant, sont estimés en émettant une hypothèse sur les vitesses moyennes de transfert pour chaque cheminement. Les vitesses de transferts sur terre et en réseau présentent généralement un ordre de grandeur de différence. Nous avons calé celles-ci afin de retrouver les temps de concentration connus du bassin versant (3-4h).

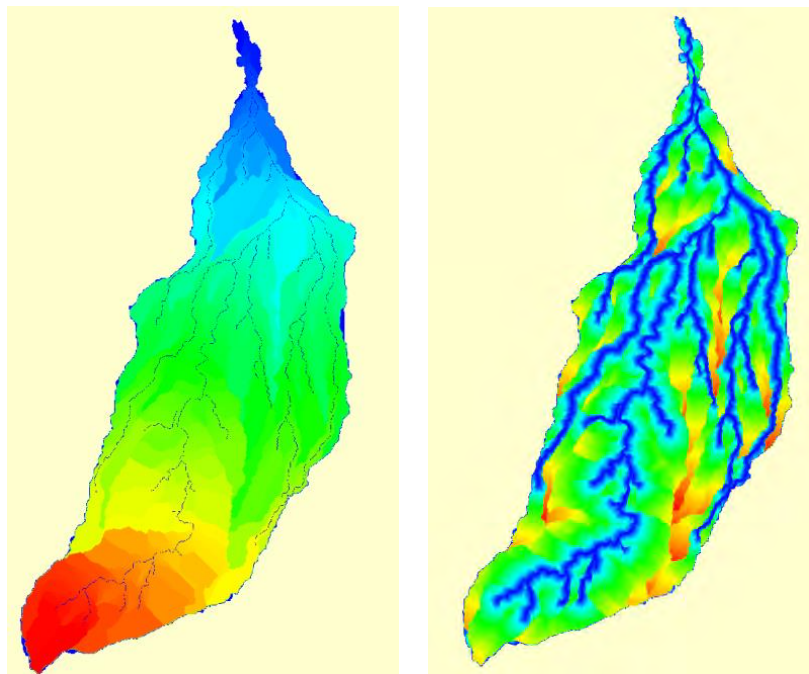


Figure 11 : cartographie de la répartition des distances de parcours sur terre et dans le réseau sur l'ensemble du bassin versant

Les sous bassins versants qui drainent à travers la Rivière des Pluies ont des temps de concentration de 1h à 4h pour les plus éloignés de l'exutoire. Or d'après le maillage de l'hydrographie, la reconstitution des réseaux et le calcul des distances de transfert nous avons estimé les vitesses de transfert permettant d'observer ces temps de concentration. Le calage est alors le suivant :

- Vitesse moyenne dans le réseau hydrographique 4m/s
- Vitesse sur versant = 0.4m/s

.8.1.2 La fonction de transfert géomorphologique de la Rivière des Pluies à son exutoire

Nous avons estimé ci-dessus les paramètres de la fonction de transfert (vitesses réseau et versant) à l'aide de l'évènement historique recensé dans les études Sogreah et Hydoreex.

Nous présentons sur la figure suivante la réponse hydrologique géomorphologique pour le bassin versant complet de la Rivière des Pluies mesurée à son exutoire.

Cette réponse hydrologique est exprimée en superficie de terrains contributifs au débit mesuré au temps T (surfaces contributives).

Cette analyse du MNT permet non seulement de déterminer les temps de concentration (temps que met une goutte d'eau pour parcourir le plus long chemin avant d'arriver jusqu'à l'exutoire), mais également de connaître la dynamique du bassin versant à une impulsion de pluie. Nous nous affranchissons ainsi des méthodes classiques de l'ingénierie du type Kirpich, Ventura, qui ont été largement utilisées jusqu'à présent.

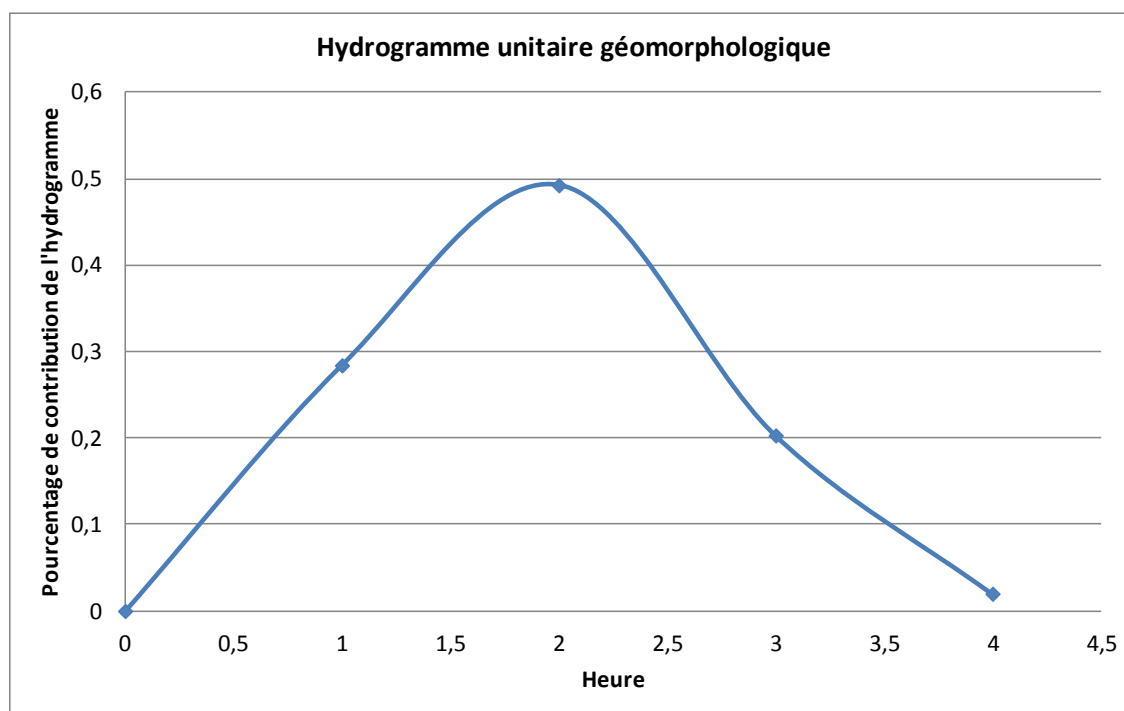


Figure 12: Réponse hydrologique "géomorphologique" pour le bassin de la Rivière des Pluies à son exutoire

Afin de nous placer dans un contexte sécuritaire nous considérerons des pluies de 3h.

.9. Analyse climatologique

.9.1 Pas de temps journalier

Notre analyse climatologique porte sur les 4 évènements hydrométriques de références choisis pour cette étude:

- Du 24 au 27/02/2007
- Du 27 au 30/01/2011
- Du 02 au 04/01/2013
- Du 01 au 03/01/2014

Les hyètoigrammes de ces évènements sont présentés dans la section 4.1 de ce rapport.

Afin de classer ces évènements en termes de temps de retour nous avons comparé les cumuls de pluie journaliers pour chacun d'eux avec les valeurs statistiques présentées à la section 5. Le tableau suivant présente ces résultats pour chaque journée de ces 4 évènements:

Cumul jours	station	Lame d'eau mesurée	Lame d'eau statistique la plus proche
24/02/2007-00:00	Plaine des Chicots	233.8	<<PJ5
	Gillot- Aéroport	69.2	<<PJ5
25/02/2007-00:00	Plaine des Chicots	788.4	PJ5-PJ10
	Gillot- Aéroport	107	<PJ5
26/02/2007-00:00	Plaine des Chicots	534.5	<PJ5
	Gillot	125	<<PJ5
27/02/2007-00:00	Plaine des Chicots	448.3	<PJ5
	Gillot- Aéroport	87.8	<<PJ5

Cumul jours	station	Lame d'eau mesurée	Lame d'eau statistique la plus proche
29/01/2011-00:00	Plaine des Chicots	304.5	<PJ5
	Gillot- Aéroport	293.1	PJ10
	Plaine fougère	484.2	PJ5
30/01/2011-00:00	Plaine des Chicots	308.9	<<PJ5
	Gillot- Aéroport	186.1	<PJ5
	Plaine fougère	290.8	<PJ5

Cumul jours	station	Lame d'eau mesurée	Lame d'eau statistique la plus proche
03/01/2013-00:00	Plaine des Chicots	529	<PJ5
	Gillot- Aéroport	50	<<PJ5
	Plaine fougère	186	<PJ5

Cumul jours	station	Lame d'eau mesurée	Lame d'eau statistique la plus proche
02/01/2014-00:00	Plaine des Chicots	826.9	PJ10
	Gillot- Aéroport	195.8	PJ5
	Plaine fougère	384.6	<PJ5
03/01/2014-00:00	Plaine des Chicots	123.1	<<PJ5
	Gillot- Aéroport	19.9	<<PJ5
	Plaine fougère	37.2	<<PJ5

Tableau 1 : analyse des cumuls de pluies journaliers des évènements de calage choisis

Sur l'ensemble de ces évènements les journées les plus pluvieuses sont celles du 25/02/2007 mesuré à la station de la Plaine de Chicots à 788.4 mm et le 02/01/2014 toujours pour la station plaine des Chicots avec 826.9mm avec des cumuls de l'ordre de la pluie quinquennale et décennale.

.9.1 Pas de temps horaire

L'analyse géomorphologique du bassin versant de la Rivière des Pluies indique que la pluie caractéristique et la plus dommageable est une pluie de 3 h.

Nous avons recherché dans les 4 évènements de calage les cumuls maximum sur 3h mesurés que nous avons ensuite comparé avec les valeurs du tableau de la section 6 (station n°931) dont les valeurs pour une pluie de 3h sont les suivantes :

	T_{10}	T_{20}	T_{50}	T_{100}
3h	160	208	289	346

Tableau 2 : rappel des données du réseau shypre issu de l'étude Hydoreex

	Heure du début du cumul et cumul (mm)		
Date du cumul	Station PI Chicots	Station Gillot	Station PI Fougères
25/02/2007 et 26/02/2007	25/02/2007-10:00 130 mm	26/02/2007 12:00 36.4 mm	Ø
29/01/2011	13:00 91.7mm	16:00 163mm	13:00 137mm
03/01/2013	09:00 97mm	04:00 22mm	04:00 67mm
02/01/2014	02/01/2014 13:00 176mm	02/01/2014 00:00 51mm	02/01/2014 00:00 77mm

Tableau 3 : valeurs des cumuls maximum sur 3 heures pour les 4 évènements de calage

En comparant les données des cumuls sur 3 heures mesurés au données issues du rapport d'hydoreex 2014 nous voyons que :

- la station de la Plaine des Chicots a été soumise à une pluie de l'ordre de la décennale pour l'évènement du 02/01/2014,
- les stations Gillot et PI Fougères ont été soumises respectivement à des pluies de l'ordre de la décennale et infra-décennale pour l'évènement de 2011,
- l'évènement de 2013 n'a pas présenté des cumuls de pluies important sur une échelle de temps de 3h.

De ces deux analyses nous concluons pour la poursuite de cet étude que :

- l'évènement de 2007 présente un temps de retour de 5 ans sur la journée du 25/02,
- l'évènement de 2011 présente un temps de retour de 5 ans sur la journée du 29/01,
- l'évènement de 2013 présente un temps de retour inférieur à 5 ans,
- l'évènement de 2014 présente un temps de retour entre 5 et 10ans que nous approcherons à 10 ans.

9.2 *Principe d'estimation de la saturation moyenne du bassin sur le Cas du Lez : application au 22 Septembre 1992*

Nous présentons ici la méthodologie de calcul de la saturation moyenne du sol à l'aide de l'évènement simple issu d'une étude menée sur le Lez (84) du 22 Septembre 1992. Cette méthode sera utilisée ensuite pour les événements de la Rivière des Pluies afin d'estimer les états de saturation plausibles en période de crue.

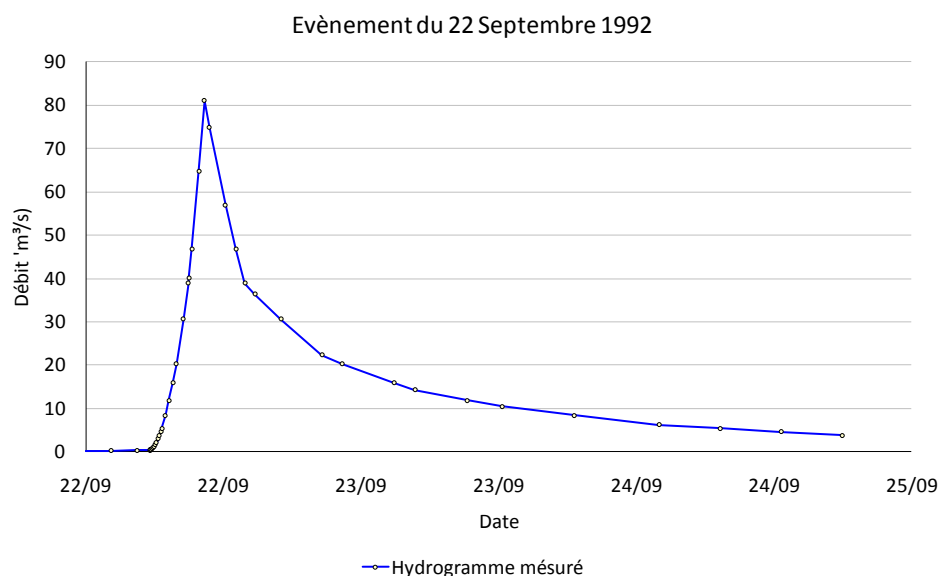


Figure 13: Evènement du 22 Septembre 1992 mesuré à Montségur sur Lauzon (156 km²)

Sur le graphique précédent nous voyons l'hydrogramme de crue du 22 septembre 1992 mesuré à Montségur-sur-Lauzon. Cet évènement est typique d'une réponse « quasi unitaire » à une pluie très courte. Cet évènement a été suivi par 4 stations météorologiques du secteur, les lames d'eau mesurées sont représentées sur la figure suivante et les valeurs de cumul sont données dans le tableau ci-dessous :

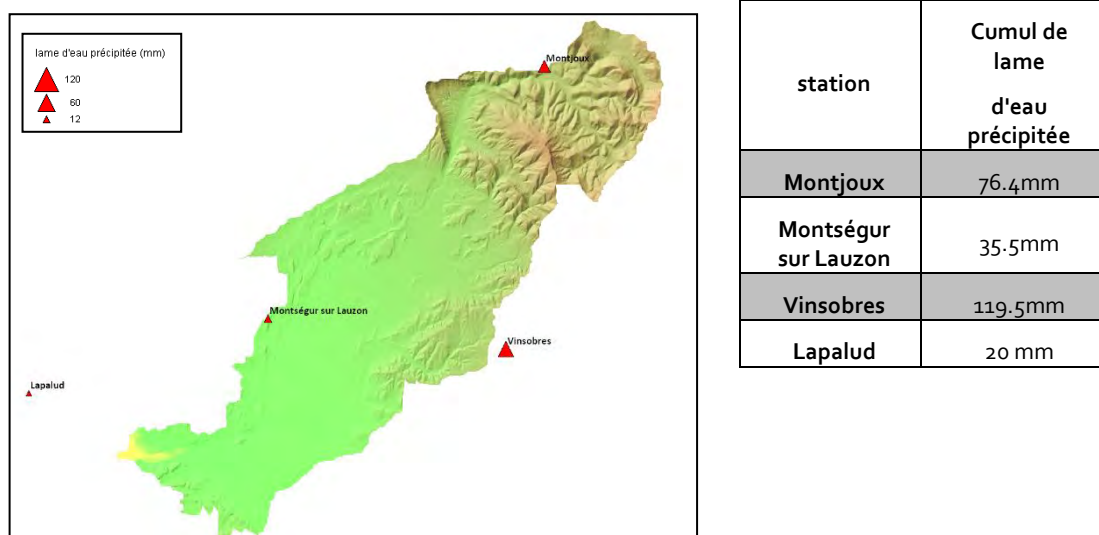


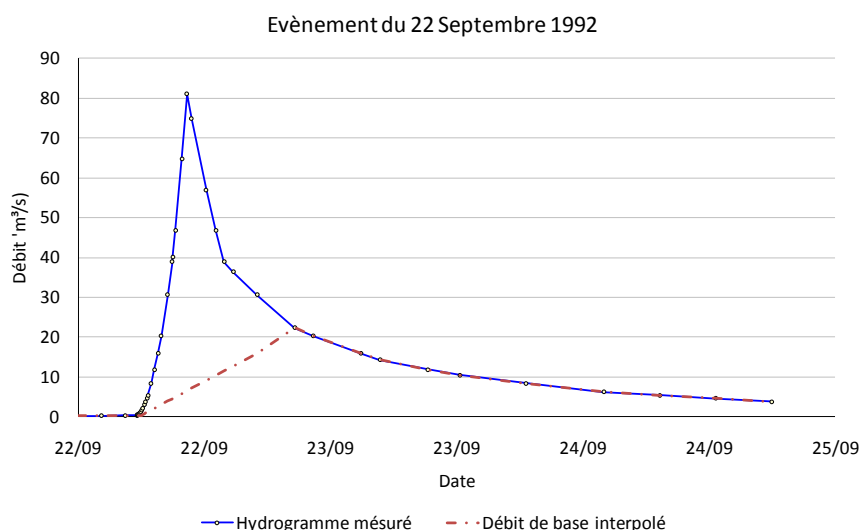
Figure 14 : localisation et valeurs de mesure des stations pluviométriques pour le 22 septembre 1992

Nous voyons que l'orage s'est surtout localisé sur les reliefs avec des cumuls de pluie importants pour Vinsobres et Montjoux. Pour la mesure débitimétriques de Montségur-sur-Lauzon nous considérerons que le cumul moyen sur le bassin est la moyenne arithmétique de la station de Montjoux et Montségur sur Lauzon. Ce cumul est alors égal à 55,95 mm.

D'après l'aspect de l'hydrogramme (figure 14), nous faisons l'hypothèse que le débit mesuré à la station de Montségur sur Lauzon à 2 composantes :

- Lamé d'eau ruisselée la plus active au moment de la pointe de crue avec des temps de réaction rapide donnant les variations rapides de l'hydrogramme,
- Lamé d'eau provenant d'un transit dans le sol appelé ici débit de base directement lié à la saturation en eau du sol qui a une évolution plus lente.

Sur l'hydrogramme de l'évènement du 22 septembre nous avons interpolé la partie représentant la contribution du débit de base (courbe rouge pointillé). Il est alors possible d'estimer le volume d'eau ruisselée sur le bassin ainsi que la lame d'eau précipitée équivalente et réellement contributive au ruissellement. Le reste des précipitations s'étant infiltrée.



Volume (m³)	1 380 235
lamé d'eau équivalente (mm)	8.9
lamé d'eau précipitée brute (mm)	55.95
rapport	15 %

Le rapport de la lame d'eau précipitée contributive (8.84 mm) sur la lame d'eau précipitée totale (55.95 mm) donne une estimation de la saturation du sol de **15%** sur l'ensemble de l'évènement.

Nous avons appliqué la même méthode pour le bassin de la Rivière des Pluies aux évènements suivants :

- Du 24 au 27/02/2007
- Du 27 au 30/01/2011
- Du 02 au 04/01/2013
- Du 01 au 03/01/2014

Pour tous ces évènements nous avons fait le rapport entre les cumuls de pluies moyennes et les débits mesurés sur l'évènement conformément à la méthodologie précédente.

Les résultats de détermination du taux de contribution pour chaque évènement sont:

- 24 au 27/02/2007

<i>Volume écoulé</i>	<i>Volume écoulé -20%</i>	<i>Volume écoulé +20%</i>
39741277.62 Volume précipité	31793022.09 Volume précipité	47689533.14 Volume précipité
80352220 contribution 49%	80352220 contribution 40%	80352220 contribution 59%

- 27 au 30/01/2011

<i>Volume écoulé</i>	<i>Volume écoulé -20%</i>	<i>Volume écoulé +20%</i>
17092810.69 Volume précipité	13674248.55 Volume précipité	20511372.8 Volume précipité
27629160 contribution 62%	27629160 contribution 49%	27629160 contribution 74%

- 02 au 04/01/2013

<i>Volume écoulé</i>	<i>Volume écoulé -20%</i>	<i>Volume écoulé +20%</i>
1 798 176.79 Volume précipité	1438541.43 Volume précipité	2157812.15 Volume précipité
7012760 contribution 25%	7012760 contribution 20%	7012760 contribution 30%

- 01 au 03/01/2014

<i>Volume écoulé</i>	<i>Volume écoulé -20%</i>	<i>Volume écoulé +20%</i>
11 766 927.67 Volume précipité	9413542.14 Volume précipité	14120313.2 Volume précipité
32910620 contribution 36%	32910620 contribution 30%	32910620 contribution 43%

9.3 Interprétation

Les quatre évènements précédents sont de l'ordre de débits quinquennaux à décennaux mais les mécanismes qui les gèrent sont différents. Or nous voulons évaluer les transferts d'eau pour l'évènement centennal.

Afin de mener à terme notre modélisation de l'évènement centennal, la valeur du taux de contribution au ruissellement pour l'évènement de temps de retour 100 ans (Sat100) est déduite de la formule suivante :

$$Sat100 = (L10tc * Sat10 + (L100tc - L10tc)) / L100tc$$

Avec :

$L10tc$ = lame d'eau de temps de retour 10 ans sur le temps de concentration

$L100tc$ = lame d'eau de temps de retour 100 ans sur le temps de concentration

$Sat10$ = saturation estimée par analyse des hydrogrammes

Les lames d'eau de référence que nous prendrons proviennent des données infra-horaires de l'étude Hydrex basée sur les données du réseau Shypre dont nous rappelons un extrait ci-dessous.

La lame d'eau centennale sur 3 h sera prise égale = 360mm (moyenne des valeurs données dans l'étude Hydrex) :

- enfin, qu'en matière d'averses extrêmes, compatibles avec les temps de concentration des 3 bassins versants locaux principaux (1 à 4 heures) et pour se limiter aux durées de référence et périodes de retour choisies pour cette étude (10 à 100 ans), celles ci s'établissent comme suit selon SHYPRE / Météo-France (cf. bibliographie) et pour les points n° 1066 (alt # 850 m en coeur de bassin de la rivière des Pluies), n° 931 (à proximité de la station de Pl. Fougères – alt: 1100 m) et au point 792 (alt 650 m en coeur du bassin Kiwi) :

Pt SHYPRE n° 1066 (en mm)					Pt SHYPRE n° 931 (en mm)					Pt SHYPRE n° 792 (en mm)				
	T10	T20	T50	T100		T10	T20	T50	T100		T10	T20	T50	T100
1h	92	121	170	206	1h	83	105	147	177	1h	77	100	137	163
2h	143	189	267	331	2h	125	164	220	270	2h	117	151	211	248
3h	185	245	352	434	3h	160	208	289	346	3h	148	190	269	316
4h	219	289	421	518	4h	188	244	338	410	4h	173	222	317	373
6h	280	368	540	668	6h	239	307	429	522	6h	220	276	397	479
12h	437	560	822	1039	12h	374	461	648	793	12h	335	417	597	727

Figure 15 : extrait de l'étude Hydrex 2014, lame d'eau de 1h à 12h sur trois stations du secteur d'étude.

Dans notre cas de figure nous avons trois résultats possibles:

- Pour le cas de l'évènement 24 au 27/02/2007

	Valeur nominale	Avec débit sous-estimé de -20%	Avec débit surestimé de +20%
Contribution calculée sur l'évènement			
Contribution calculée pour l'évènement centennal	0.49	0.40	0.59
	86%	84%	89%

- Pour le cas de l'évènement 27 au 30/01/2011

	<i>Valeur nominale</i>	<i>Avec débit sous-estimé de -20%</i>	<i>Avec débit surestimé de +20%</i>
Contribution calculée sur l'évènement	0.62	0.49	0.74
Contribution calculée pour l'évènement centennal	90%	86%	93%

- Pour le cas de l'évènement 02 au 04/01/2013

	<i>Valeur nominale</i>	<i>Avec débit sous-estimé de -20%</i>	<i>Avec débit surestimé de +20%</i>
Contribution calculée sur l'évènement	0.25	0.20	0.30
Contribution calculée pour l'évènement centennal	80%	78%	81%

- Pour le cas de l'évènement 01 au 03/01/2014

	<i>Valeur nominale</i>	<i>Avec débit sous-estimé de -20%</i>	<i>Avec débit surestimé de +20%</i>
Contribution calculée sur l'évènement	0.36	0.30	0.43
Contribution calculée pour l'évènement centennal	70%	67%	74%

La moyenne des contributions pour une modélisation du débit centennal sur ces 4 évènements de calage est = 82% [79%-84%]

9.4 *Détail de nos modélisations*

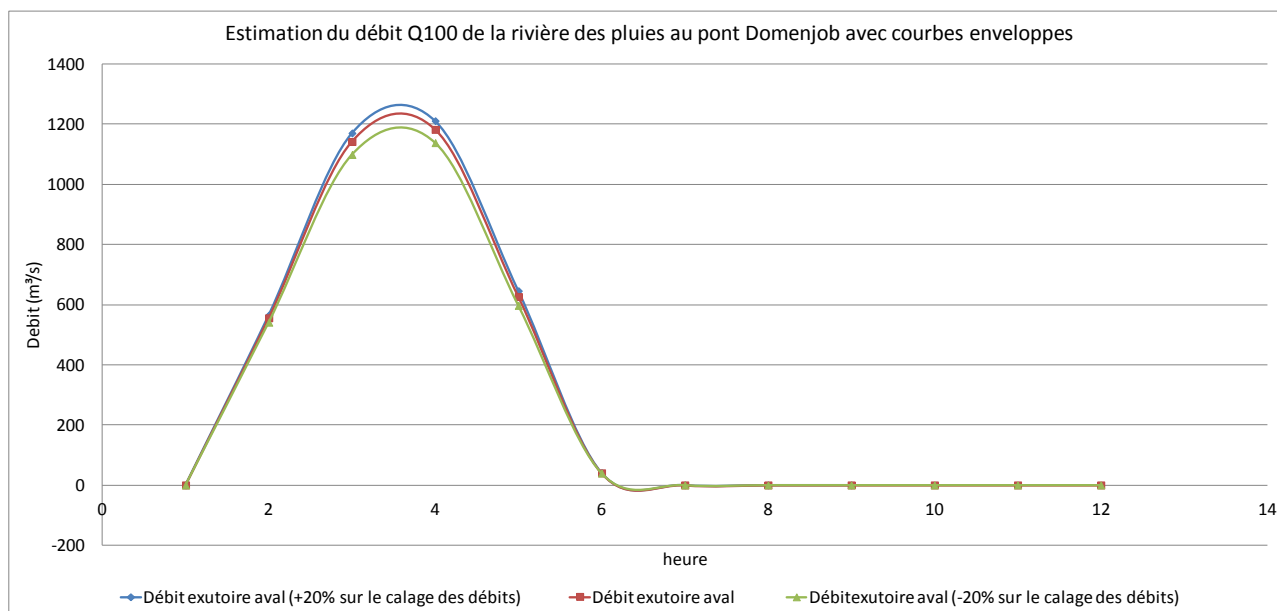
Jugeant des éléments calculés ci-dessus, et de l'interprétation des hydrogrammes de la phase précédente nous élaborerons nos modélisations en prenant en compte :

- une saturation du bassin de 82% avec un intervalle de confiance allant de 79% à 84% de taux de contribution.
- Une pluie de 3h de 120mm/h soit un cumul de pluie de 360mm sur 3 heures.

Les résultats sont présentés ci-après.

.10. Résultats de modélisations

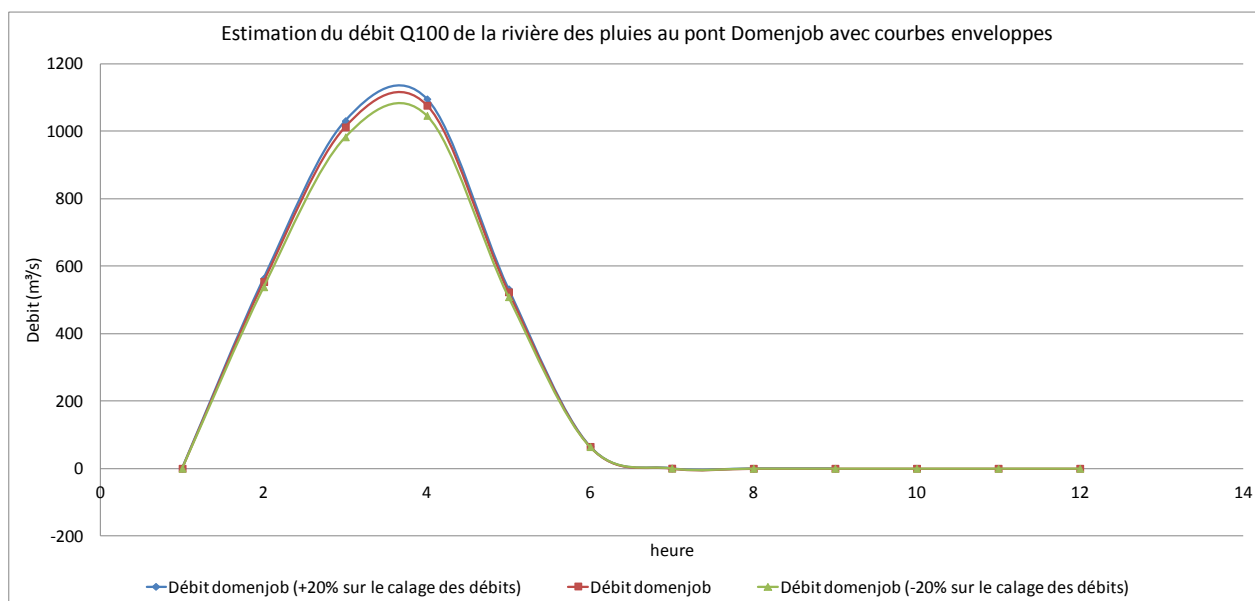
.10.1 Pour la Rivière des Pluies à son exutoire aval :



Dont les valeurs de débits de pointe sont :

Point de calcul	Valeur du débit de pointe enveloppe basse (-20% sur le calage des débits)	Valeur du débit de pointe	Valeur du débit de pointe enveloppe haute (+20% sur le calage des débits)
Exutoire aval	1138 m³/s	1182 m³/s	1211 m³/s

.10.2 Pour la Rivière des Pluies au pont Domenjob (ou Desbassyns)



Dont les valeurs de débits de pointe sont :

Point de calcul	Valeur du débit de pointe enveloppe basse (-20% sur le calage des débits)	Valeur du débit de pointe	Valeur du débit de pointe enveloppe haute (+20% sur le calage des débits)
Pont Domenjob	1046 m³/s	1076 m³/s	1095 m³/s

.11. Conclusion sur la méthode

.11.1 *Une méthode basée sur L'étude du comportement physique des bassins versants*

La modélisation que nous avons exposée dans ce rapport est basée sur l'hypothèse forte que la plus grande partie des eaux qui contribuent aux crues, et par conséquent aux inondations et dommages associés, provient des ruissellements de surface. Ces ruissellements circulent par gravité sur les bassins versants en suivant les lignes de plus grandes pentes.

Notre modélisation reconstitue l'ensemble des cheminements possibles sur le bassin versant et fait la somme sur chaque pas de temps de la quantité d'eau qui draine à travers un point exutoire déterminé.

.11.2 *Une méthode basée sur Le retour d'expérience*

La méthode que nous vous avons présentée se nourrit des mesures de terrain. Les temps de transfert et les valeurs de contribution des versants sont calés à partir des événements de crue et pas simplement sur la pédologie et la géologie du site.

Plus le retour d'expérience est important, plus la modélisation est robuste. Le modèle est donc amené à évoluer encore plus vers le "vrai".

.11.3 *Les résultats pour La Rivière des Pluies*

Nous avons calé notre modélisation spatialisée sur 4 événements récents mesurés par au moins une station hydrométrique et une station pluviométrique sur le bassin versant. Ces événements présentent des temps de retour, au sens de la pluie, compris entre 5 et 10 ans.

L'extrapolation du fonctionnement du bassin pour l'évènement centennal suppose un pourcentage de contribution des terrains entre 79% et 84%. Cette marge d'incertitude a été établie par analyse de sensibilité sur les mesures de débits. Nous avons supposé une erreur sur la mesure des stations hydrométriques de +/-20%. Cette variation se traduit en sortie du système par une variation du taux de contribution pour la crue centennale de +/-5%. **La sensibilité à la mesure de débit est donc convergente.**

De ces tests il en résulte les valeurs de débit rappelées ci-dessous :

Pour la Rivière des Pluies au pont Domenjod:

Point de calcul	Valeur du débit de pointe enveloppe basse (-20% sur le calage des débits)	Valeur du débit de pointe	Valeur du débit de pointe enveloppe haute (+20% sur le calage des débits)
Pont Domenjod	1046 m ³ /s	1076 m ³ /s	1095 m ³ /s

Pour la Rivière des Pluies à l'exutoire aval:

Point de calcul	Valeur du débit de pointe enveloppe basse (-20% sur le calage des débits)	Valeur du débit de pointe	Valeur du débit de pointe enveloppe haute (+20% sur le calage des débits)
Exutoire aval	1138 m ³ /s	1182 m ³ /s	1211 m ³ /s

Ces résultats sont équivalents aux valeurs estimées par Hydreex en 2014 et aux valeurs de la Rivière des Pluies antérieures à 2008 (débits déterminés par HYDRETUDES en 2001 pour le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement de ce cours d'eau par le Boulevard Sud). Cette équivalence ou proximité dans les résultats vient donc confirmer ces résultats

Nous écartons de ce fait et sur la base d'une approche rigoureuse, novatrice et reconnue, les résultats de Sogreah 2008, et les supposons erronés.

Les études et propositions de solutions de gestion du risque inondation basées sur les valeurs de débits de 2008 sont donc à actualiser au regard de l'importance des écarts constatés et de l'influence de la valeur du débit de référence sur le dimensionnement des aménagements proposés.