

Rapport d'expertise

Débit de référence (Q100)

Bassin versant de la Rivière des Pluies



Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1.0	Avril 2016	

Affaire suivie par

Jean-François MINGOT - DEAL Réunion / SPRiNR / CVH
<i>Tél. : 02 62 40 29 41 / Fax : 02 62 40 28 88</i>
<i>Courriel : jean-francois.mingot@developpement-durable.gouv.fr</i>

Rédacteur

Jean-François MINGOT - DEAL Réunion / SPRiNR / CVH

Relecteurs

Isabelle ROCHET - DEAL Réunion / SPRiNR / CVH
Responsable à la Cellule de Veille Hydrologique
Tél : 02 62 40 26 80

Référence(s) intranet

<http://intra.deal-reunion.i2/>

Table des matières

1 - CONTEXTE ET OBJECTIF DU RAPPORT.....	4
2 - RAPPEL CONCERNANT LA ZONE ÉTUDIÉE.....	5
3 - ÉVALUATION DU CUMUL DE PLUIE CARACTÉRISTIQUE (HYPOTHÈSE 1).....	6
4 - ÉVALUATION DE LA SATURATION DU BASSIN VERSANT (HYPOTHÈSE 2).....	7
4.1 - RAPPEL DE DÉFINITION.....	7
<i>4.1.1 - Taux de saturation.....</i>	<i>7</i>
<i>4.1.2 - Calcul du volume précipité.....</i>	<i>7</i>
4.2 - CALCUL DU TAUX DE SATURATION PAR ÉVÉNEMENT.....	10
<i>4.2.1 - Événement du 24 au 27 février 2007 – Cyclone GAMEDE.....</i>	<i>11</i>
<i>4.2.2 - Événement du 27 au 31 janvier 2011 – Fortes pluies.....</i>	<i>14</i>
<i>4.2.3 - Événement du 02 au 04 janvier 2013 – Cyclone DUMILE.....</i>	<i>17</i>
<i>4.2.4 - Événement du 1er au 3 janvier 2014 – Cyclone BEJISA.....</i>	<i>20</i>
4.3 - BILAN DU CALCUL DU TAUX DE SATURATION.....	23
4.4 - ÉVALUATION DE LA SATURATION DU BASSIN SAT_100.....	23
5 - CONCLUSION.....	26
6 - ANNEXES.....	27
6.1 - COMPARAISON DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE PLUIE DE BASSIN PAR ÉVÉNEMENT.....	27
<i>6.1.1 - Cas de l'événement du 24 au 27 février 2007 – Cyclone GAMEDE.....</i>	<i>27</i>
<i>6.1.2 - Cas de l'événement du 27 au 31 janvier 2011 – Fortes pluies.....</i>	<i>28</i>
<i>6.1.3 - Cas de l'événement du 02 au 04 janvier 2013 – Cyclone DUMILE.....</i>	<i>29</i>
<i>6.1.4 - Cas de l'événement du 1er au 3 janvier 2014 – Cyclone BEJISA.....</i>	<i>30</i>

1 - CONTEXTE ET OBJECTIF DU RAPPORT

La Cellule de Veille Hydrologique (CVH) a été sollicitée pour donner un avis sur la méthode et les résultats du rapport d'expertise RE14-103 de HYDRETTUDES daté 13/07/2015 portant sur l'expertise hydrologique de la Rivière des Pluies dont l'objectif est de définir une valeur pour la crue de référence qui sera la base de projets futurs.

L'expertise RE14-103 du BET est basée sur l'étude de 4 événements :

- Gamède (24 au 27 février 2007)
- Fortes pluies de janvier 2011 (27 au 30 janvier 2011)
- Dumile (02 au 04 janvier 2013)
- Béjisa (01 au 03 janvier 2014)

Elle se décline en deux parties. La première vise à déterminer les paramètres d'entrée du modèle. La seconde partie concerne les résultats des modélisations.

Le rapport du BET établit en première partie que les modélisations prendront en compte deux hypothèses :

- Hypothèse 1 : Une pluie de 3h de 120 mm/h, soit un cumul de pluie de 360 mm sur 3 heures.
- Hypothèse 2 : Une saturation du bassin de 82% avec un intervalle de confiance allant de 79% à 84% de taux de contribution.

Sur la base des hypothèses précédentes, les modélisations effectuées concluent aux résultats suivants :

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	1 046 m ³ /s	1 076 m ³ /s	1 095 m ³ /s
Exutoire aval	1 138 m ³ /s	1 182 m ³ /s	1 211 m ³ /s

Le rapport a pour objectif principal de vérifier la cohérence et pertinence des hypothèses de calcul pris en compte par HYDRETTUDES à l'entrée de son modèle hydrologique (méthode MESRI qui est d'ailleurs propriété d'HYDRETTUDES).

Le travail a consisté d'une part, à vérifier l'ensemble des calculs du BET et d'autre part, à comparer les résultats du BET à ceux issus d'une approche CVH.

2 - RAPPEL CONCERNANT LA ZONE ÉTUDIÉE

Le bassin versant de la Rivière des Pluies (39 km²) se situe au Nord de l'île et est couvert par :

2 limnimètres par la CVH	4 pluviomètres gérés par Météo France
Station Aval – Domenjod (radar)	Gillot aéroport (8 m) depuis 1953
Station Amont – Piton Tanan (piézomètre)	Montauban (420 m) depuis 2009
	Plaine des Fougères (1 062 m) depuis 1993
	Plaine des Chicots (1 834 m) depuis 1982

Les données limnimétriques sont disponibles depuis 2006 pour la station Domenjod et 2011 pour la station Piton Tanan.

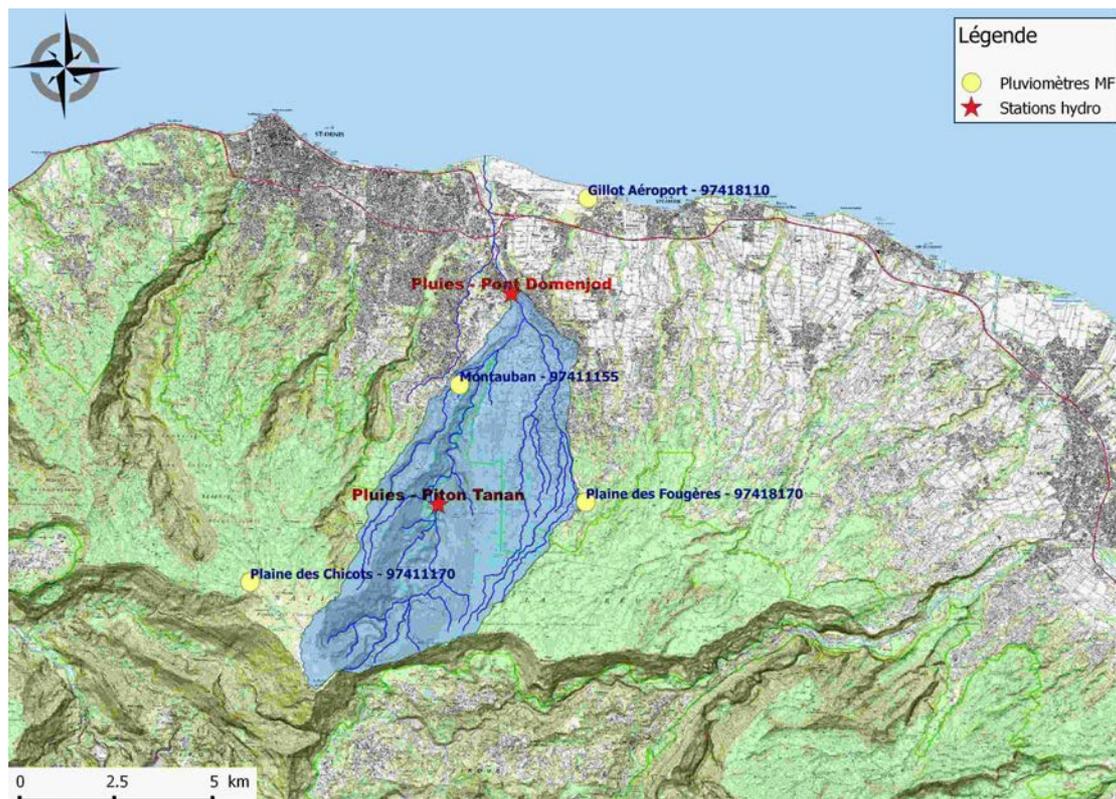


Illustration 1: Bassin versant de la Rivière des Pluies au droit du Pont de Domenjod

Les valeurs SHYPRE des pluviomètres sur un cumul de 3 heures correspondant au temps de concentration du bassin versant sont rappelés ci-dessous :

NUM_POSTE	NOM	Commune	3 heures					
			2	5	10	20	50	100
97411155	Montauban	St-Denis	101	141	177	214	264	303
97411170	Plaine des Chicots	St-Denis	109	172	234	290	362	415
97418110	Gillot-Aéroport	Ste-Marie	73	95	112	129	152	171
97418170	Plaine des Fougères	Ste-Marie	122	171	215	260	319	364

Illustration 2: Valeurs SHYPRE pluies (cumul 3h)

3 - ÉVALUATION DU CUMUL DE PLUIE CARACTÉRISTIQUE (HYPOTHÈSE 1)

Le modèle hydrologique utilisé par le BET intègre, en paramètre d'entrée, la lame d'eau centennale sur 3h à l'échelle du bassin qui a été prise comme la moyenne des valeurs des cumuls 3 heures de période de retour 100 ans (360 mm) de 3 points du bassin versant. Ce raisonnement n'a cependant pas de fondement statistique selon Météo France consulté à cette occasion. En théorie, il convient en effet d'établir un ajustement statistique sur la base d'une série de donnée composée des lames d'eau 3 heures max annuel sur le bassin. Chaque lame d'eau étant calculée par krigeage des pluviomètres au sol.

En l'état actuel des connaissances, il est impossible de connaître l'incertitude entourant la lame d'eau centennale (ou d'un quelconque quantile d'ailleurs) sur 3 heures à l'échelle du bassin par la méthode des moyennes. Toutefois, nous pouvons admettre de manière générale, que la moyenne des valeurs des cumuls 3 heures de période de retour 100 ans majore la lame d'eau centennale sur 3h sur le BV.

La valeur de lame d'eau prise en compte par le BET (moyenne des pluies ponctuelles centennales) constitue ainsi un paramètre aggravant en entrée du modèle. On peut par conséquent légitimement penser qu'une lame d'eau centennale sur le bassin (nécessairement plus faible que la moyenne des quantiles centennaux de points de mesure) conduirait à minimiser les débits proposés par le BET.

4 - ÉVALUATION DE LA SATURATION DU BASSIN VERSANT (HYPOTHÈSE 2)

Dans son rapport d'expertise final, le BET a estimé la saturation du bassin à 82% avec un intervalle de confiance allant de 79% à 84% de taux de contribution.

Le calcul de ce paramètre nécessite d'abord l'évaluation des volumes précipités et écoulés sur les événements choisis, puis de calculer le taux de contribution par événement et enfin d'extrapoler le taux de contribution dans le cas d'une pluie centennale sur le temps de concentration.

4.1 - RAPPEL DE DÉFINITION

4.1.1 - Taux de saturation

Le coefficient de ruissellement ou taux de saturation est le rapport entre le volume d'eau ruisselé et le volume d'eau précipité sur le bassin versant:

$$C_r = \frac{V_{\text{Ruisselé}}}{V_{\text{Précipité}}}$$

Le volume précipité correspond à la pluie moyenne tombée sur le bassin versant.

4.1.2 - Calcul du volume précipité

4.1.2.1 - Passage des pluies ponctuelles aux pluies moyennes sur une surface

Parmi les méthodes généralement proposées pour calculer la moyenne des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité, on distingue la méthode de la moyenne arithmétique, la méthode des polygones de Thiessen ou l'utilisation d'isohyètes. Le choix de la méthode dépendra notamment de la longueur de la série de données dont on dispose, la densité du réseau de mesure, et la variation du champ pluviométrique.

4.1.2.1.1- Méthode de la moyenne arithmétique

La méthode de la moyenne arithmétique est la plus simple à mettre œuvre. Elle conduit au final à affecter un poids égal à tous les pluviomètres, mais **s'applique uniquement si les stations sont bien réparties et si le relief du bassin est homogène**.

Cette méthode est souvent peu recommandée car peu représentative. Il faut lui préférer des méthodes graphiques (tracé d'isohyètes) ou statistiques qui permettent de donner un poids différent à chacun des points de mesures (moyennes pondérées).

4.1.2.1.2- Méthode de la moyenne pondérée : méthode des polygones de Thiessen

La méthode du polygone de Thiessen est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons résultats. Elle **convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement)**.

Cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin sur une carte topographique 1 (voir illustration 3).

La précipitation moyenne pondérée P_{moy} pour le bassin, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire A_i), le tout divisé par la surface totale A du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{\text{Moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * P_i}{A}$$

Les illustrations 4 et 5 présentent deux exemples d'application de la méthode de Thiessen sur le bassin versant de la Rivière des Pluies.

Avec :

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin,

A : aire totale du bassin ($=\sum A_i$), P_i : précipitation enregistrée à la station i ,

A_i : superficie du polygone associée à la station i .

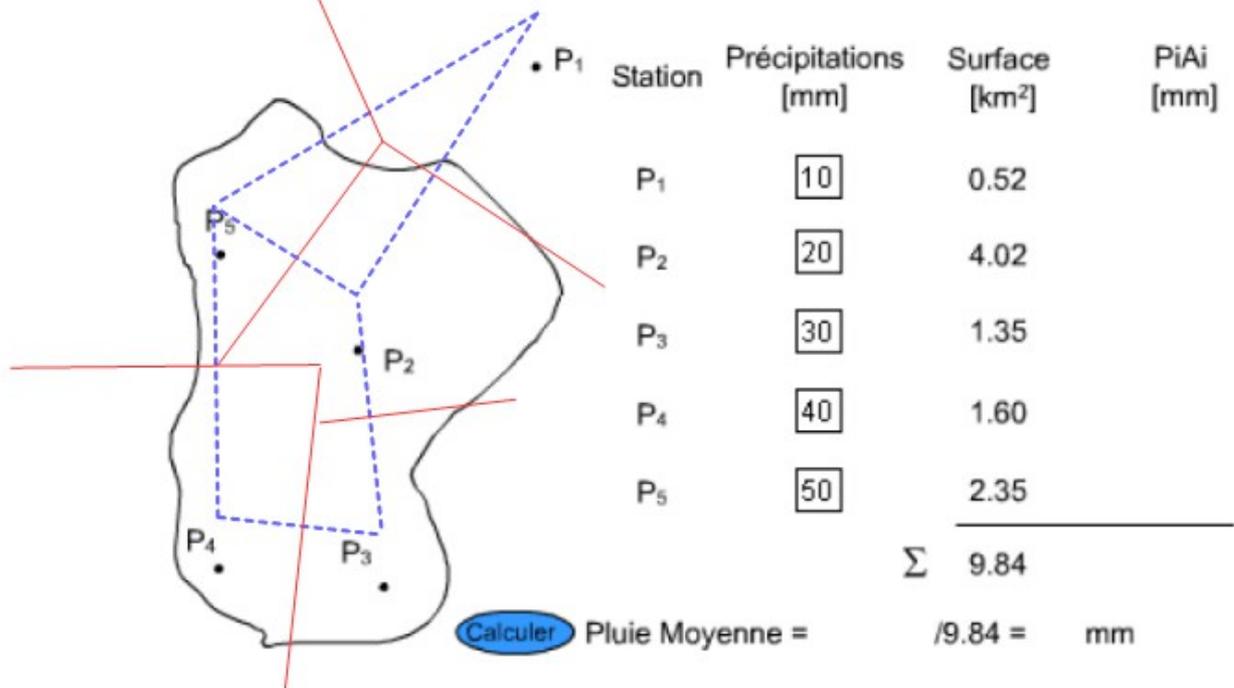


Illustration 3: Découpage du bassin versant selon la méthode de Thiessen



Illustration 4: Pondération Thiessen valable pour Gamède (2007)

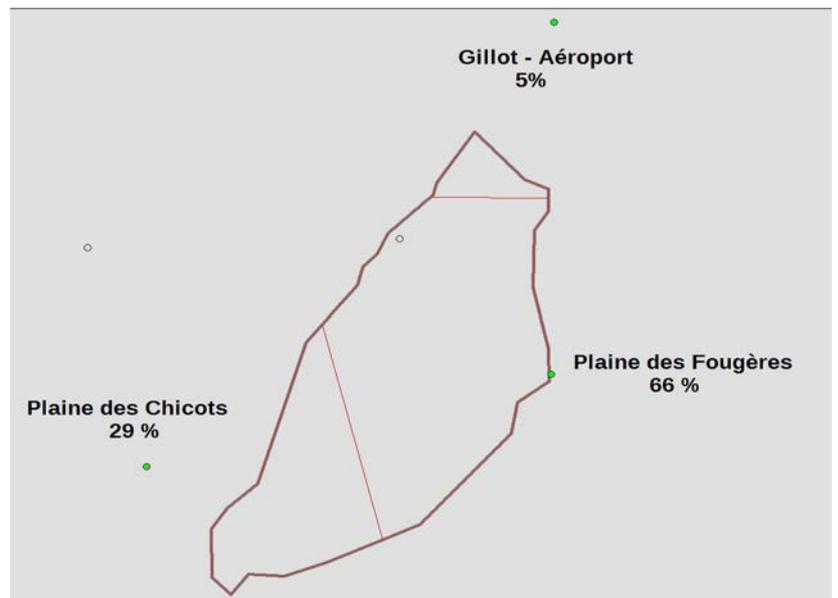


Illustration 5: Pondération Thiessen valable pour les événements de janvier 2011, Dumile (2013) et Bèjisa (2014)

4.1.2.1.3- Méthode des isohyètes (krigeage)

Une courbe isohyète est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même quantité de pluie, pendant une période donnée. La carte des isohyètes est fournie par Météo France. On détermine la précipitation moyenne en mesurant chaîne des surfaces comprises entre les isohyètes qu'on multiplie par la précipitation moyenne entre les isohyètes et on divise ensuite la somme de ces produits par la surface totale.

$$P_{moy\ BV} = \sum_{i=0}^n \frac{A_i}{A} * \frac{(L_{i+1} + L_i)}{2}$$

A_i : Surface entre 2 ligne d'isohyète

A : Surface totale

L_i et L_{i+1} : Valeurs de ligne d'isothète encadrant la surface A_i

Cette méthode est considérée comme la meilleure à dire d'expert.

4.1.2.2 - Comparaison des méthodes aux 4 événements sélectionnés

Le calcul de la lame d'eau sur un bassin versant pour un événement donné est complexe à la Réunion en raison de la forte variabilité spatio-temporelle des pluies. Dans le cadre de son expertise, le bureau d'études a opté pour la méthode de la moyenne arithmétique qui, comme évoqué précédemment, est simple à mettre en œuvre mais peu recommandée.

Dans le cadre du présent rapport, la CVH a souhaité ainsi de comparer les 3 méthodes sur les 4 événements sélectionnés par le BET. A partir de la pluie calculée par la méthode des isohyètes, la CVH a déduit un coefficient permettant de corriger la pluie de bassin utilisée par le BET.

Pour les événements Fortes pluies de 2011, Dumile et Béjisa, l'écart entre la méthode arithmétique (BET) et la méthode des isohyètes est relativement faible (< 7%). Même remarque si l'on compare la méthode arithmétique avec la méthode de Thiessen.

En revanche, pour l'événement GAMEDE, l'écart est assez significatif, mais paraît peu évident à expliquer vu d'une part, le faible nombre de pluviomètres en jeu et d'autre part, la faible précision de la carte isohyète. (cf annexe)

Bassin versant	Surf BV	Pluviomètre	Alt	Du 24 au 27 février 2007 (7h à 7h) Gamède	Du 27 au 31 janvier 2011 (7h à 7h) Fortes pluies	Du 02 au 04 janvier 2013 (7h à 7h) Dumile	Du 01 au 03 janvier 2014 (7h à 7h) Béjisa
Rivière des Pluies (Domenjob)	38.95 km ²	Gillot - Aéroport	8 m	333 mm	605 mm	79 mm	258 mm
		Montauban	420 m		875 mm	147 mm	365 mm
		Plaine des Fougères	1 062 m		1 076 mm	279 mm	463 mm
		Plaine des Chicots	1834 m	1 734 mm	1 013 mm	656 mm	939 mm
		Pluie Moyenne arithmétique (hydretudes)		1 033 mm	898 mm	338 mm	560 mm
		Pluie Moyenne Thiessen		1 314 mm	1 034 mm	378 mm	596 mm
		Pluie Moyenne Isohyète		1 355 mm	935 mm	315 mm	591 mm
Ecart relatif 1 = $\frac{(Pluie\ Moyenne\ arithmétique - Pluie\ Moyenne\ Krigeage)}{Pluie\ Moyenne\ Krigeage}$				-24%	-4%	7%	-5%
Coefficient d'ajustement I = $\frac{Pluie\ Moyenne\ Krigeage}{Pluie\ Moyenne\ arithmétique}$				1.31	1.04	0.93	1.05

Illustration 6: Comparaison des méthodes sur 4 événements sélectionnés

En conclusion, dans le cas de Rivière des Pluies et seulement pour les événements considérés à l'exception de l'événement GAMEDE, les 3 méthodes donnent des résultats relativement similaires. Il convient bien évidemment de ne pas généraliser cette conclusion à d'autres événements de crues.

Dans la suite de l'étude, considérant la méthode des isohyètes comme la plus adéquate, la CVH appliquera un coefficient d'ajustement afin de corriger les valeurs de pluies de bassin du BET (cf illustration 6).

4.2 - CALCUL DU TAUX DE SATURATION PAR ÉVÉNEMENT

Cette partie a pour objectif de comparer, par événement, 3 méthodes d'évaluation du taux de saturation.

La première méthode est l'« **approche BET** ». Elle consiste à vérifier les calculs initiaux du BET. Il s'avère cependant que, pour chaque événement, le BET n'a pas précisé avec exactitude les périodes d'études. Il a donc fallu par tâtonnement déterminer ces périodes sur la base des lames d'eau présentées par le BET

La période ainsi déterminée, la CVH a réévalué la pluie moyenne de bassin en fonction des coefficients d'ajustement, puis calculé les taux de saturation subséquents. Il s'agit de l'« **approche CVH 1** ».

Bassin versant	Du 24 au 27 février 2007 Gamède	Du 27 au 31 janvier 2011 Fortes pluies	Du 02 au 04 janvier 2013 Dumile	Du 01 au 03 janvier 2014 Béjisa
$\text{Coefficient d'ajustement} = \frac{\text{Pluie Moyenne Krigeage}}{\text{Pluie moyenne arithmétique}}$	1.31	1.04	0.93	1.05

Illustration 7: Coefficient d'ajustement par événement pour le calcul de pluie de bassin

Enfin, dans une troisième approche appelée « **Approche CVH 2** », il s'agit d'établir « librement » une période d'étude hydrologique centrée sur le pic de crues lors de l'événement, puis d'en déduire le taux de saturation sur la base d'une pluie moyenne de bassin ajustée.

4.2.1 - Événement du 24 au 27 février 2007 – Cyclone GAMEDE

4.2.1.1 - Approche BET

Dans son rapport, le BE n'a pas indiqué de manière précise la période d'étude (dates et heures de début et de fin). Le BE a évalué le volume précipité à 2 063 mm. Sur ce point, il semble que le BE, pour cet événement, a exploité uniquement le pluviomètre Plaine des Chicots car le "volume moyen précipité" correspondant à la moyenne arithmétique de Plaine des Chicots et Gillot est égal à 1 620 mm sur 21 jours (période du 14/02/2007 à 07h au 07/03/2007 à 07h), et se situe donc largement en deçà des 2 063 mm indiqué.

En revanche, le cumul de pluies sur Plaine des Chicots s'élève à 2 063 mm du 24/02/2007 à 05h au 28/02/2007 à 02h. On peut donc considérer cette période comme celle choisie par le BE.

Le BET a évalué, pour cet événement, un taux de contribution de 54 %.

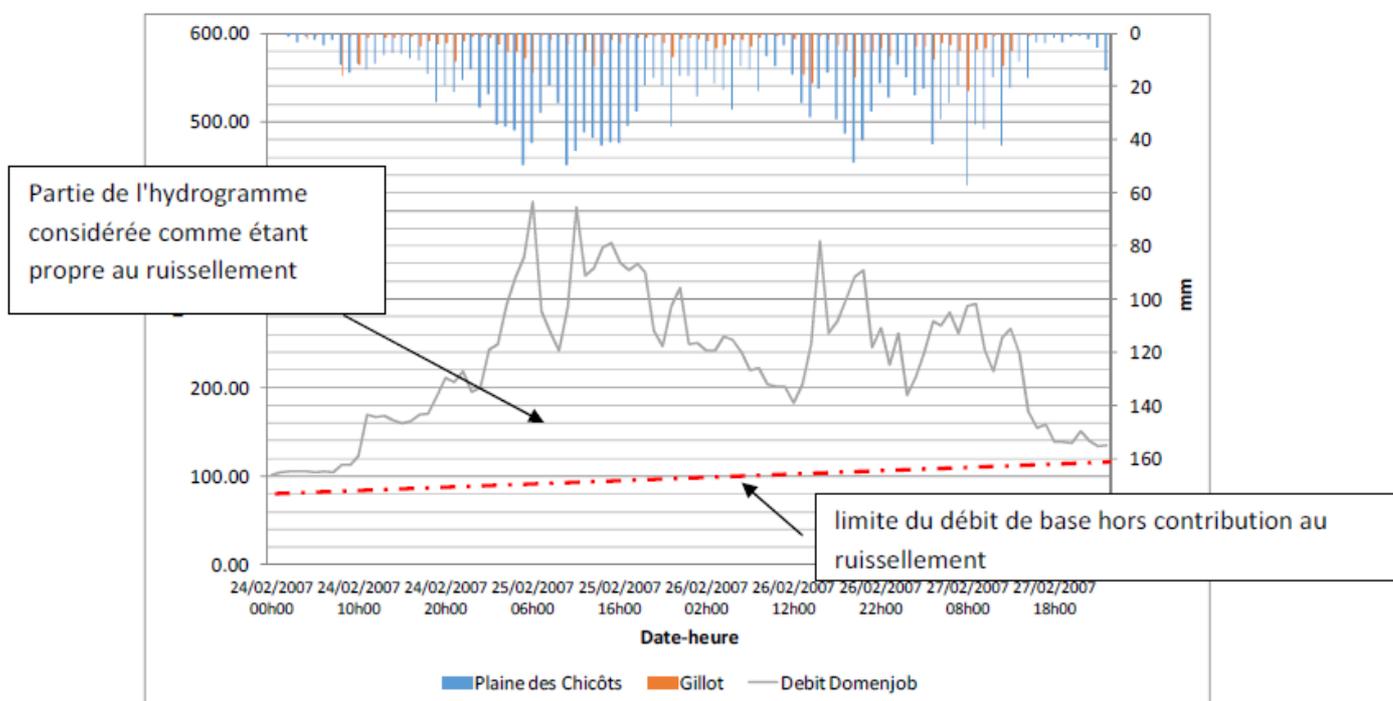


Illustration 8: Graphique issu du rapport BET

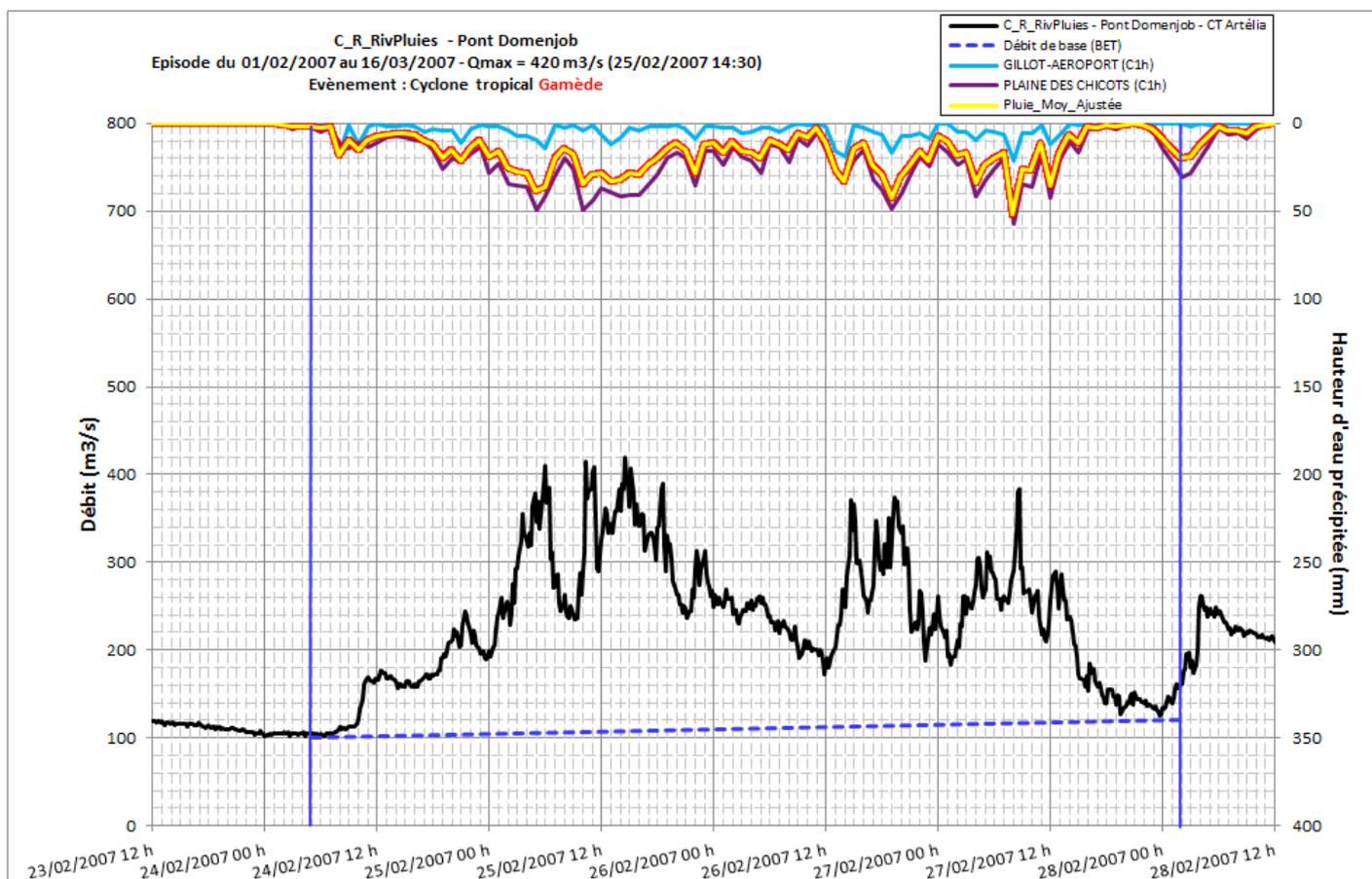
Evenement du 24/02/2007 au 28/02/2007		
Volume écoulé (m ³)	Volume écoulé (m ³) -20%	Volume écoulé (m ³) +20%
43 135 130 m ³ =>1 107 mm	34 508 104 m ³ =>886 mm	51 762 156 m ³ =>1 329 mm
Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)
80 352 220 m ³ =>2 063 mm	80 352 220 m ³ =>2 063 mm	80 352 220 m ³ =>2 063 mm
Contribution	Contribution	Contribution
54%	43%	64%

Illustration 9: Tableau issu du rapport BET

4.2.1.2 - Approche CVH 1

Cette approche consiste à reprendre la période d'étude choisie par le BET en utilisant toutefois la pluie moyenne ajustée définie au § 4.1.2.2 et rappelée ci-après : $Pluie\ moyenne\ ajustée = Pluie\ moyenne\ arithmétique * 1,31$

La période d'étude ainsi fixée, en reprenant les calculs sur la base d'une pluie moyenne ajustée et en conservant le débit de base initial, on obtient, par cette approche CVH 1, un taux de saturation de 68% supérieur au résultat du BET.



Evenement du 24/02/2007 05h au 28/02/2007 02h (GAMEDE)		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)
42 304 069 m³ =>1 086 mm	33 843 255 m³ =>869 mm	50 764 883 m³ =>1 303 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
62 502 461 m³ =>1 605 mm	62 502 461 m³ =>1 605 mm	62 502 461 m³ =>1 605 mm
Contribution	Contribution	Contribution
68%	54%	81%

Illustration 10: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

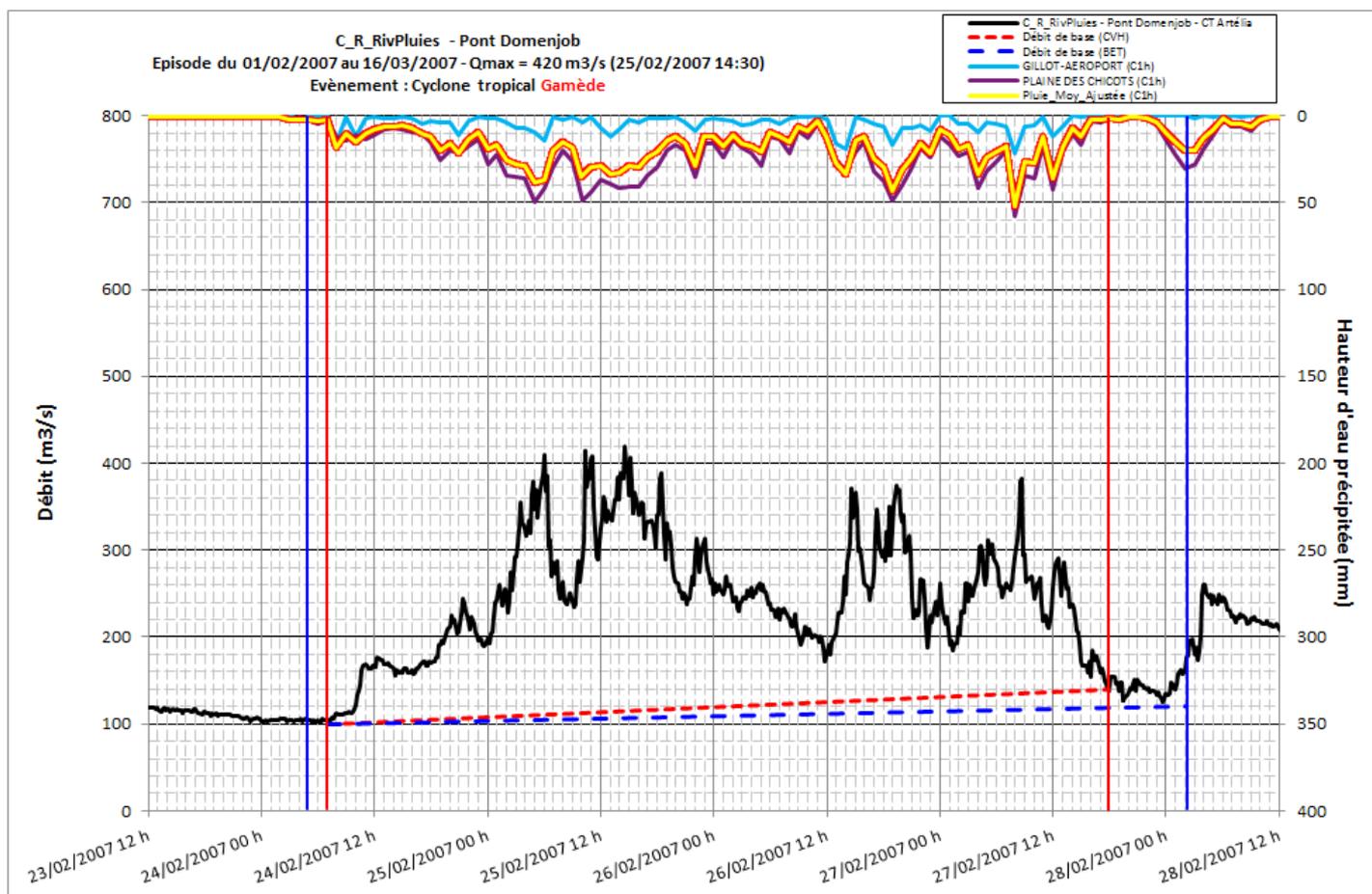
Volume_écoulé (base+ruisselé)	Volume de base	Volume ruisselé	Pluies	
79 132 069	36 828 000 m3	42 304 069 m3	Gillot	386 mm
			Montauban	
			Plaine des Fougères	
			Plaine des Chicots	2 063 mm
			Pluie Moyenne arithmétique	1 225 mm
				47 711 802 m3
			Pluie Moyenne ajustée	1 605 mm
				62 502 461 m3
				Cr= 89%
				Cr= 68%

Illustration 11: Taux de saturation en utilisant la moyenne ajustée sur borne d'étude initiale (BET)

4.2.1.3 - Approche CVH 2

Cette approche consiste choisir une période d'étude choisie centrée sur le pic de crues en utilisant la pluie moyenne ajustée.

Cette approche CVH 2 conduit, pour cet événement, à un taux de saturation de 64%, nettement supérieur à celui du BET (54%).



Volume écoulé 74 290 153 m³ **Volume de base** 35 856 000 m³ **Volume ruisselé** 38 434 153 m³

Début: 24/02/2007 07:00 100 m³/s
Fin : 27/02/2007 18:00 140 m³/s

Pluies		
Gillot	386 mm	
Montauban		
Plaine des Fougères		
Plaine des Chicots	1 977 mm	
Pluie Moyenne arithmétique	1 182 mm	Cr= 84%
Pluie Moyenne ajustée	1 548 mm	Cr= 64%
	60 293 100 m ³	

Illustration 12: Taux de saturation en utilisant la pluie moyenne ajustée sur borne d'étude centrée

Evenement du 24/02/2007 07h au 27/02/2007 18h (GAMEDE) – Approche CVH (2)		
Volume écoulé (m ³)	Volume écoulé (m ³) -20%	Volume écoulé (m ³) +20%
38 434 153 m ³ =>987 mm	30 747 322 m ³ =>789 mm	46 120 984 m ³ =>1 184 mm
Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)
60 293 100 m ³ =>1 548 mm	60 293 100 m ³ =>1 548 mm	60 293 100 m ³ =>1 548 mm
Contribution	Contribution	Contribution
64%	51%	76%

Illustration 13: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

4.2.2 - Événement du 27 au 31 janvier 2011 – Fortes pluies

4.2.2.1 - Approche BET

Pour cet événement, le BE n'a pas indiqué de manière précise la période d'étude (dates et heures de début et de fin).

Le BE a évalué le volume précipité à 636 mm. En cumulant la moyenne arithmétique des 3 pluviomètres, on peut par tâtonnement évaluer la période d'étude. La pluie moyenne arithmétique sur la période du **28/01/2011 à 23h au 31/01/2011 00h** est évaluée à 638 mm. Ainsi on considérera cette période comme celle de l'étude.

Le BET a évalué, pour cet événement, un taux de contribution de 25 %.

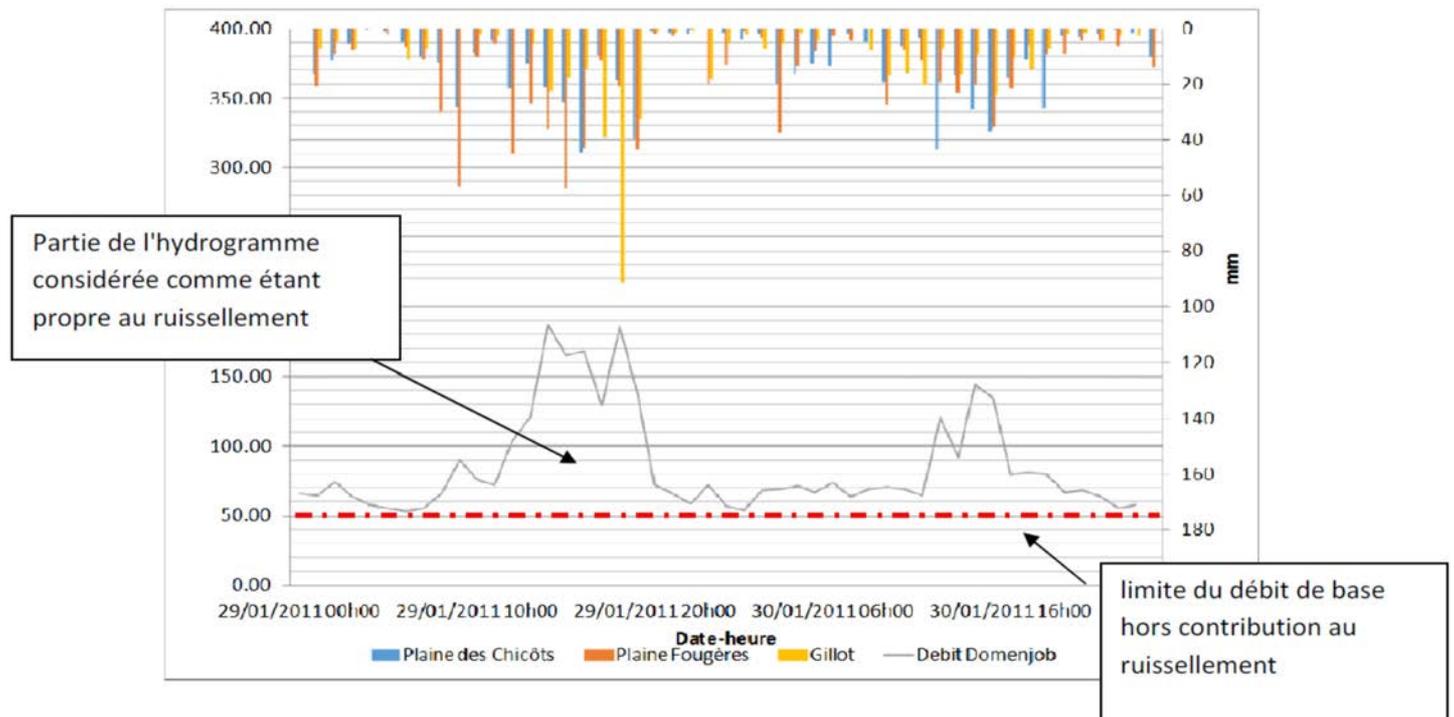


Illustration 14: Graphique issu du rapport BET

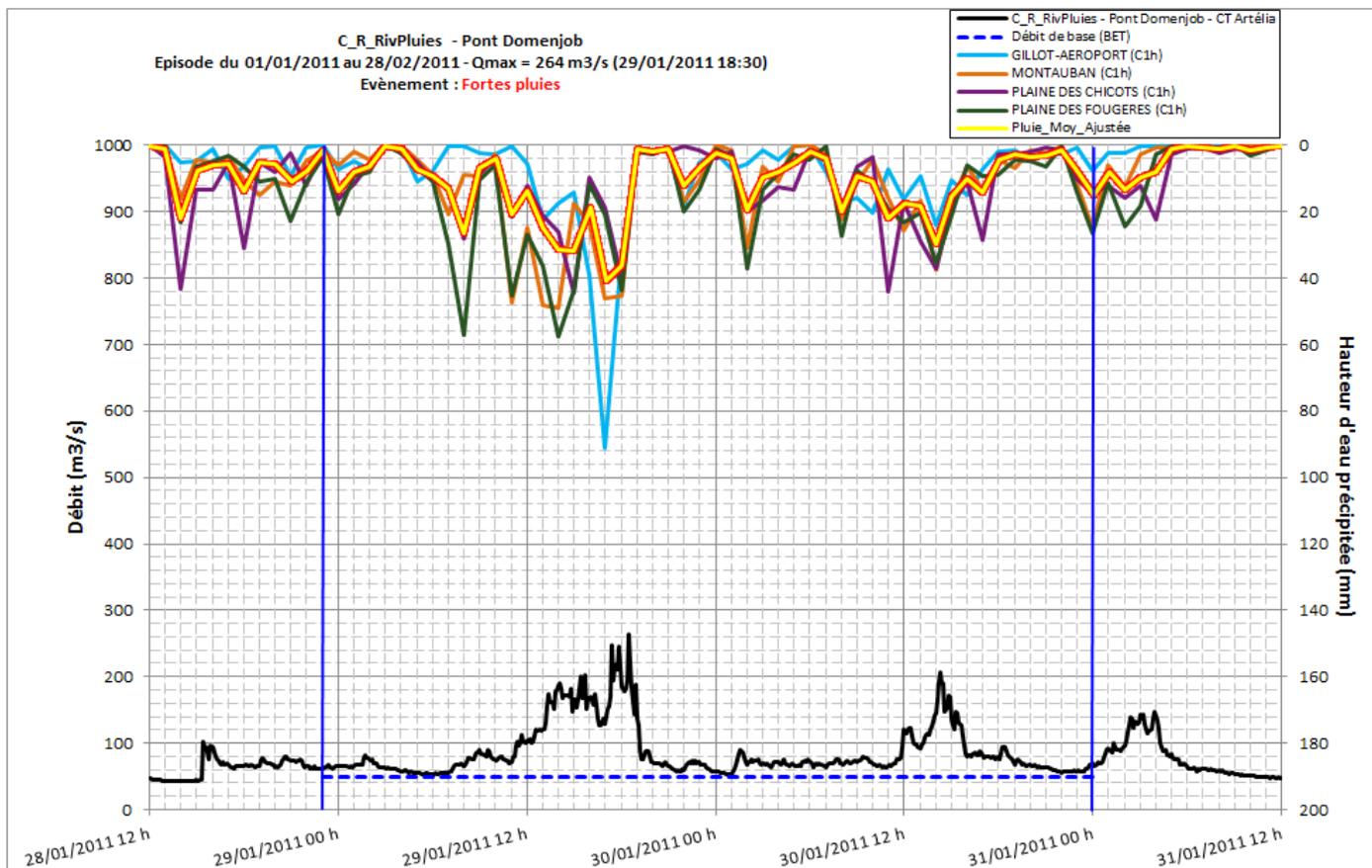
Evenement du 27 au 30/01/2011		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)
6 121 582 m ³ =>157 mm	4 897 266 m ³ =>126 mm	7 345 899 m ³ =>189 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
24 776 827 m ³ =>636 mm	24 776 827 m ³ =>636 mm	24 776 827 m ³ =>636 mm
Contribution	Contribution	Contribution
25%	20%	30%

Illustration 15: Tableau issu du rapport BET

4.2.2.2 - Approche CVH 1

Cette approche consiste à reprendre la période d'étude choisie par le BET en utilisant toutefois la pluie moyenne ajustée définie au § 4.1.2.2 et rappelée ci-après : $Pluie\ moyenne\ ajustée = Pluie\ moyenne\ arithmétique * 1,04$

La période d'étude ainsi fixée, en reprenant les calculs sur la base d'une pluie moyenne ajustée et en conservant le débit de base initial, on obtient, par cette approche CVH 1, un taux de saturation de 26% très proche de la valeur présentée par le BET (25%).



Evenement du 28/01/2011 à 23h au 31/01/2011 00h (FORTES PLUIES) – Approche CVH 1		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³) -20%	Volume écoulé (m³) +20%
6 628 114 m³ =>170 mm	5 302 491 m³ =>136 mm	7 953 737 m³ =>204 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
25 871 109 m³ =>664 mm	25 871 109 m³ =>664 mm	25 871 109 m³ =>664 mm
Contribution	Contribution	Contribution
26%	20%	31%

Illustration 16: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

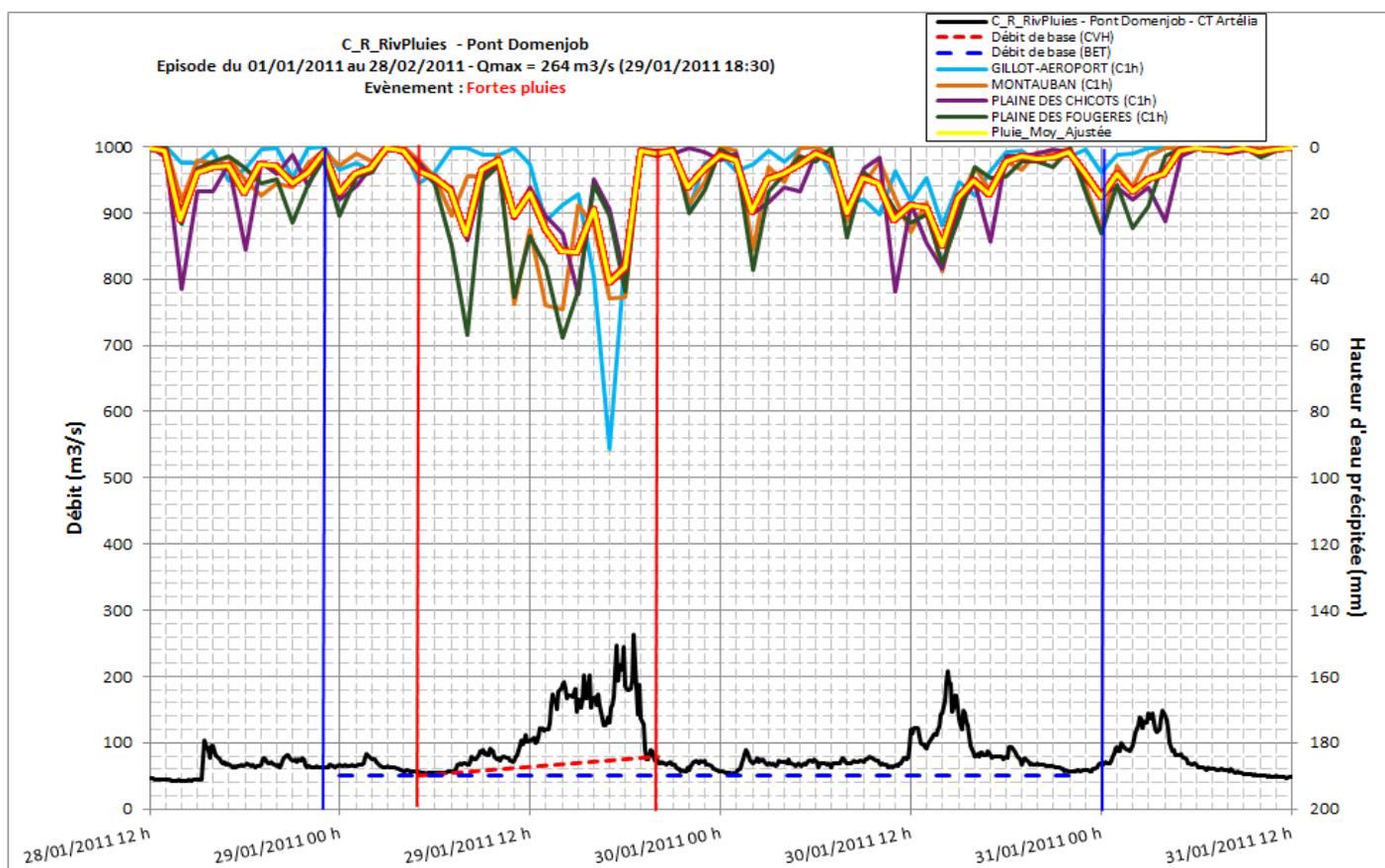
Volume_écoulé	Volume de base	Volume ruisselé	Pluies		
15 448 114 m3	8 820 000 m3	6 628 114 m3	Gillot	487 mm	
	Début: 28/01/2011 23:00 50 m3		Montauban	674 mm	
	Fin : 31/01/2011 00:00 50 m3		Plaine des Fougères	801 mm	
			Plaine des Chicots	628 mm	
			Pluie Moyenne arithmétique	639 mm	
				24 876 067 m3	Cr= 27%
			Pluie Moyenne ajustée	664 mm	Cr= 26%
				25 871 109 m3	

Illustration 17: Taux de saturation en utilisant la moyenne ajustée sur borne d'étude initiale (BET)

4.2.2.3 - Approche CVH 2

Cette approche consiste choisir une période d'étude choisie centrée sur le pic de crues en utilisant la pluie moyenne ajustée.

Cette approche conduit, pour cet événement, à un taux de contribution de 22 %, légèrement inférieur à celui du BET (25%).



Evenement du 29/01/2011 à 05h au 29/01/2011 20h (FORTES PLUIES) – Approche CVH 2		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³) -20%	Volume écoulé (m³) +20%
2 738 227 m³ =>70 mm	2 190 582 m³ =>56 mm	3 285 872 m³ =>84 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
12 184 806 m³ =>313 mm	12 184 806 m³ =>313 mm	12 184 806 m³ =>313 mm
Contribution	Contribution	Contribution
22%	18%	27%

Illustration 18: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

Volume_écoulé	Volume de base	Volume ruisselé	Pluies		
6 248 227 m³	3 510 000 m³	2 738 227 m³	Gillot	239 mm	
	Début: 29/01/2011 05-00	50 m³/s	Montauban	355 mm	
	Fin: 29/01/2011 20-00	80 m³/s	Plaine des Fougères	404 mm	
			Plaine des Chicots	260 mm	
			Pluie Moyenne arithmétique	301 mm	
				11 716 160 m³	Cr= 23%
			Pluie Moyenne ajustée	313 mm	Cr= 22%
				12 184 806 m³	

Illustration 19: Taux de saturation en utilisant la pluie moyenne ajustée sur borne d'étude centrée

4.2.3 - Événement du 02 au 04 janvier 2013 – Cyclone DUMILE

4.2.3.1 - Approche BET

Pour cet événement, le BE n'a pas indiqué de manière précise la période d'étude (dates et heures de début et de fin).

Le BE a évalué le volume précipité à 250 mm. En cumulant la moyenne arithmétique des 3 pluviomètres, on peut par tâtonnement évaluer la période d'étude. La pluie moyenne arithmétique sur la période du **02/01/2011 à 23h au 04/01/2011 00h** est évaluée à 255 mm. Ainsi on considérera cette période comme celle de l'étude.

Le BET a évalué ,pour cet événement, un taux de contribution de 42 %.

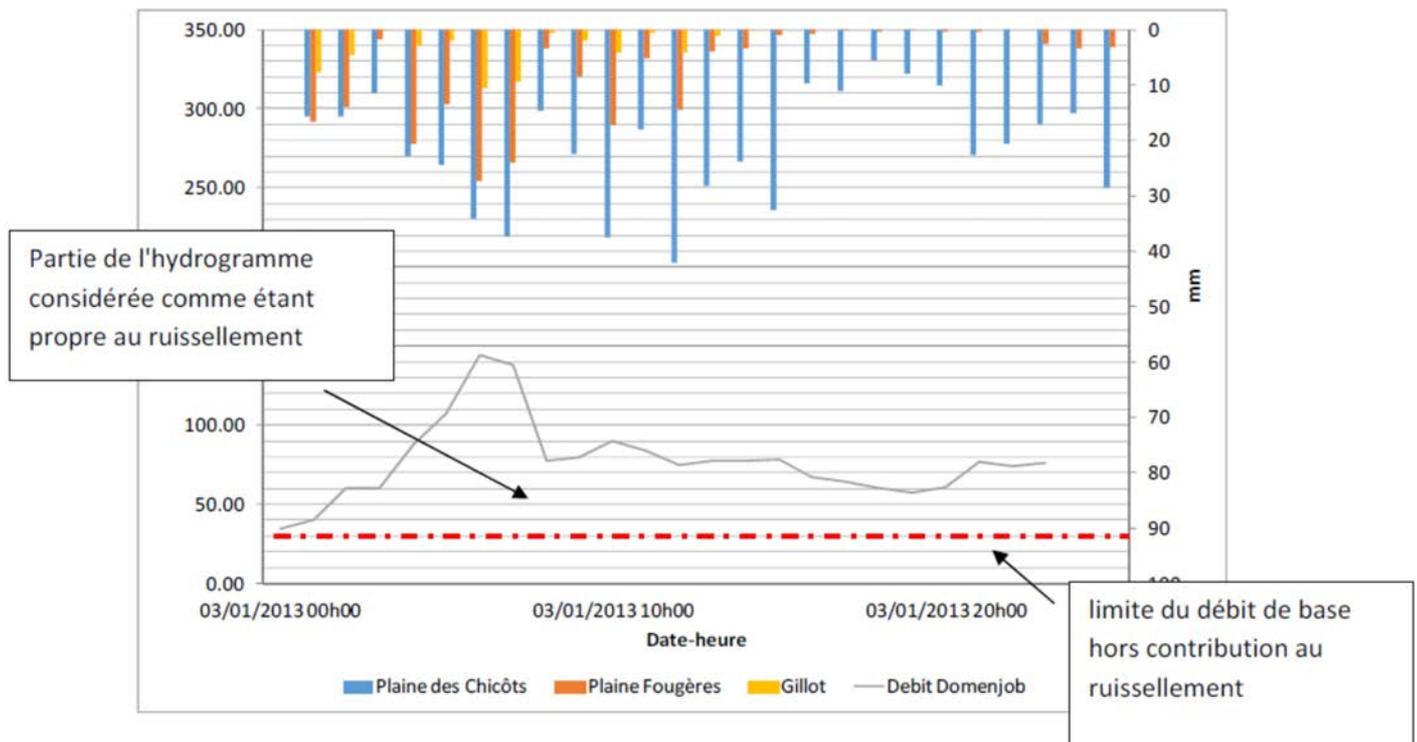


Illustration 20: Graphique issu du rapport BET

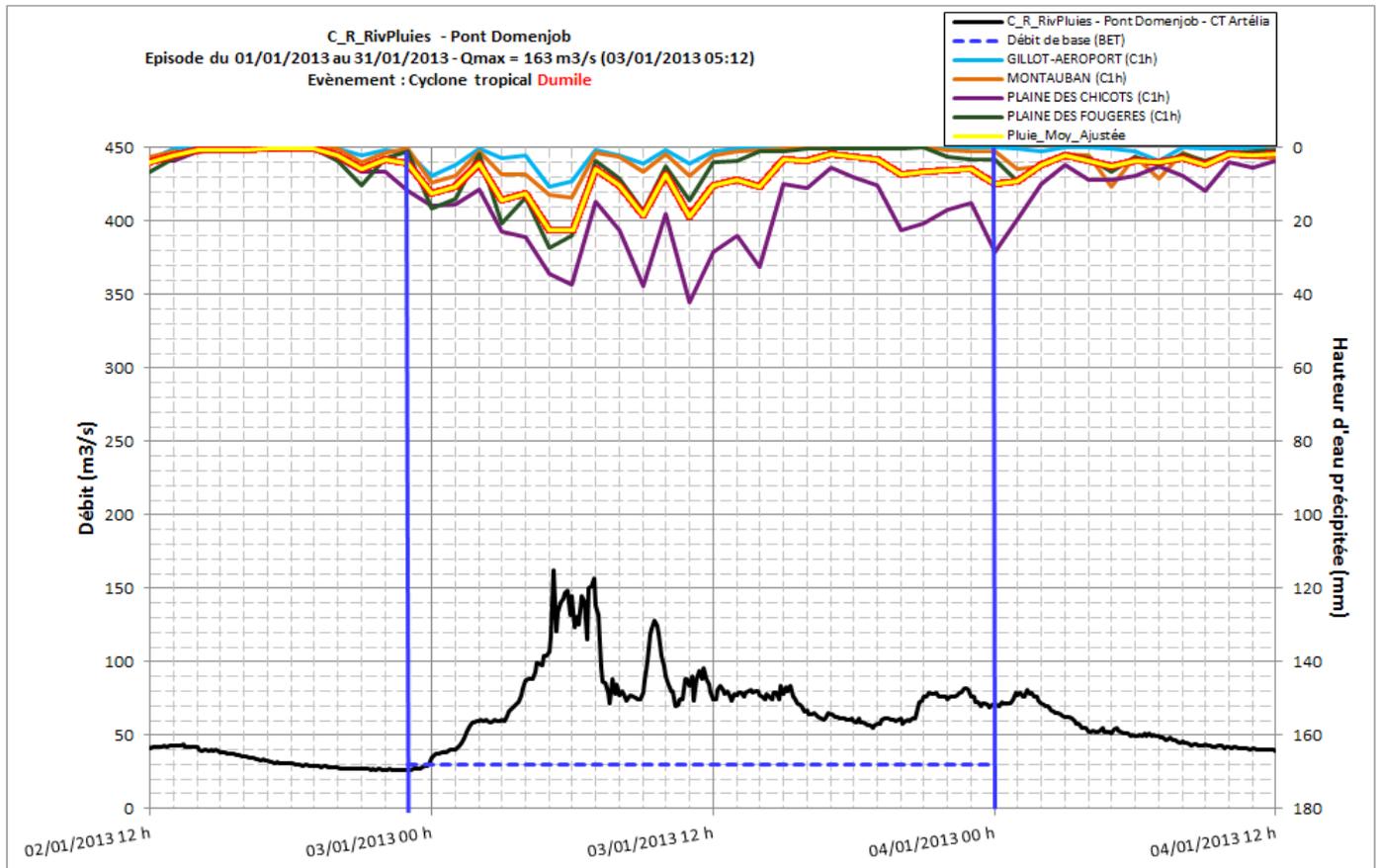
Evenement du 02 au 04/01/2013 (DUMILE)		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)
4 050 612 m³ =>104 mm	3 240 490 m³ =>83 mm	4 860 735 m³ =>125 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
9 735 080 m³ =>250 mm	9 735 080 m³ =>250 mm	9 735 080 m³ =>250 mm
Contribution	Contribution	Contribution
42%	33%	50%

Illustration 21: Tableau issu du rapport BET

4.2.3.2 - Approche CVH 1

Cette approche consiste à reprendre la période d'étude choisie par le BET en utilisant toutefois la pluie moyenne ajustée définie au § 4.1.2.2 et rappelée ci-après: $Pluie\ moyenne\ ajustée = Pluie\ moyenne\ arithmétique * 0,93$

La période d'étude ainsi fixée, en reprenant les calculs sur la base d'une pluie moyenne ajustée et en conservant le débit de base initial, on obtient, par cette approche CVH 1, un taux de saturation de 45% très proche de la valeur présentée par le BET (42%).



Evenement du 02/01/2013 à 23h au 04/01/2013 00h – Approche CVH 1		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³) -20%	Volume écoulé (m³) +20%
4 154 454 m³ =>107 mm	3 323 563 m³ =>85 mm	4 985 345 m³ =>128 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
9 243 030 m³ =>237 mm	9 243 030 m³ =>237 mm	9 243 030 m³ =>237 mm
Contribution	Contribution	Contribution
45%	36%	54%

Illustration 22: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

Volume_écoulé	Volume de base	Volume ruisselé
6 854 454 m³	2 700 000 m³	4 154 454 m³
	Début: 02/01/2013 23:00	30 m³
	Fin : 04/01/2013 00:00	30 m³

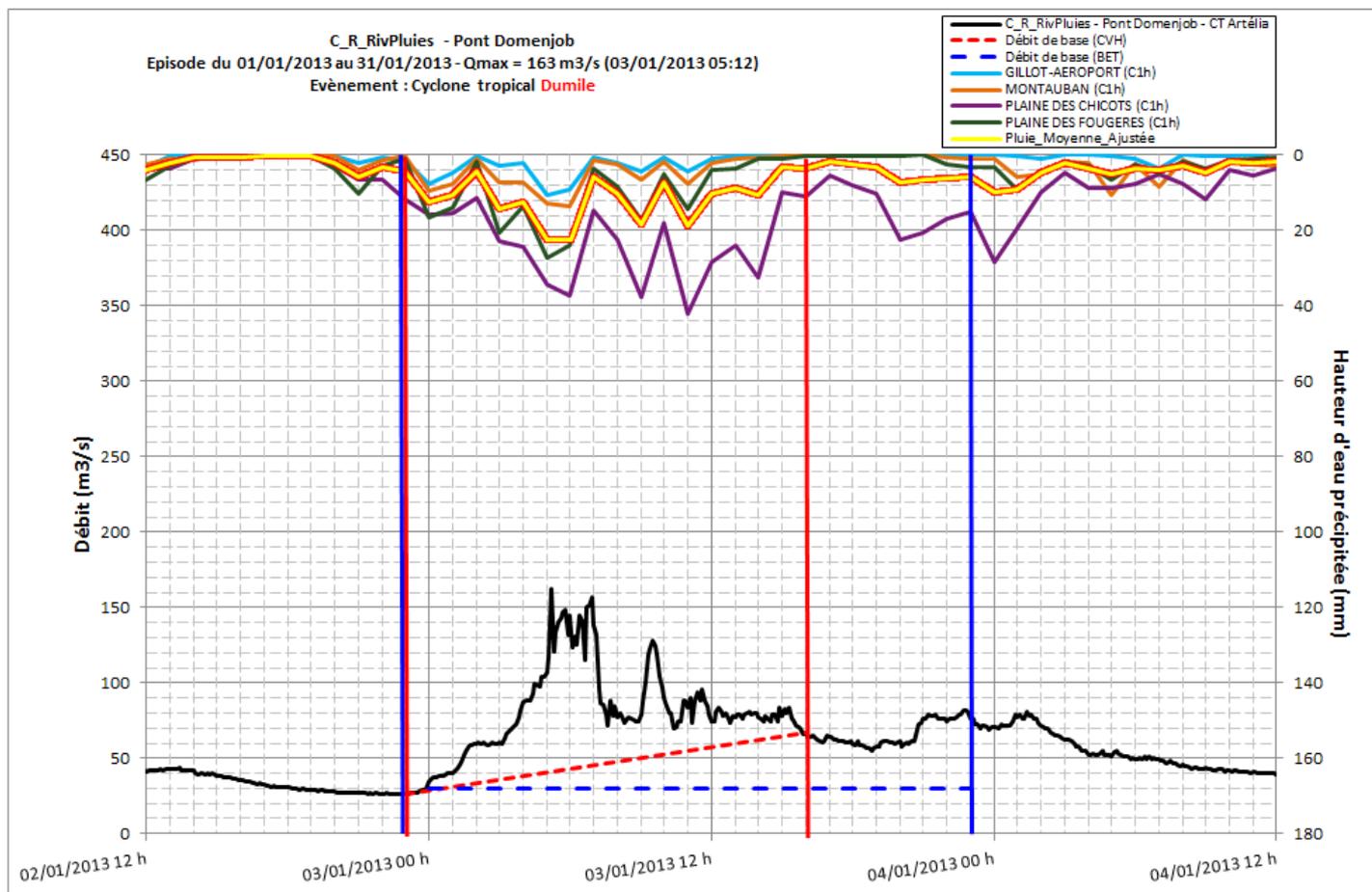
Pluies		
Gillot	50 mm	
Montauban	85 mm	
Plaine des Fougères	186 mm	
Plaine des Chicots	529 mm	
Pluie Moyenne arithmétique	255 mm	Cr= 42%
	9 938 742 m³	
Pluie Moyenne ajustée	237 mm	Cr= 45%
	9 243 030 m³	

Illustration 23: Taux de saturation en utilisant la moyenne ajustée sur borne d'étude initiale (BET)

4.2.3.3 - Approche CVH 2

Cette approche consiste choisir une période d'étude choisie centrée sur le pic de crues en utilisant la pluie moyenne ajustée.

Cette approche CVH 2 conduit, pour cet événement, à un taux de contribution de 32 %, nettement inférieur à celui du BET (42%).



Volume_écoulé : 4 930 056 m³
 Volume de base : 2 484 000 m³
 Volume ruisselé : 2 446 056 m³

Début: 02/01/2013 23:00 → 26 m³/s
 Fin: 03/01/2013 16:00 → 67 m³/s

	Pluies	
Gillot	51 mm	
Montauban	82 mm	
Plaine des Fougères	176 mm	
Plaine des Chicots	402 mm	
Pluie Moyenne arithmétique	210 mm	Cr= 30%
	8 165 218 m ³	
Pluie Moyenne ajustée	195 mm	Cr= 32%
	7 593 653 m ³	

Illustration 24: Taux de saturation en utilisant la pluie moyenne ajustée sur borne d'étude centrée

Evenement du 02/01/2013 à 23h au 03/01/2013 16h (DUMILE) – Approche CVH 2		
Volume écoulé (m ³)	Volume écoulé (m ³) -20%	Volume écoulé (m ³) +20%
2 446 056 m ³ =>63 mm	1 956 845 m ³ =>50 mm	2 935 267 m ³ =>75 mm
Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)
7 593 653 m ³ =>195 mm	7 593 653 m ³ =>195 mm	7 593 653 m ³ =>195 mm
Contribution	Contribution	Contribution
32%	26%	39%

Illustration 25: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

4.2.4 - Événement du 1^{er} au 3 janvier 2014 – Cyclone BEJISA

4.2.4.1 - Approche BET

Pour cet événement, le BE n'a pas indiqué de manière précise la période d'étude (dates et heures de début et de fin).

Le BE a évalué le volume précipité à 541 mm. En cumulant la moyenne arithmétique des 3 pluviomètres, on peut par tâtonnement évaluer la période d'étude. La pluie moyenne arithmétique sur la période du **02/01/2014 à 00h au 03/01/2014 14h** est évaluée à 541 mm. Ainsi on considérera cette période comme celle de l'étude.

Le BET a évalué, pour cet événement, un taux de contribution de 46 %.

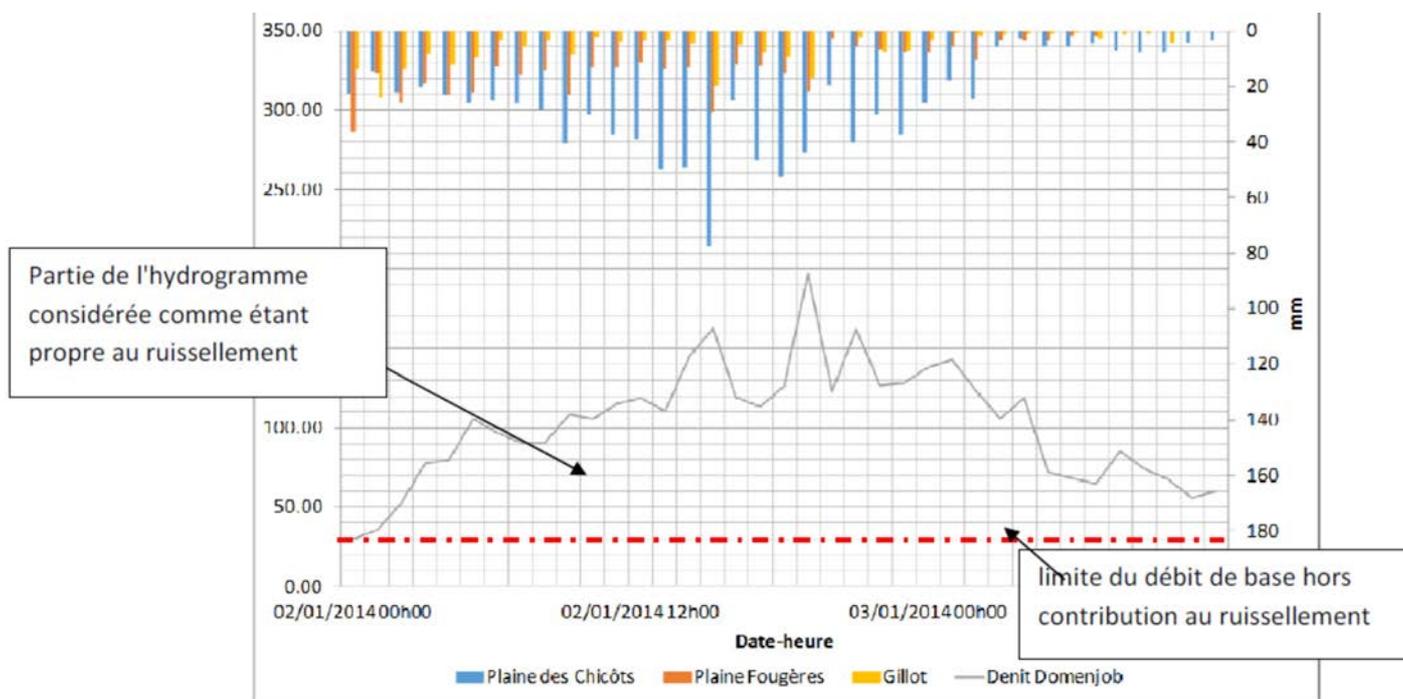


Illustration 26: Graphique issu du rapport BET

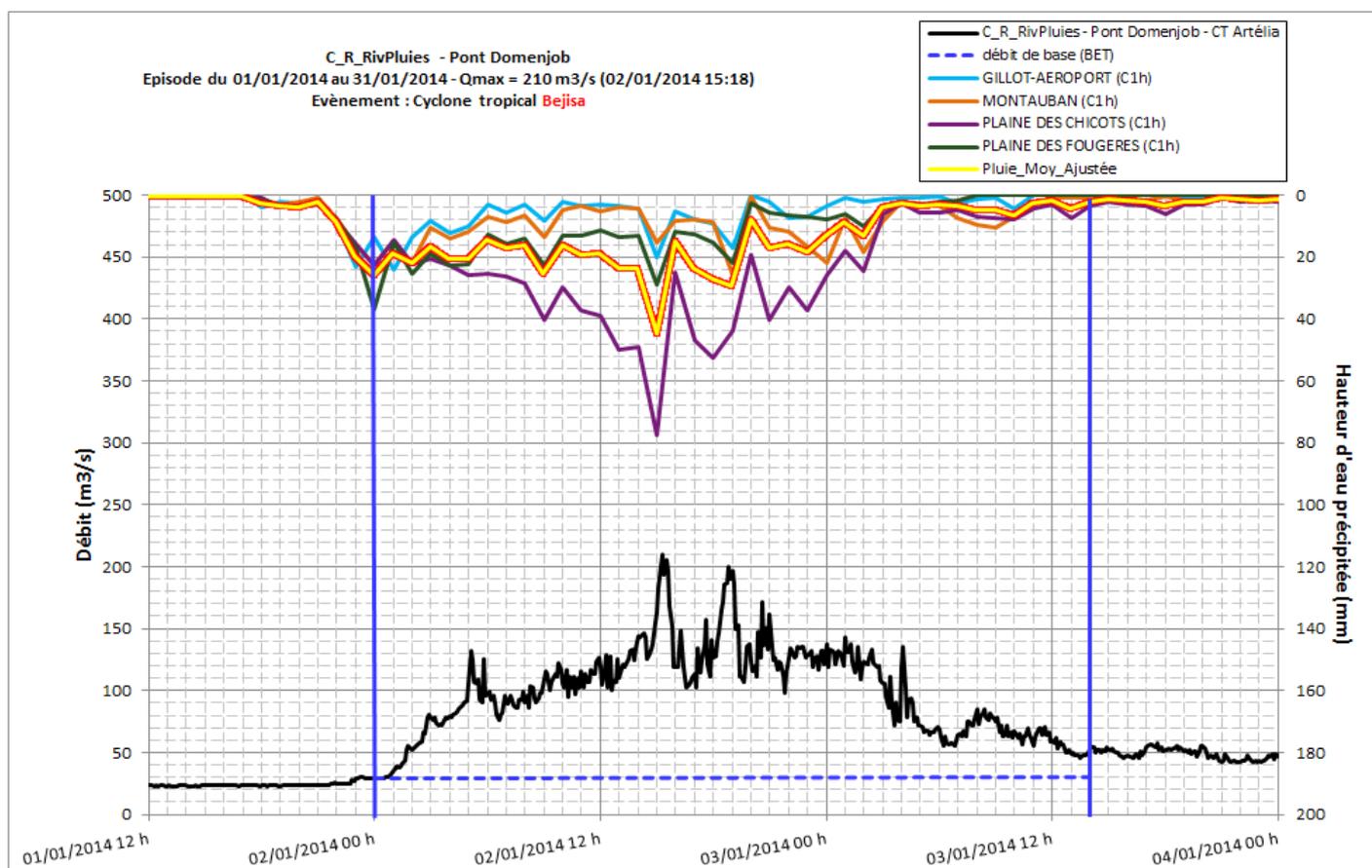
Evenement du 01 au 03/01/2014 (BEJISA)		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³)
9 673 631 m ³ =>248 mm	7 738 904 m ³ =>199 mm	11 608 357 m ³ =>298 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
21 060 833 m ³ =>541 mm	21 060 833 m ³ =>541 mm	21 060 833 m ³ =>541 mm
Contribution	Contribution	Contribution
46%	37%	55%

Illustration 27: Tableau issu du rapport BET

4.2.4.2 - Approche CVH 1

Cette approche consiste à reprendre la période d'étude choisie par le BET en utilisant toutefois la pluie moyenne ajustée définie au § 4.1.2.2 et rappelée ci-après : $Pluie\ moyenne\ ajustée = Pluie\ moyenne\ arithmétique * 1,05$

La période d'étude ainsi fixée, en reprenant les calculs sur la base d'une pluie moyenne ajustée et en conservant le débit de base initial, on obtient, par cette approche CVH 1, un taux de saturation de 42% très proche de la valeur présentée par le BET (46%).



Volume_écoulé	Volume de base	Volume ruisselé	Pluies		
13 572 323 m³	4 082 447 m³	9 489 876 m³	Gillot	203 mm	
	Début: 02/01/2014 00:00 30 m³		Montauban	341 mm	
	Fin : 03/01/2014 14:00 30 m³		Plaine des Fougères	385 mm	
			Plaine des Chicots	938 mm	
			Pluie Moyenne arithmétique	509 mm	
				19 815 163 m³	Cr= 48%
			Pluie Moyenne ajustée	20 805 921 mm	Cr= 43%
				21 846 217 m³	

Illustration 28: Taux de saturation en utilisant la pluie moyenne ajustée sur borne d'étude initiale (BET)

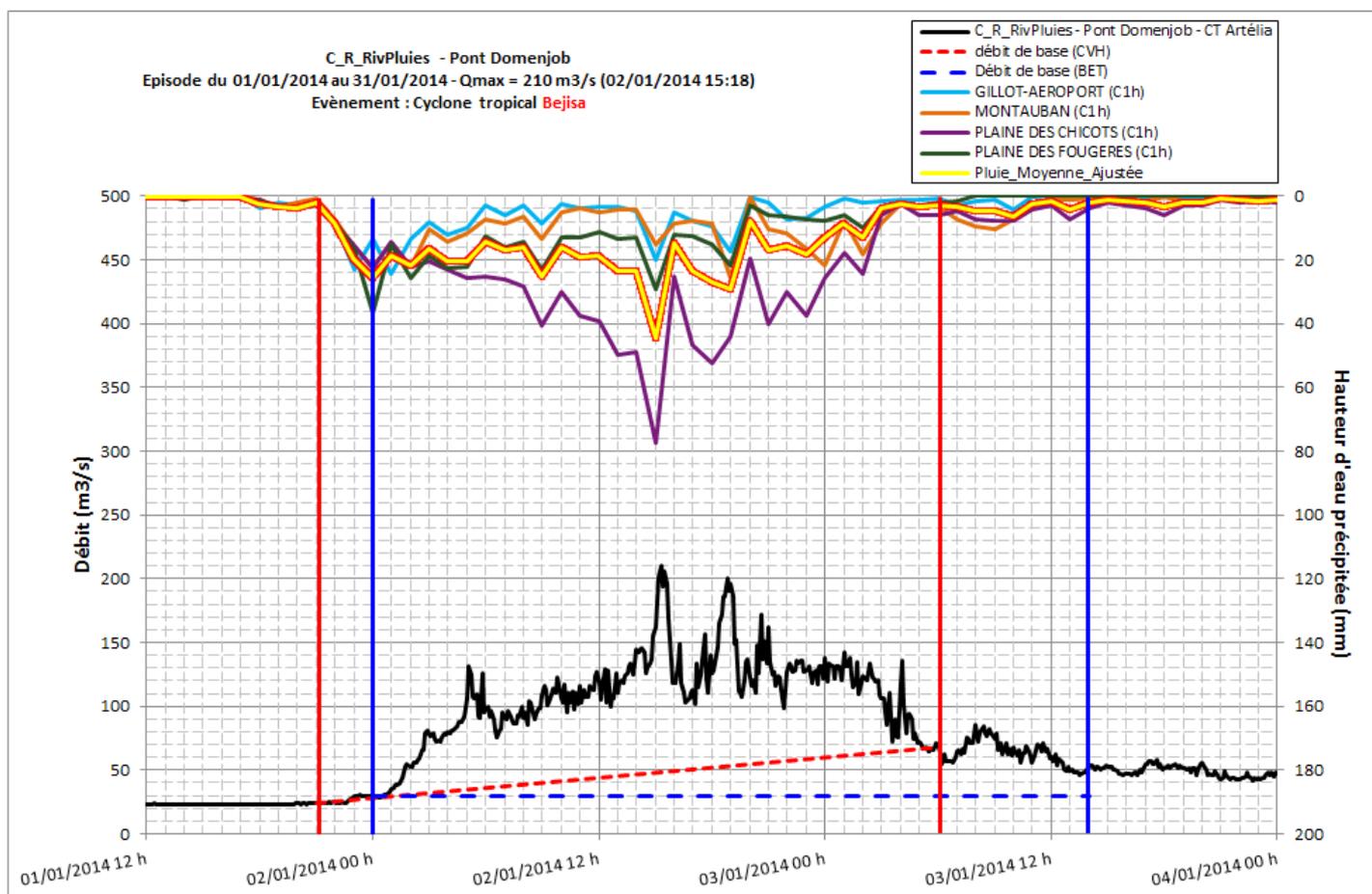
Evenement du 02/01/2014 à 00h au 03/01/2014 à 14h (BEJISA) – Approche CVH 1		
Volume écoulé (m³)	Volume écoulé (m³) -20%	Volume écoulé (m³) +20%
9 673 631 m³ =>248 mm	7 738 904 m³ =>199 mm	11 608 357 m³ =>298 mm
Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)	Volume précipité (m³)
23 001 230 m³ =>591 mm	23 001 230 m³ =>591 mm	23 001 230 m³ =>591 mm
Contribution	Contribution	Contribution
42%	34%	50%

Illustration 29: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

4.2.4.3 - Approche CVH 2

Cette approche consiste choisir une période d'étude choisie centrée sur le pic de crues en utilisant la pluie moyenne ajustée.

Cette approche CVH 2 conduit, pour cet événement, à un taux de saturation de 37%, nettement inférieur à celui du BET (46%).



Volume_écoulé	Volume de base	Volume ruisselé
12 028 669 m ³	3 888 000 m ³	8 140 669 m ³
	Début : 01/01/2014 21:00 24 m ³ /s	
	Fin : 03/01/2014 06:00 68 m ³ /s	

Pluies		
Gillot	238 mm	
Montauban	347 mm	
Plaine des Fougères	445 mm	
Plaine des Chicots	939 mm	
Pluie Moyenne arithmétique	540 mm	Cr= 39%
	21 052 475 m ³	
Pluie Moyenne ajustée	568 mm	Cr= 37%
	22 105 099 m ³	

Illustration 30: Taux de saturation en utilisant la pluie moyenne ajustée sur borne d'étude centrée

Evenement du 01/01/2014 à 21h au 03/01/2014 à 06h (BEJISA) – Approche CVH 2		
Volume écoulé (m ³)	Volume écoulé (m ³) -20%	Volume écoulé (m ³) +20%
8 140 669 m ³ =>209 mm	7 738 904 m ³ =>199 mm	11 608 357 m ³ =>298 mm
Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)	Volume précipité (m ³)
22 105 099 m ³ =>568 mm	23 001 230 m ³ =>591 mm	23 001 230 m ³ =>591 mm
Contribution	Contribution	Contribution
37%	34%	50%

Illustration 31: Taux de saturation avec ses bornes d'incertitude

4.3 - BILAN DU CALCUL DU TAUX DE SATURATION

Le tableau suivant récapitule les taux de saturation par événement, calculés :

- sur la base de pluie moyenne arithmétique et sur la période définie par le BET (Approche BET)
- sur la base de pluie moyenne ajustée et sur la période d'étude définie par le BET (Approche CVH 1)
- sur la base de pluie moyenne ajustée et sur la période définie par la CVH (Approche CVH 2)

Taux de saturation	Du 24 au 27 février 2007 Gamède	Du 27 au 31 janvier 2011 Fortes pluies	Du 02 au 04 janvier 2013 Dumile	Du 01 au 03 janvier 2014 Béjisa
Approche BET	54%	25%	42%	46%
Approche CVH 1	68%	26%	45%	42%
Approche CVH 2	64%	22%	32%	37%

Illustration 32: Taux de saturation par événement et selon les 3 approches

D'après le tableau récapitulatif ci-dessus, à l'exception de l'épisode GAMEDE, l'approche BET et CVH 1 donnent des résultats proches en raison de la faible différence entre les pluies moyennes arithmétique et ajustée.

L'approche CVH 2 donne des résultats globalement plus faible que ceux de l'approche BET.

4.4 - ÉVALUATION DE LA SATURATION DU BASSIN SAT_100

Le BET propose d'extrapolation le taux de saturation pour une pluie centennale en utilisant la formule suivante:

$$Sat_{100} = \frac{L_{10} * Sat_{10} + L_{100} - L_{10}}{L_{100}}$$

Il s'agit d'une hypothèse du type GRADEX, formulée un peu différemment. En réorganisant la formule on obtient :
 $L_{100} * S_{100} = L_{10} * Sat_{10} + L_{100} - L_{10}$

Soit: Volume ruisselé centennal = Volume ruisselé décennal + toute la pluie au-delà de la décennale.

Dans la formule du calcul de la SAT100, le BET considère qu'au delà du temps de retour décennal toute la pluie ruisselle.

Selon le BET, bien qu'il semble très peu probable que le bassin versant non saturé pour un événement réel de temps de retour X ans (10 ans par exemple), se sature automatiquement à 100% lorsque l'on dépasse cette occurrence, cette hypothèse est aggravante et donc sécuritaire.

Cette hypothèse rejoint celle du Gradex classique qui suppose, une fois le pivot déterminé dans l'analyse des pluies selon la loi de Gumbel, que l'accroissement des débits est identique à l'accroissement des pluies et donc qu'il y a un transfert direct de l'un vers l'autre.

Selon le BET, cette hypothèse n'est donc pas en lien avec un principe physique, car il n'y a certainement pas de réponse instantanée de la saturation des sols après un seuil de pluie. Mais en l'absence de données plus fines, le BET préfère supposer cette situation qui reste défavorable.

De plus, la formule initiale fait apparaître Sat10 comme étant la saturation sur laquelle le BET s'appuie pour déterminer Sat100, mais au final le BET s'appuiera sur le temps de retour issu de l'analyse des hydrogrammes qui peut alors être une occurrence 2 ou 5 ans. La formule considérera ainsi dans le calcul de Sat100 qu'au-delà de l'occurrence de calage toute la pluie ruisselle. Ceci est particulièrement aggravant.

Sans plus d'information, le BET préfère se placer du côté des hypothèses pessimistes.

En définitive, le BET estime la saturation Sat100 en utilisant la formule suivante:

$$Sat_{100} = \frac{L_x * Sat_x + L_{100} - L_x}{L_{100}}$$

x = occurrence des évènements identifié dans l'analyse des hydrogrammes prise égale comme l'occurrence de calage au-delà de laquelle tout le bassin versant est saturé (hypothèse pessimiste).

Lx_{tc} = lame d'eau de temps de retour X années sur le temps de concentration

L100_{tc} = lame d'eau de temps de retour 100 ans sur le temps de concentration

Sat_x = saturation estimée par analyse des hydrogrammes

La CVH estime que les méthodes d'extrapolation de type GRADEX sont couramment employées et reconnues en hydrologie. Elles ont pour particularité de se placer dans des conditions plutôt défavorables ce qui représente une bonne approche.

Le BE a calculé Sat100 en fonction des calages sur chacun des 4 événements historiques (2007-2011-2013 et 2014) et se basant sur les lames d'eau statistiques de chaque station.

Au final, le BET a moyenné les résultats des taux de saturation par pluviomètre pour en déduire une valeur de la saturation du bassin versant pour l'occurrence centennale.

La CVH a d'une part, procédé à la vérification des calculs du BET et d'autre part, injecté dans les calculs les résultats issus de l'approche CVH 1 et 2.

Station Plaine des Chicots :

Station utilisée	Approche BET						Approche CVH (1)						Approche CVH (2)					
	Plaine Chicôts						Plaine Chicôts						Plaine Chicôts					
	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Occurrence de la lame d'eau pour 3h de pluie (année)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Lame d'eau (mm/3h) - Données SHYPRE Pluies	109	172	234	290	362	415	109	172	234	290	362	415	109	172	234	290	362	415
Evènement de calage	2007	2011	2013	2014			2007	2011	2013	2014			2007	2011	2013	2014		
Occurrence de calage issue de l'analyse des hydrogrammes	2ans- 5ans	<2 ans	<2 ans	5 ans			2ans- 5ans	<2 ans	<2 ans	5 ans			2ans- 5ans	<2 ans	<2 ans	5 ans		
Lx _{tc}	109	109	109	172			109	109	109	172			109	109	109	172		
L100 _{tc}	415	415	415	415			415	415	415	415			415	415	415	415		
Sat _x	54%	25%	42%	46%			68%	26%	45%	42%			64%	22%	32%	37%		
$Sat_{100} = \frac{L_x * Sat_x + L_{100} - L_x}{L_{100}}$	88%	80%	85%	78%			92%	80%	86%	76%			90%	80%	82%	74%		

Exemple de calcul pour GAMEDE (2007) en prenant en compte la station Plaine des Chicots :

Pendant GAMEDE, le cumul pluviométrique à la station pour la station Plaine des Chicots sur 3h (ie Tc) a dépassé la période de retour 2 ans.

Le cumul 3h SHYPRE de période de retour 2 ans pour la station Plaine des Chicots vaut 109 mm.

Le cumul 3h SHYPRE de période de retour 100 ans pour la station Plaine des Chicots vaut 415 mm.

On extrapole ainsi le Sat100 par la formule suivante :

$$Sat_{100} = \frac{109 * 54\% + 415 - 109}{415} = 88\%$$

$$\text{Calcul pour Fortes Pluies de 2011: } Sat_{100} = \frac{109 * 25\% + 415 - 109}{415} = 80\%$$

$$\text{Calcul pour DUMILE (2013): } Sat_{100} = \frac{109 * 42\% + 415 - 109}{415} = 80\%$$

Station Plaine des Fougères :

Station utilisée	Approche BET						Approche CVH (1)						Approche CVH (2)							
	Plaine des Fougères						Plaine des Fougères						Plaine des Fougères							
Occurrence de la lame d'eau pour 3h de pluie (année)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100		
Lame d'eau (mm/3h) - Données SHYPRE Pluies	122	171	215	260	319	364	122	171	215	260	319	364	122	171	215	260	319	364		
Evènement de calage	2007		2011		2013		2007		2011		2013		2007		2011		2013		2014	
Occurrence de calage issue de l'analyse des hydrogrammes	∅		2ans-5ans		<2ans		∅		2ans-5ans		<2ans		∅		2ans-5ans		<2ans		<2ans	
Lx _{tc}	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122
L100 _{tc}	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364	364
Sat _x	54%	25%	42%	46%			68%	26%	45%	42%			64%	22%	32%	37%				
$Sat_{100} = \frac{L_x * Sat_x + L_{100} - L_x}{L_{100}}$	84%	75%	80%	82%			89%	75%	82%	81%			88%	74%	77%	79%				

Station Gillot :

Station utilisée	Approche BET						Approche CVH (1)						Approche CVH (2)							
	Gillot						Gillot						Gillot							
Occurrence de la lame d'eau pour 3h de pluie (année)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100		
Lame d'eau (mm/3h) - Données SHYPRE Pluies	73	95	112	129	152	171	73	95	112	129	152	171	73	95	112	129	152	171		
Evènement de calage	2007		2011		2013		2007		2011		2013		2007		2011		2013		2014	
Occurrence de calage issue de l'analyse des hydrogrammes	<2ans		~100ans		<2ans		<2ans		~100ans		<2ans		<2ans		<2ans		~100ans		<2ans	
Lx _{tc}	73	171	73	73	73	73	73	171	73	73	73	73	73	171	73	73	73	171	73	73
L100 _{tc}	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
Sat _x	54%	25%	42%	46%			68%	26%	45%	42%			64%	22%	32%	37%				
$Sat_{100} = \frac{L_x * Sat_x + L_{100} - L_x}{L_{100}}$	80%	25%	75%	77%			86%	26%	76%	75%			85%	22%	71%	73%				

Synthèse :

Station utilisée	Approche BET				Approche CVH 1				Approche CVH 2			
	2007	2011	2013	2014	2007	2011	2013	2014	2007	2011	2013	2014
Sat100 de Plaine Chicôts	88%	75%	80%	82%	89%	75%	82%	81%	88%	74%	77%	79%
Sat100 de Plaine des Fougères	84%	75%	80%	82%	89%	75%	82%	81%	88%	74%	77%	79%
Sat100 de Gillot	80%	25%	75%	77%	86%	26%	76%	75%	85%	22%	71%	73%
Moyenne par événement	84%	58%	79%	80%	88%	59%	80%	79%	87%	57%	75%	77%
	81%				82%				80%			

Dans son rapport, le BE estime le Sat100 moyen à 81%. Les calculs opérés par la CVH donnent des résultats très proches de ceux du BET (82% et 80 % suivant respectivement l'approche CVH 1 et 2).

5 - CONCLUSION

Concernant l'hypothèse 1 relative à lame d'eau centennale, la CVH estime que la valeur prise constitue un facteur aggravant qu'il convient de conserver pour la suite de l'expertise. En effet, l'intégration d'un paramètre aggravant dans un modèle est une démarche classique visant à se mettre dans des conditions pessimistes afin d'établir des valeurs plafonds.

Concernant l'hypothèse 2 relative à l'évaluation du taux de saturation centennale, le BET a adopté une formule d'extrapolation dans l'esprit de celle du GRADEX qui conduit à se placer dans des conditions défavorable. Les calculs opérés par la CVH donnent des résultats proches de ceux du BET.

Les hypothèses 1 et 2 constituent ainsi des paramètres aggravants en entrée du modèle hydrologique utilisé par le BET pour le calcul du débit centennal. La démarche est cohérente et, en l'état actuel des connaissances, il n'y a pas matière à la remettre en cause.

Pour ce qui concerne le débit de référence ($Q_{100} = 1\,076$ m³/s à Domenjob), la CVH rappelle qu'il s'agit d'un résultat de modélisation basé sur la méthode MESRI propriété du BET. Il n'appartient donc pas à la CVH d'en faire l'expertise et la critique. Le BET est « maître de l'art » dans ce domaine et dans la mesure où des paramètres aggravants sont pris en entrée du modèle, il n'y a pas matière à remettre en cause les résultats de modélisation obtenus dans l'état actuel des connaissances.

6 - ANNEXES

6.1 - COMPARAISON DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE PLUIE DE BASSIN PAR ÉVÉNEMENT

6.1.1 - Cas de l'événement du 24 au 27 février 2007 – Cyclone GAMEDE

Pour cet événement, Météo France a fourni une carte isohyète sur la période du 24/02/2007 à 07h HL au 27/02/2007 à 7h HL, soit 3 jours de pluies.

La lame d'eau sur cette période est estimée respectivement par la méthode de isohyètes et par la méthode de la moyenne arithmétique (proposée par le BE) à 1 355 mm et 1 033 mm, soit un écart relatif de -24%.

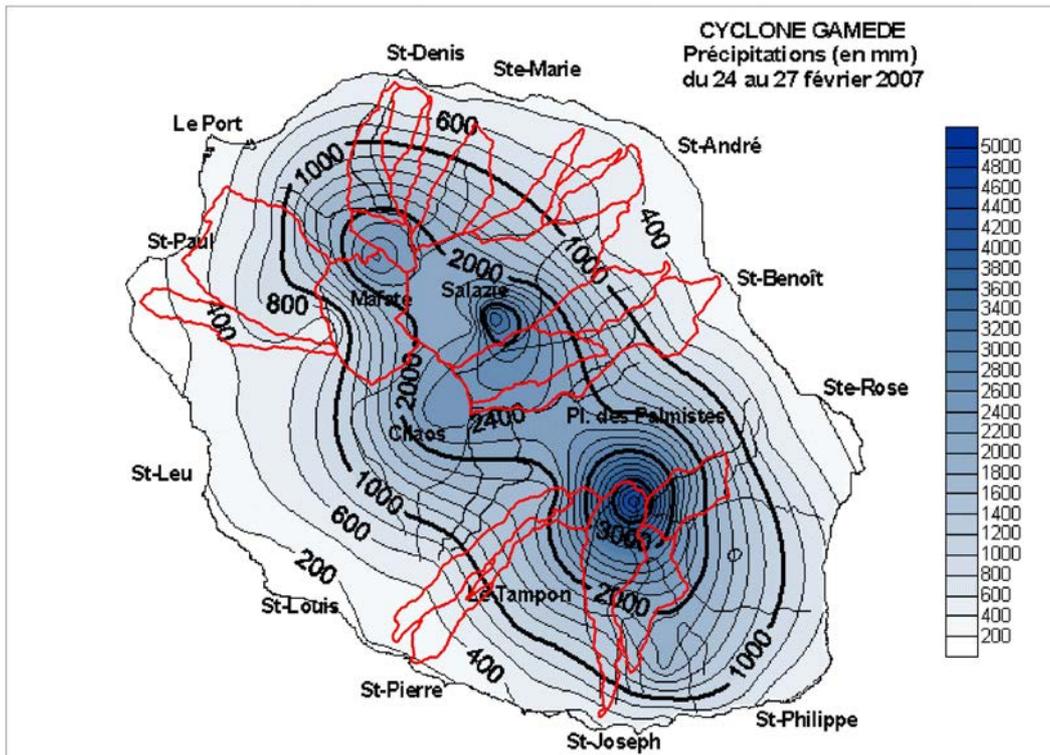


Illustration 33: Carte isohyète de Météo France

$$P_{bv}(\text{Moyenne arithmétique}) = \frac{P_{\text{Plaine des Chicots}} + P_{\text{Gillot - Aéroport}}}{2} = \frac{1734 + 333}{2} = 1033 \text{ mm}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 70\% * P_{\text{Plaine des Chicots}} + 30\% * P_{\text{Gillot - Aéroport}} = 70\% * 1734 + 30\% * 333 = 1314 \text{ mm}$$

	CUMULS_INF (mm)	CUMULS_SUP (mm)	SURFACE_(km²)	% surf / surf total	CUMUL_MOY_(mm)	CRIG (mm)	Pbv_krig (mm)
Pluies - Pont Domenjod - (38.95km²)	400	600	0.1	0.2%	500	1.2	1355
	600	800	3.5	8.9%	700	62.4	
	800	1000	4.8	12.3%	900	111.1	
	1000	1200	6.2	15.9%	1100	174.6	
	1200	1400	6.5	16.7%	1300	216.5	
	1400	1600	6.2	15.9%	1500	238.3	
	1600	1800	5.2	13.3%	1700	226.1	
	1800	2000	4.1	10.5%	1900	199.4	
2000	2200	2.3	6.0%	2100	125.5		
							52 782 074 m³

Illustration 34: Détail du calcul de Pbv par méthode des isohyètes

On en déduit :

$$\text{Coefficient d'ajustement} = \frac{\text{Pluie moyenne krigage}}{\text{Pluie moyenne arithmétique}} = \frac{1355 \text{ mm}}{1033 \text{ mm}} = 1,31$$

6.1.2 - Cas de l'événement du 27 au 31 janvier 2011 – Fortes pluies

Pour cet événement, Météo France a fourni une carte isohyète sur la période du 27/01/2011 à 07h HL au 31/01/2011 à 7h HL, soit 4 jours de pluies.

La lame d'eau sur cette période est estimée respectivement par la méthode de isohyètes et par la méthode de la moyenne arithmétique (proposée par le BE) à 935 mm et 898 mm, soit un écart relatif de -4%.

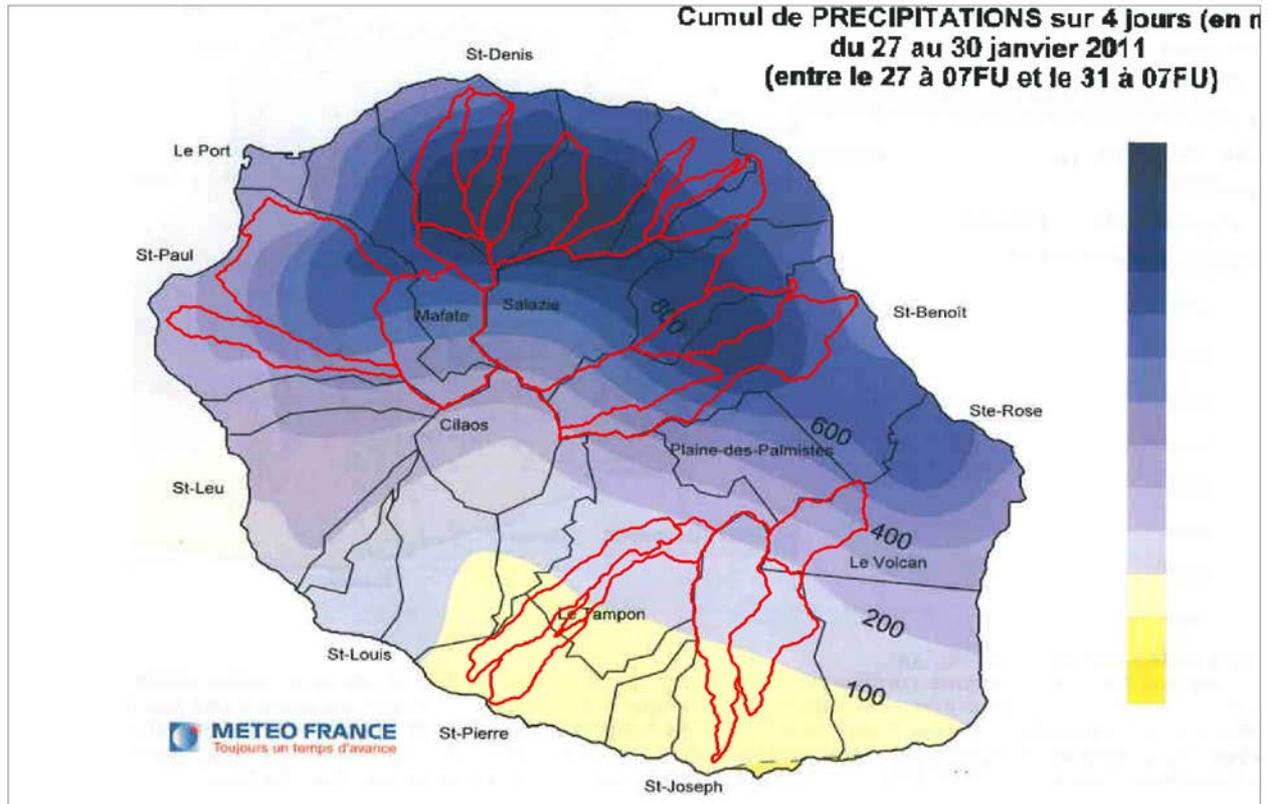


Illustration 35: Carte isohyète de Météo France

	CUMULS_INF (mm)	CUMULS_SUP (mm)	SURFACE (km ²)	% surf / surf total	CUMUL_MOY (mm)	CRIG (mm)	Pbv_krig (mm)
Pluies - Pont Domenjod - (38.95km ²)	700	800	0.75	1.9%	750	14.5	935.4
	800	900	9.34	24.0%	850	203.7	
	900	1000	25.08	64.4%	950	611.6	
	1000	1200	3.74	9.6%	1100	105.6	
							36 435 612 m ³

Illustration 36: Détail du calcul de Pbv par méthode des moyennes pondérées

$$P_{bv}(\text{Moyenne arithmétique}) = \frac{P_{\text{Plaine des Chicots}} + P_{\text{Plaine des Fougères}} + P_{\text{Gillot - Aéroport}}}{3} = \frac{605 + 1076 + 1013}{3} = 898 \text{ mm}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 29\% * P_{\text{Plaine des Chicots}} + 66\% * P_{\text{Plaine des Fougères}} + 5\% * P_{\text{Gillot - Aéroport}}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 29\% * 1013 + 66\% * 1076 + 5\% * 605 = 1034 \text{ mm}$$

On en déduit:

$$\text{Coefficient d'ajustement} = \frac{\text{Pluie moyenne krigeage}}{\text{Pluie moyenne arithmétique}} = \frac{935 \text{ mm}}{898 \text{ mm}} = 1,04$$

6.1.3 - Cas de l'événement du 02 au 04 janvier 2013 – Cyclone DUMILE

Pour cet événement, Météo France a fourni une carte isohyète sur la période du 02/01/2013 à 07h HL au 04/01/2013 à 7h HL, soit 2 jours de pluies.

La lame d'eau sur cette période est estimée respectivement par la méthode de isohyètes et par la méthode de la moyenne arithmétique (proposée par le BE) à 315 mm et 338 mm, soit **un écart relatif de 7%**.

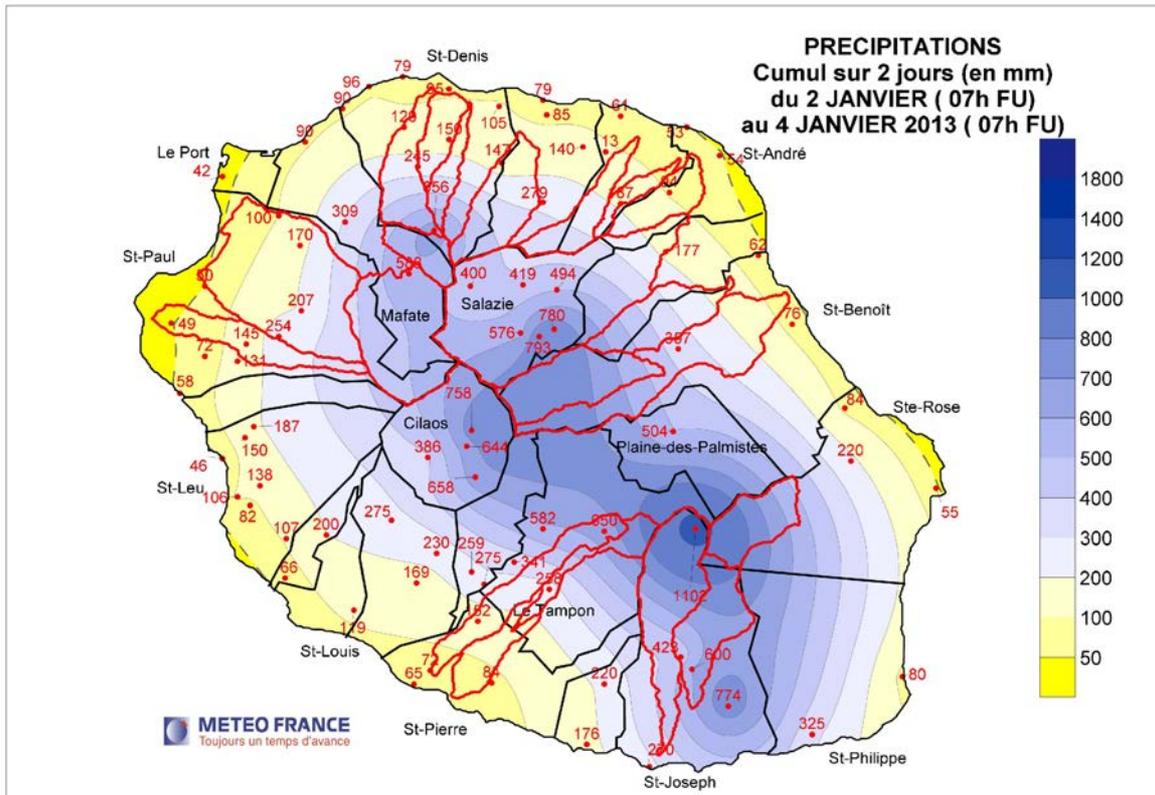


Illustration 37: Carte isohyète de Météo France

	CUMULS_INF (mm)	CUMULS_SUP (mm)	SURFACE (km ²)	% surf / surf total	CUMUL_MOY (mm)	CRIG (mm)	Pbv_krig (mm)
Pluies - Pont Domenjod - (38.95km ²)	100	200	8.31	21.3%	150	32.0	314.8
	200	300	9.27	23.8%	250	59.5	
	300	400	11.10	28.5%	350	99.8	
	400	500	7.72	19.8%	450	89.2	
	500	600	2.43	6.3%	550	34.4	
							12 262 346 m ³

Illustration 38: Détail du calcul de Pbv par méthode des moyennes pondérées

$$P_{bv}(\text{Moyenne arithmétique}) = \frac{P_{\text{Plaine des Chicots}} + P_{\text{Plaine des Fougères}} + P_{\text{Gillot - Aéroport}}}{3} = \frac{79 + 279 + 656}{3} = 338 \text{ mm}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 29\% * P_{\text{Plaine des Chicots}} + 66\% * P_{\text{Plaine des Fougères}} + 5\% * P_{\text{Gillot - Aéroport}}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 29\% * 656 + 66\% * 279 + 5\% * 79 = 378 \text{ mm}$$

On en déduit :

$$\text{Coefficient d'ajustement} = \frac{\text{Pluie moyenne krigage}}{\text{Pluie moyenne arithmétique}} = \frac{315 \text{ mm}}{338 \text{ mm}} = 0,93$$

6.1.4 - Cas de l'événement du 1^{er} au 3 janvier 2014 – Cyclone BEJISA

Pour cet événement, Météo France a fourni une carte isohyète sur la période du 01/01/2014 à 07h HL au 03/01/2014 à 7h HL, soit 2 jours de pluies.

La lame d'eau sur cette période est estimée respectivement par la méthode de isohyètes et par la méthode de la moyenne arithmétique (proposée par le BE) à 591 mm et 560 mm, soit un écart relatif de -5%.

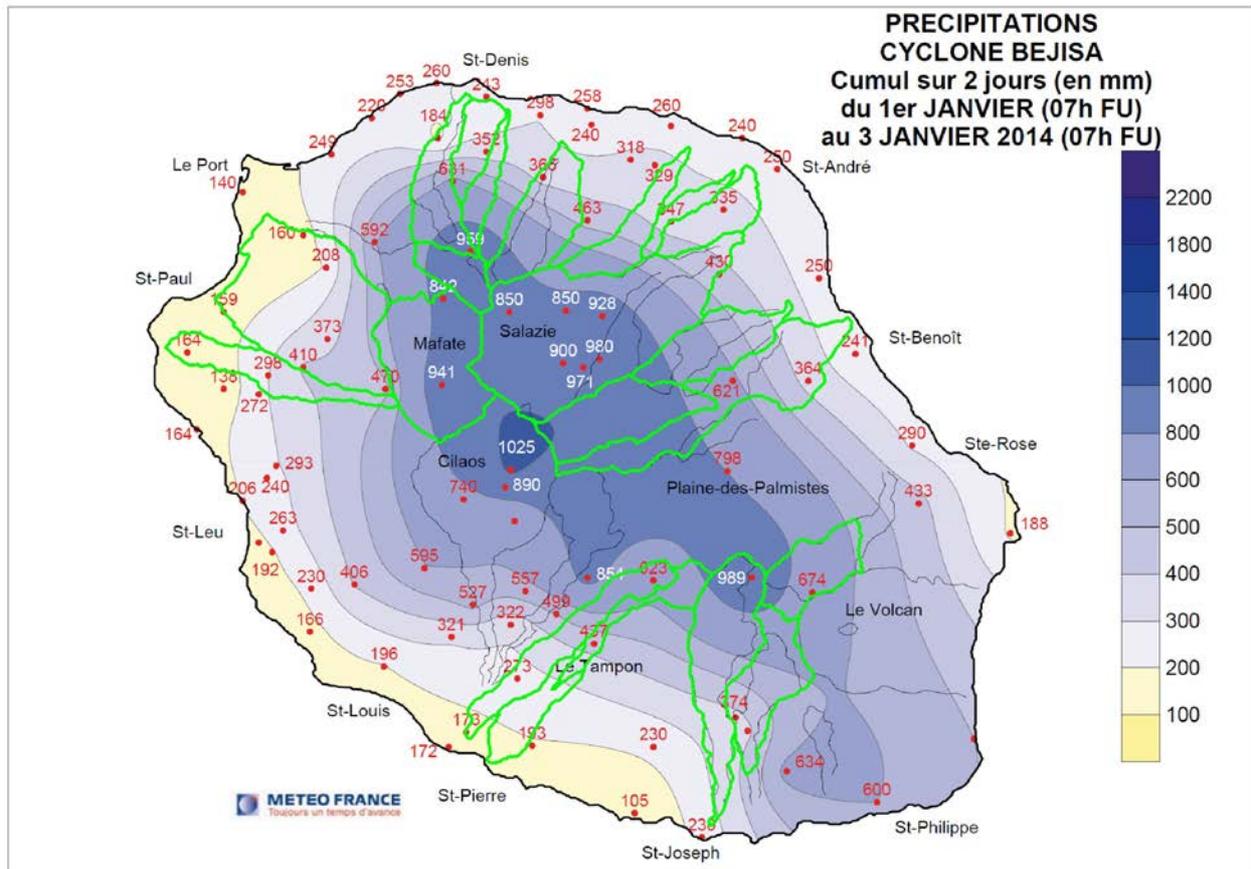


Illustration 39: Carte isohyète de Météo France

	CUMULS_INF (mm)	CUMULS_SUP (mm)	SURFACE (km ²)	% surf / surf total	CUMUL_MOY (mm)	CRIG (mm)	Pbv_krig (mm)
Pluies - Pont Domenjod (38.95km ²)	200	300	0.19	0.48	250	1.2	590.5
	300	400	7.42	19.05	350	66.7	
	400	500	6.57	16.87	450	75.9	
	500	600	6.46	16.57	550	91.2	
	600	800	12.66	32.51	700	227.5	
	800	1000	5.54	14.23	900	128.1	

23 001 230 m³

Illustration 40: Détail du calcul de Pbv par méthode des moyennes pondérées

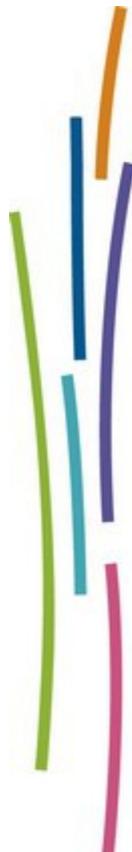
$$P_{bv}(\text{Moyenne arithmétique}) = \frac{P_{\text{Plaine des Chicots}} + P_{\text{Plaine des Fougères}} + P_{\text{Gillot - Aéroport}}}{3} = \frac{258 + 463 + 959}{3} = 560 \text{ mm}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 29\% * P_{\text{Plaine des Chicots}} + 66\% * P_{\text{Plaine des Fougères}} + 5\% * P_{\text{Gillot - Aéroport}}$$

$$P_{bv}(\text{Thiessen}) = 29\% * 959 + 66\% * 463 + 5\% * 258 = 596 \text{ mm}$$

On en déduit:

$$\text{Coefficient d'ajustement} = \frac{\text{Pluie moyenne krigage}}{\text{Pluie moyenne arithmétique}} = \frac{591 \text{ mm}}{560 \text{ mm}} = 1,05$$



DEAL Réunion
2, rue Juliette Dodu
CS 41009
97743 SAINT DENIS CEDEX 9

Tél : 02 62 40 26 26
Fax : 02 62 40 27 27