

Etude hydrologique à la confluence du gave de Cauterets et le gave de Pau (65)



Etude Hydrologique

N° d'Affaire :
Version 4
Avril 2020

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage : Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves
4 rue Michelet
65000 LOURDES
05 62 42 64 98

Affaire : Etude hydrologique à la confluence du gave de Cauterets et le gave de Pau (65)

Jean Manuel Deleuze
Etude Hydrologique

Emetteur : HYDRETUDES - Dauphiné Provence
41 bis avenue des Allobroges
26100 ROMANS SUR ISERE
04.75.45.30.57
contact-romans@hydretudes.com



Document : Etude hydrologique
Avril 2020

INDICE	DATE	MISE A JOUR	REDIGE PAR	VERIFIE PAR
1	12/2018	1	LP/BCh	BCh
2	22/03/2019	2	BCh	LP
3	02/12/2019	3	BCh	LP
4	22/04/2020	4	BCh	LP
5				

SOMMAIRE

PARTIE 1. CONTEXTE ET GENERALITE	8
1.1. Contexte.....	8
1.2. Généralité sur le Bassin versant étudié	8
1.2.1. Morphologie	8
1.2.2. Occupation du sol	9
1.2.3. Généralités sur l'hydrologie	10
1.2.4. Généralité sur la géologie	12
PARTIE 2. ETAT DE L'ART	13
2.1. Listing des études antérieures prise en compte.....	13
2.2. Synthèse RTM 2004.....	13
2.3. Synthèse SIEE 2006	16
2.4. Synthèse Suez 2018	18
2.5. Tableau récapitulatif :	19
PARTIE 3. PRESENTATION DES DONNEES DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE	21
3.1. Modèle Numérique de Terrain (MNT)	21
3.2. DONNEES HYDROMETRIQUES.....	22
3.2.1. Disponibilité des stations hydrométriques.....	22
3.2.2. Choix des chroniques de débit à pas de temps faible.....	24
3.3. Données pluviométriques	30
3.4. Occupation du sol	36
PARTIE 4. PRINCIPE GENERAL DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT SPATIALISEE ADAPTEE AUX BESOINS DE L'INGENIEUR.....	37
4.1. Le modèle MESRI :	37
4.2. PREPARATION DES DONNEES AUX CALAGE DES PARAMETRES DE MESRI	38
4.3. Calcul des cheminements hydrauliques	38
4.4. Hypothèses sur l'Hydrométrie.....	38
4.5. Hypothèses sur la pluie	39
4.6. Calage des paramètres	44
4.7. Extrapolation des modélisations des évènements 2012 et 2013 à la confluence Gave de Cauterets/Gave de Pau	48
PARTIE 5. RESULTATS HYDROLOGIQUES.....	51
5.1. Résultat de calculs et comparaison aux études antérieures :	51
5.1.1. Comparaison à l'exutoire du gave de Gavarnie	52
5.1.2. Comparaison à l'exutoire du gave de Cauterets	53



5.1.3.	Comparaison Gave de Pau à Argeles Gazost	53
5.1.4.	Comparaison Gave de Pau à Lourdes	54
5.1.5.	Choix des valeurs de référence	55
5.2.	Calculs des hydrogrammes projet pour des pluies longue de 48h	56
5.2.1.	Pluie de projet double triangle	56
5.2.2.	Hydrogramme projet	57
5.3.	Conclusion générale sur l'hydrologie de référence	58
ANNEXES 1 : PRINCIPE DE LA MODELISATION MESRI		60
Les grandes étapes		60
o	Données à acquérir	63
-	Modèle Numérique de Terrain (MNT)	63
-	Données hydrologiques / précipitations	63
o	Calage des paramètres	63
o	Prise en compte de l'occupation du sol	63
o	Les résultats de MESRI :	64
ANNEXE 2 : CARTE GEOLOGIQUE ET LEGENDE SUR LE SECTEUR D'ETUDE		66
ANNEXE 3 CALCUL DES DEBITS POUR LES OCCURRENCES 5, 10, 20, 50 ET 100 ANS		70
o	Synthèse des débits de crue Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100 ans à la station de mesure débitmétrique d'Argelès-Gazost et Lourdes	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Gave de Cauterets et Gave de Pau à Argelès-Gazost	8
Figure 2 :	Occupation du sol du bassin versant du Gave de Cauterets	10
Figure 3 :	Débits mensuels calculé sur 28 ans (1960-1987) à la station du Gave de Cauterets à Cauterets (pont Fanlou- Q4564010)	11
Figure 4 :	Bassin versant du Gave de Cauterets (cadre rouge) dans le contexte structural des Pyrénées (source : Réseaux sismiques des Pyrénées)	12
Figure 5 :	Géologie de la zone d'étude	12
Figure 6 :	Extrait du rapport RTM 2004 sur le calage statistique des débits de crues faible à moyennes au droit de la station du pont de Fanlou.	14
Figure 7 :	Débit de référence pour le Gave de Cauterets à la confluence d'après RTM 2004 ...	14
Figure 8 :	Débit de référence pour le Gave de Gavarnie à la confluence d'après RTM 2004	15
Figure 9 :	Extrait du rapport SIEE 2006 : débits de références au droit de la station du pont de Tilhos sur le Gave de Pau	16
Figure 10 :	Débit de référence pour le Gave de Pau en amont du gave de Cauterets et du Gave d'Azun – SIEE 2006	16
Figure 11 :	extrait du rapport Suez 2018 : résultats de modélisation Q10-Q30000	19
Figure 12 :	Extrait du rapport Suez 2018 pages 55	19



Figure 13 : Relief du bassin versant du Gave de Pau et du Gave de Cauterets à Argelès-Gazost	21
Figure 14 : Station hydrologique sur le bassin versant du Gave de Pau et du Gave de Cauterets	22
Figure 15 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Argelès.....	24
Figure 16 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Lourdes sur la période 1998 - 1999.....	25
Figure 17 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Lourdes sur la période 2000 – 2010	25
Figure 18 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Lourdes sur la période 2011 – 2018	26
Figure 19 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2009 (QTFIX Banque hydro).....	27
Figure 20 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2012 (QTFIX Banque hydro).....	28
Figure 21 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2013 (QTFIX Banque hydro).....	28
Figure 22 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2018 (QTFIX Banque hydro).....	29
Figure 23 : Station pluviométrique du réseau Météo-France proche du bassin versant d'étude	30
Figure 24 : Occupation du sol du bassin versant étudié	36
Figure 25 : Distance dans le réseau et distance sur le versant.....	38
Figure 26 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2009 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost.....	44
Figure 27 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2012 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost.....	45
Figure 28 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2013 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost.....	45
Figure 29 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2018 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost.....	46
Figure 30 : Résultat de modélisation de l'évènement 2012 au droit du site d'étude	48
Figure 31 /Résultat de modélisation de l'évènement 2013 au droit du site d'étude.....	49
Figure 32 : Extrait du rapport Suez 2018 pages 55)	54
Figure 33 : Cumul de pluie en 48h à la station de Tarbes (Rapport Météo-France, Estimation des hauteurs de précipitations d'occurrence rare pour des durées de cumul de 1 à 10 jours sur 3000 postes français)	56
Figure 34 : Coefficient de Montana pour la station Météo-France de Tarbes pour une durée de pluie de 1h à 12h.....	56
Figure 35 : Cumul de pluie en 12h à la station de Tarbes (Estimé à partir des données de Montana figure n°33).....	56



Figure 36 : Hyetogrammes projet pour un évènement de 48h	57
Figure 37 : Hydrogramme projet pour le Gave de Gavarnie pour un évènement pluvieux de 48h	57
Figure 38 : Hydrogramme projet pour le Gave de Cauterets pour un évènement pluvieux de 48h	58
Figure 39: Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un évènement pluie-débit	60
Figure 40 : zoom sur le compartiment production et répartition des différents écoulements	60
Figure 41 : Schéma de principe du transfert géomorphologique (vue 3D)	61
Figure 42 : Schéma de calcul des distances de parcours dans les réseaux et sur les versants.	62
Figure 43 : Exemple de courbe % Aire contributive-Temps de concentration	62
Figure 44 : Exemple de MNT	63
Figure 45 : exemple d'occupation du sol issu de la base de données Corine Land Cover	64
Figure 46 : Exemple de débits calculés pour différentes périodes de retour (Q5, Q10, Q50 et Q100) pour un même bassin versant.....	65
Figure 47 : Localisation des points de calcul hydrologique.....	70
Figure 48 : Coefficient de Montana pour la station Météo-France de Tarbes pour une durée de pluie de 1h à 12h.....	71
Figure 49 : Exemple de pluie créneau modélisée.....	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des sous bassins versants.....	9
Tableau 2 : Caractéristiques des stations hydrométriques. Source : Banque Hydro	23
Tableau 3 : Débit de référence instantané** des stations hydrométriques (* débit de référence journalier pour la station du pont Fanlou pour information). Source : Banque Hydro	23
Tableau 4 : Evénements de crue à Lourdes (source Banque Hydro).....	26
Tableau 5 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'évènement de mai 2009	31
Tableau 6 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'évènement d'octobre 2012.....	32
Tableau 7 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'évènement de juin 2013	34
Tableau 8 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'évènement de juin 2018	35
Tableau 9 : Hypothèse pluviométrique pour l'évènement de 2009.....	40
Tableau 10 : Hypothèse pluviométrique pour l'évènement de 2012	41
Tableau 11 : Hypothèse pluviométrique pour l'évènement de 2013	42
Tableau 12 : Hypothèse pluviométrique sur l'évènement de 2018.....	43
Tableau 13 : Paramètres adimensionnels de calage retenus pour les modélisations MESRI....	46



Tableau 14 : Valeur du paramètre de production de surface en fonction de la période de retour modélisée	47
Tableau 15 : Comparaison des débits Hydrétudes et RTM (2004) au Gave de Cauterets	53
Tableau 16 : Comparaison des débits Hydrétudes avec SUEZ 2018 et SIEE 2006 au Gave de Pau à Argelès-Gazost.....	53
Tableau 17 : Comparaison des débits Hydrétudes et SUEZ2018 au Gave de Pau à Lourdes....	54
Tableau 18 : Débit retenus pour le Gave de Cauterets	55
Tableau 19 : Débit retenu pour le Gave de Gavarnie.....	55
Tableau 20 : Caractéristiques physiques des sous bassins versants	71
Tableau 21 : Intensité pluviométrique calculée avec les coefficients de Montana de Tarbes en fonction de la période de retour et de la durée de la pluie.....	72
Tableau 22 : Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau à Lourdes.....	73
Tableau 23 : Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau à Argelès-Gazost	74
Tableau 24 : Comparaison des débits statistiques avec les débits calculés par MESRI à la station du Gave de Pau à Lourdes	75
Tableau 25 : Paramètres retenus pour les modélisations MESRI calés sur les évènements de 2012 et 2018.....	76
Tableau 26 : Caractéristiques physiques des sous bassins versants	76
Tableau 27 : Intensité pluviométrique calculée avec les coefficients de Montana de Tarbes en fonction de la période de retour et de la durée de la pluie.....	77
Tableau 28 : Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Cauterets.....	78
Tableau 29 : Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau en amont de la confluence	79
Tableau 30 : Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau en aval de la confluenc.....	80

PARTIE 1. CONTEXTE ET GENERALITE

1.1. CONTEXTE

Dans le cadre de la compétence GEMAPI, le PLVG doit définir les territoires à protéger contre les inondations et définir également les niveaux de protection associés. Ainsi c'est à lui que revient la demande d'autorisation des systèmes d'endiguement au sens du décret « digue » 2015. La mission générale porte sur les ouvrages de protection inondation et érosion sur le Gave de Cauterets sur les communes de Pierrefitte-Nestalas ainsi que de Souлом.

Cette étude vise à définir les hydrogrammes de crue pour différentes périodes de retour à savoir Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100 au niveau du Gave de Cauterets et du Gave de Pau (avant sa confluence avec le Gave de Pau). Pour cela Le modèle hydrologique MESRI est utilisé.

1.2. GENERALITE SUR LE BASSIN VERSANT ETUDIE

1.2.1. Morphologie

Le bassin versant étudié est celui du Gave de Cauterets (figure suivante) situé dans les Hautes-Pyrénées (65). Le Gave de Cauterets constitue un des affluents en rive gauche du Gave de Pau. A sa confluence avec le Gave de Pau, sa superficie est d'environ 180 km² pour un cheminement hydrologique de 26.3 km. La pente moyenne du cours d'eau est de 10%.

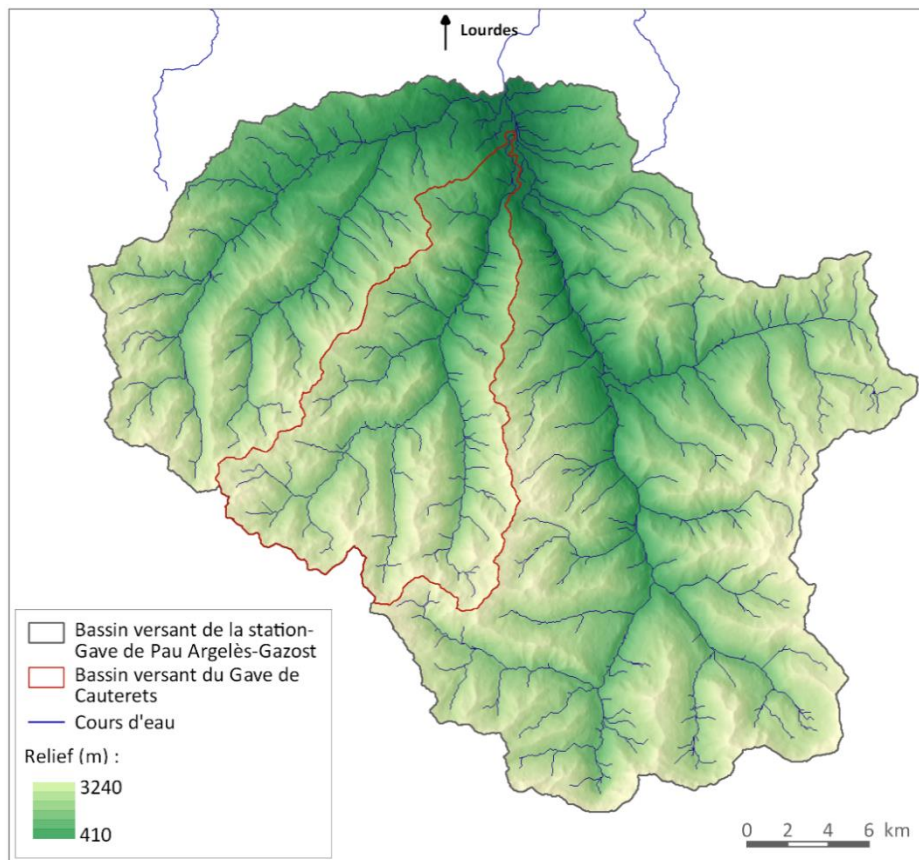


Figure 1 : Gave de Cauterets et Gave de Pau à Argelès-Gazost

Les caractéristiques morphologiques des bassins versant que nous citerons sont présentées dans le tableau suivant.

Cours d'eau	Sous bassin versant	Superficie	Longueur du cheminement hydraulique maximum	Pente moyenne	Temps de concentration MESRI (sur la base du transfert géomorphologique voir annexe 1)
Gave de Pau	Lourdes	1080 km ²	57 km	0.05	5 h
Gave de Pau	Argelès-Gazost	912 km ²	43 km	0.06	5 h
Gave de Cauterets	Gave de Cauterets (point de calcul N°1)	178 km ²	25 km	0.1	3 h
Gave de Pau	Gave de Pau en amont de la confluence (point de calcul N°2)	475 km ²	36 km	0.07	4 h
Gave de Pau	Gave de Pau en aval de la confluence (point de calcul N°3)	664 km ²	38 km	0.07	4 h

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des sous bassins versants

1.2.2. Occupation du sol

Les communes qu'il traverse sont Cauterets qui compte 933 habitants en 2015, Soulom avec 260 habitants, Pierrefitte-Nestlas avec 1171 hab. Uz avec 35 habitants, Arcizans-Avant avec 382 habitants et enfin Estaing qui dénombre 73 hab. Le haut du bassin versant est principalement caractérisé par un étage alpin et nival marqué avec la présence de quelques zones glacières et neiges éternelles, une roche nue et une végétation clairsemée. Plus en aval, la végétation est plus arbustive et les fonds de vallées sont des forêts (figure ci-après).

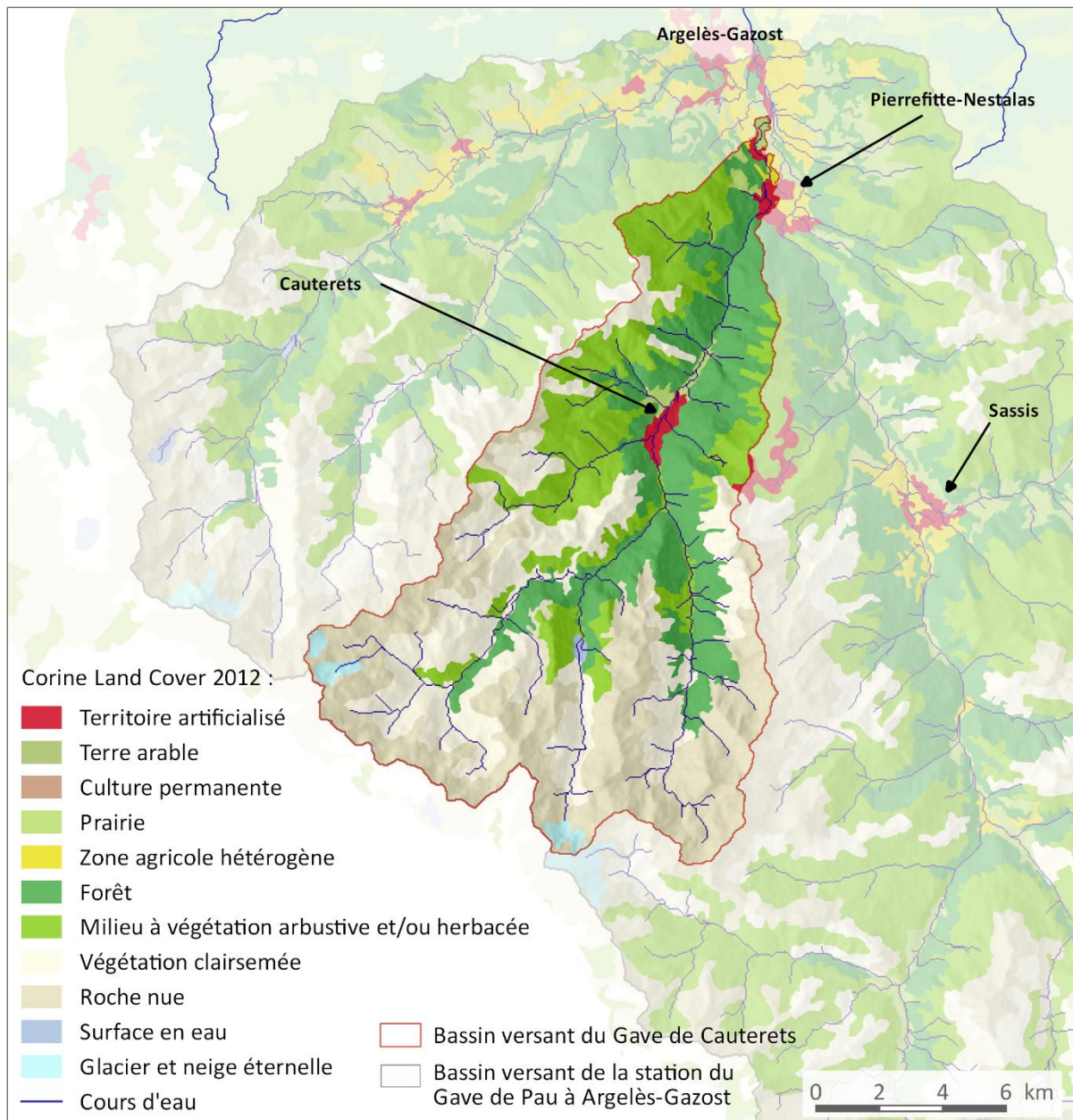


Figure 2 : Occupation du sol du bassin versant du Gave de Cauterets

1.2.3. [Généralités sur l'hydrologie](#)

Le Gave de Cauterets est marqué par une période de hautes eaux les mois de mai à juillet qui est caractéristique du régime nival. Le reste de l'année des débits sont relativement faibles. Notons que des crues fortes et rapides peuvent avoir lieu à l'automne.

La station du Gave de Cauterets à Cauterets (Pont Fanlou) a relevé des débits durant les années 1960 à 1987 soit pendant 28 années. Le débit mensuel moyen évolue de 3.31 m³/s en janvier jusqu'à 20 m³/s en juillet. Durant les périodes sèches, le **V**olume **C**onsécutif **m**inimal pour **3** jours (VCN3) peut atteindre 1.6 m³/s pour une quinquennale sèche.

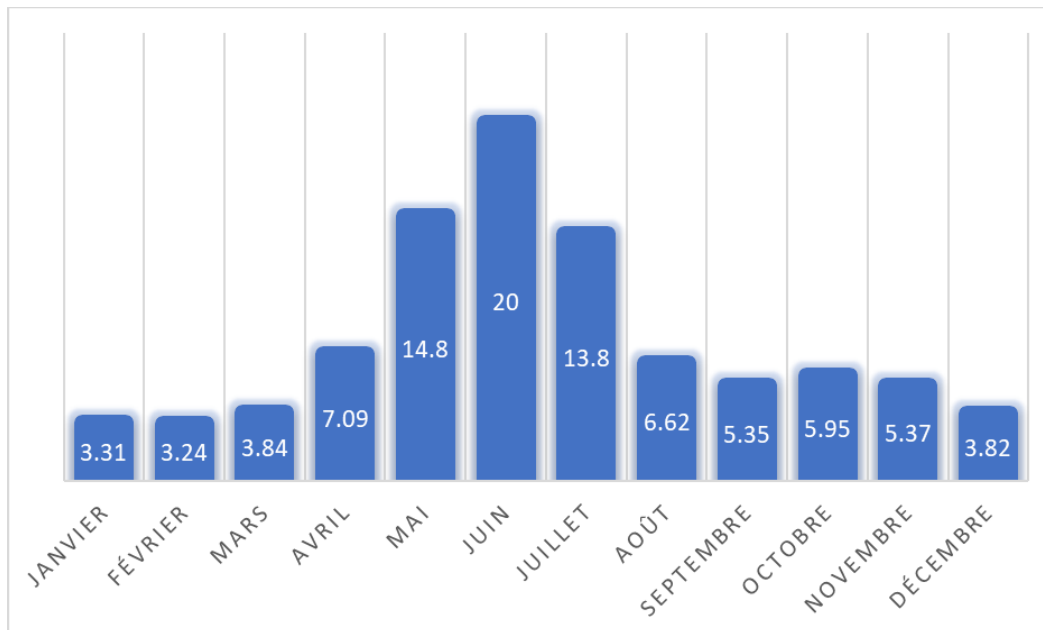


Figure 3 : Débits mensuels calculé sur 28 ans (1960-1987) à la station du Gave de Cauterets à Cauterets (pont Fanlou- Q4564010)

Le Gave de Cauterets suit un axe S-N-NE. Il se situe en plaine zone paléozoïque axiale cernée par la faille nord-pyrénéenne (FNP) en limite nord (figure suivante). La figure 5 présente la géologie du secteur. Une carte géologique plus détaillée est disponible en annexe 2. Le bassin versant du Gave de Cauterets comporte quelques terrains calcaires mélangés à de la granodiorite, du granite, de la tonalite ou encore de la pépite.

MESRI prend en compte l'occupation du sol et non la géologie dans ses modélisations.

1.2.4. Généralité sur la géologie

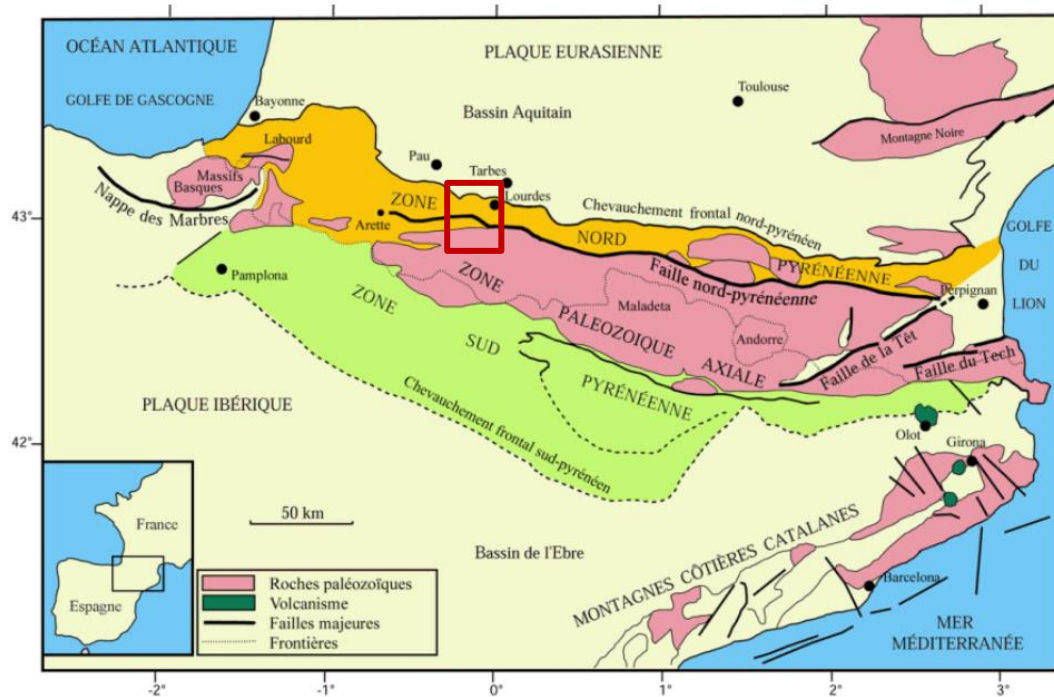


Figure 4 : Bassin versant du Gave de Cauterets (cadre rouge) dans le contexte structural des Pyrénées (source : Réseaux sismiques des Pyrénées)

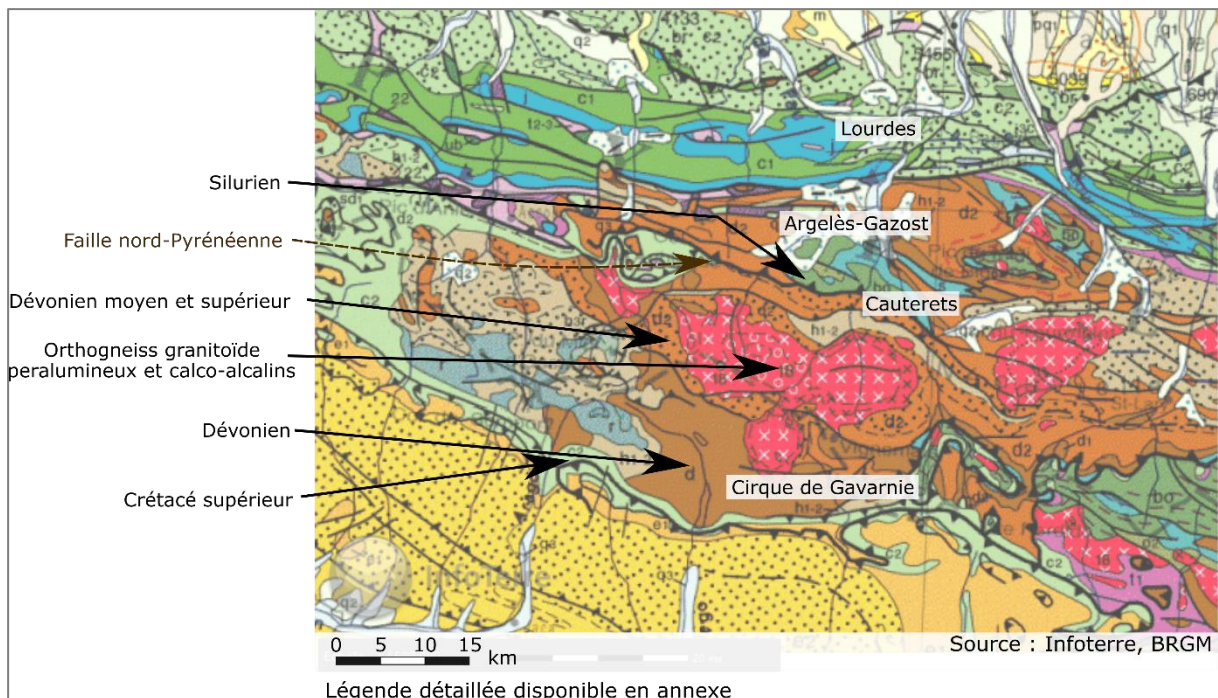


Figure 5 : Géologie de la zone d'étude

PARTIE 2. ETAT DE L'ART

2.1. LISTING DES ETUDES ANTERIEURES PRISE EN COMPTE

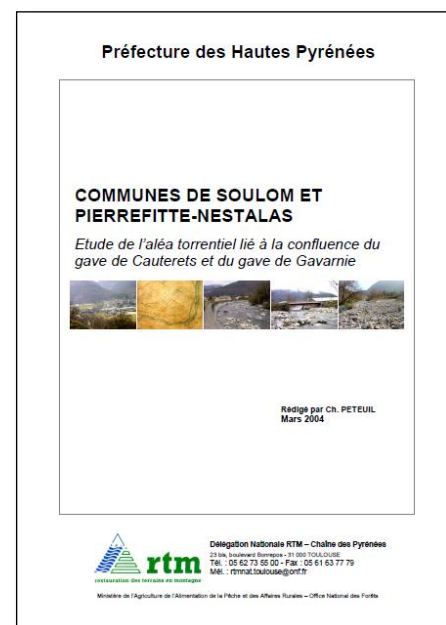
Pour notre analyse hydrologique, nous avons eu accès à plusieurs études déjà réalisées. Les plus marquantes en termes d'hydrologie sont les suivantes :

- **RTM 2004** : « Etude de l'aléa torrentiel lié à la confluence du gave de Cauterets et du gave de Gavarnie »
- **SIEE : 2006** « Etude hydraulique pour le plan de Prévention du Risque Inondation lié au gave de Pau, entre les communes d'Argelès Gazost et de Soulom »
- **Suez 2018** : « Etude hydraulique et AMC pour évaluer l'intérêt de considérer la Voie Verte des Gaves comme un ouvrage de protection contre les crues »

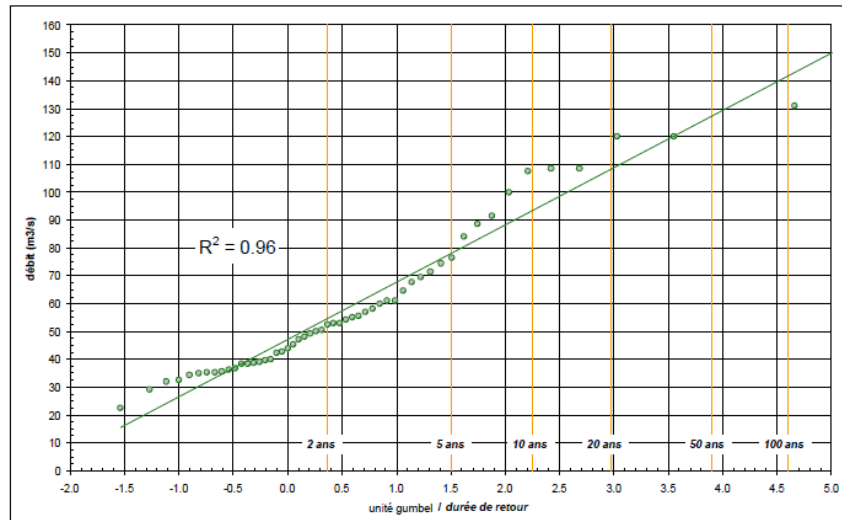
Pour rappel les études de RTM 2004 et SIEE 2006 ont été réalisées dans le cadre des études préalables à l'établissement du PPRI.

2.2. SYNTHESE RTM 2004

RTM a établi cette étude en parallèle des études du PPRI réalisées par SIEE, une étude hydrologique dans laquelle il propose des valeurs de référence pour le Gave de Cauterets à la confluence avec le Gave de Gavarnie.



- Premièrement Les estimations des débits de références au droit de la station du pont de Fanlou sur le gave de Cauterets à Cauterets (en amont de notre site d'étude).
Sur la base des relevés des maximum annuels sur 53 années de mesures le débit de référence décennal



Débits de crues de référence du gave de Cauterets à Pont de Fanlou (137,5 km²)

Durée de retour (années)	2	5	10	20
Qix (m3/s)	55	78	93	108

Figure 6 : Extrait du rapport RTM 2004 sur le calage statistique des débits de crues faible à moyennes au droit de la station du pont de Fanlou.

- Deuxièmement une extrapolation des débits estimés au droit de la station du pont de Fanlou est réalisée en utilisant une formule de Myer avec un exposant de 0,8, conformément aux résultats présentés dans une étude universitaire rappelée en bibliographie (ADAM F., 2003, Premiers essais de régionalisation pour la prédétermination des débits de crue décennaux de bassins versants torrentiels des Pyrénées centrales, rapport de stage de 2ème année de l'ENSHMG, délégation nationale RTM – Toulouse). Comme indiqué dans la bibliographie, cette extrapolation est faite sur les petites occurrences. Il n'y a pas de justification de la réaliser pour les fortes occurrences. Les résultats pour le Gave de Cauterets sont les suivants

Débits de crues de référence du gave de Cauterets à la confluence avec le gave de Gavarnie (180 km²)

Durée de retour (années)	2	5	10	20
Qix (m3/s)	70	95	115	135

Figure 7 : Débit de référence pour le Gave de Cauterets à la confluence d'après RTM 2004

- Puis l'étude calcul les estimations de crues extrêmes en appliquant des formules classiques (Gradex brutal avec deux niveaux de pivot, Gradex progressif, Méthode Rationnelle et formule SCS). Les résultats sont rappelés ci-dessous ainsi que la synthèse établie par RTM.

Méthode	Paramètre	Marge d'erreur	Plage de variation	Résultats
Sommaire	Q10	±10%	104 < Q10 < 127	238 < Q100 (m3/s) < 291
Gradex brutal (10 ans)	Q10	±10%	104 < Q10 < 127	374 < Q100 (m3/s) < 397
Gradex brutal (20 ans)	Q20	±10%	121 < Q20 < 149	309 < Q100 (m3/s) < 336
Gradex progressif	Q10	±10%	104 < Q10 < 127	228 < Q100 (m3/s) < 267
Rationnelle	Cr	±20%	0,32 < Cr < 0,48	220 < Q100 (m3/s) < 331
SCS	J	±20%	185 < J < 275	234 < Q100 (m3/s) < 346

Durée de retour (années)	2	5	10	20	50	100
Débit de pointe (m3/s)	70	95	115	135	210	285
Débit spécifique (m3/s/km²)	0,4	0,5	0,6	0,75	1,2	1,6

Dans un second temps, l'étude propose également des valeurs de débits pour le Gave de Gavarnie en s'appuyant cette fois sur les résultats de SIEE. A partir des résultats de SIEE, le RTM a appliqué une loi d'homothétie de surface pour établir les débits de référence sur le gave de Gavarnie à la confluence avec le Gave de Cauterets.

Durée de retour (années)	10	20	50	100
Débit de pointe (m3/s)	235	280	340	385
Débit spécifique (m3/s/km²)	0,50	0,60	0,73	0,82

Figure 8 : Débit de référence pour le Gave de Gavarnie à la confluence d'après RTM 2004

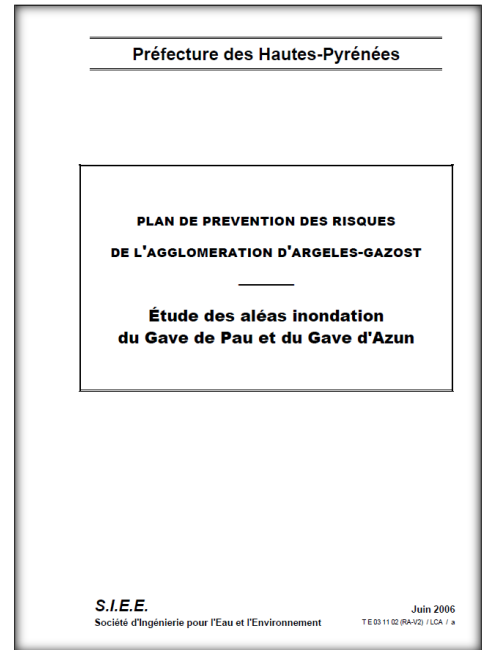
Cette étude permet donc d'avoir une estimation des débits de référence au droit de la confluence Gavarnie/Cauterets.

2.3. SYNTHÈSE SIEE 2006

Cette étude fait partie des études préalables à l'établissement du PPRI.

L'analyse hydrologique se base sur les résultats d'une étude menée en 1991 (*Etude hydraulique du Gave de Pau à l'aval du Pont de Tilhos*).

- Premièrement les estimations des débits de références au droit de la station du pont de Tilhos. Par une analyse sur les relevés des maximums annuels sur 105 années de mesures les débits de références décennaux et centennaux sont :



Débit décennal instantané	Q_{10}	=	400 m ³ /s
Débit centennal instantané	Q_{100}	=	650 m ³ /s

Figure 9 : Extrait du rapport SIEE 2006 : débits de références au droit de la station du pont de Tilhos sur le Gave de Pau

L'étude

- Deuxièmement une extrapolation du débit du gave de Pau au niveau des confluences avec le gave de Cauterets et le Gave d'Azun est établie. Celle-ci se base sur l'utilisation de la formule de Myer avec un coefficient de 0.76. Les résultats sont les suivants :

Point du Gave de Pau	Surface de bassin versant	Débit décennal Q10	Débit centennal Q100
Pont du Thilos	924 km ²	400 m ³ /s	650 m ³ /s
Amont Gave d'Azun	718 km ²	335 m ³ /s	540 m ³ /s
Amont Gave de Cauterets	501 km ²	260 m ³ /s	420 m ³ /s

Figure 10 : Débit de référence pour le Gave de Pau en amont du gave de Cauterets et du Gave d'Azun – SIEE 2006

Ces estimations de débits font référence sur le bassin versant. Nous comparerons nos calculs au pont de Tilhos.



Concernant l'estimation du gave de Gavarnie (amont Gave de Cauterets) nous retiendrons la valeur du RTM 2004 pour laquelle il nous semble que le coefficient d'extrapolation est plus adapté.

Attention : des études universitaires sur les bassins versant pyrénéens ont montré que l'on pouvait en première approche utiliser la méthode de Myer avec un coefficient de 0.8 pour l'extrapolation des débits décennaux (ADAM F., 2003, *Premiers essais de régionalisation pour la prédétermination des débits de crue décennaux de bassins versants torrentiels des Pyrénées centrales, rapport de stage de 2ème année de l'ENSHMG, délégation nationale RTM – Toulouse*).

Nous attirons l'attention sur le fait que cela n'a pas été prouvé pour l'extrapolation des crues centennales. En effet le coefficient 0.8 se rapporte à l'abattement moyen que l'on peut appliquer à la pluie pour des crues moyennes. Néanmoins les niveaux de production en crue extrême changent. Nous ne pouvons donc pas supposer que ce coefficient de 0.8 est encore valable pour les crues centennales. De plus les chroniques de mesures débitométriques sont trop courtes pour pouvoir vérifier la robustesse de la formule de Myer ainsi calée. Cette méthode d'extrapolation est donc à prendre avec beaucoup de distance.

2.4. SYNTHÈSE SUEZ 2018

L'étude réalisée Suez en 2018 pour l'étude sur la voie verte mène une réflexion statistique poussée.

- Premièrement l'analyse porte sur les données pluviométriques afin d'en déterminer les valeurs de pluie décennale et centennale de références. Pour cela, une étude sur la variation saisonnière en lien avec la durée de l'évènement est réalisée.

Elle montre que, pour les faibles durées, les cumuls de pluie sont les plus importants en été (effet des orages) et que pour des durées dépassant les 6h, c'est en automne qu'il faut chercher les pluies les plus importantes.

Cette analyse a permis de déterminer les valeurs de pluie décennale et centennale en différents points du bassin versant et suivant différentes durées.

Ceci permet d'alimenter le modèle hydrologique en permettant de créer des cartes de pluies spatialisées (polygones de Thiessen).

- Dans un second temps, les débits décennaux sont estimés par ajustement d'une loi de Gumbel à toutes les stations du bassin versant.
- Puis les débits centennaux ont été estimés par 3 méthodes :
 - Méthodes du Gradex (brut et esthétique),
 - Méthode QDF régionalisée,
 - Méthode Shyreg (Irstea).

Phase 2 : Diagnostic
Etude hydraulique et AMC pour évaluer l'intérêt de considérer la Voie Verte des Gaves comme un ouvrage de protection contre les crues

Sommaire

- 1... Analyse Hydrologique 7
 - 1.1 Préambule 7
 - 1.2 Données météorologiques 8
 - 1.3 Analyse des stations de mesure hydrométrique 33
 - 1.4 Détermination des débits exceptionnels 49
 - 1.5 Définition des hydrogrammes de crue 56
 - 1.6 Détermination du débit de base 57
 - 1.7 Lien avec la hauteur de neige 58
 - 1.8 Caractérisation des sous bassins versants 62
 - 1.9 Hydrologie des bassins versants non jaugeés 67
- 3... Analyse hydromorphologique 68
 - 3.1 Diagnostic du risque de capture du site du lac vert (rappel P1) 68
 - 3.2 Eléments d'hydromorphologie générale 72
 - 3.3 Analyse simplifiée du transport solide 73
- 4... Annexes 79
 - 4.1 Données morphologiques 80
 - 4.2 Données hydrologiques 80
 - 4.3 Analyse statistique par loi de Gumbel 82
 - 4.4 Calcul de débit de pointe 82

18MAX004-v1
S:\PROJET\18\Repart\18_PLV\18_PLV_04_Lourdes_SUEZ\18MAX004-v1.docx
Version 18/06/2018

SUEZ

Période de retour (ans)	04-Lourdes				
	Gradex brut	Gradex esthétique	QDF régional	SHYREG	Gradex EDF 1000 ans
10	400	400	400	335	
20	578	444	492	397	
30	682	482	559	442	
50	814	544	655	498	
100	992	654	799	596	
500	1406	997	1170	893	
1000	1584	1165	1336	1049	1119
3000	1867	1440	1601	1296	
5000	1998	1570	1725	1411	
10000	2176	1747	1894	1566	
30000	2459	2029	2161	1813	





Figure 11 : extrait du rapport Suez 2018 : résultats de modélisation Q10-Q30000

La méthode QDF est retenue à l'issue de l'analyse. Elle donne avec une estimation du Q100 à 800 m³/s à Lourdes est 759 m³/s à Argeles Gazost.

Ce choix est motivé non par une loi mathématique mais pour permettre de rester dans une estimation cohérente avec les études existantes tout en étant logique vis-à-vis de l'estimation des occurrences des crues historiques.

Pour rappel le tableau comparatif des 3 méthodes avec la bibliographie est le suivant :

Station	Valeur de base		Q10 - 10%			Modèle QDF Soyans - Ds Socose	
	Q10 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Q10 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Ecart	Q100 (m3/s)	Ecart
Argelès	380	759	342	683	-10%	855	13%
Lourdes	400	799	360	719	-10%	900	13%
St-Pé-de-Bigorre	400	799	360	719	-10%	900	13%

Figure 12 : Extrait du rapport Suez 2018 pages 55

Nous utiliserons pour point de comparaison, cette estimation de la Q100 à 800 m³/s à Lourdes.

2.5. TABLEAU RECAPITULATIF :

Le tableau récapitulatif qui suit reprend les résultats des trois études présentées. Nous comparerons nos calculs avec ces derniers.



Etude hydrologique à la confluence du gave de Cauterets et le gave de Pau (65)

Point de calcul	Q10	Q20	Q50	Q100	Etude de référence
Gave de Pau à Lourdes	400	492	655	799	Suez 2018
Gave de pau à Argelès Gazost	360	468	622	759	Suez 2018
Gave de Cauterets à la confluence	109	136	180	218	Suez 2018
Gave de Gavarnie à la confluence	230	287	379	410	Suez 2018
Gave de pau à Argelès Gazost	400	475	575	650	SIEE 2006
Gave de Cauterets à la confluence	115	135	210	285	RTM 2004
Gave de Gavarnie à la confluence	235	280	340	385	RTM 2004

PARTIE 3. PRESENTATION DES DONNEES DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE

Les données nécessaires à l'analyse hydrologique sont les données pluviométriques, les données débitmétriques, l'occupation du sol et le Modèle Numérique de Terrain (MNT).

3.1. MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT)

Le modèle numérique de terrain est d'une résolution de 38 mètres. Il couvre l'ensemble du bassin versant (figure suivante).

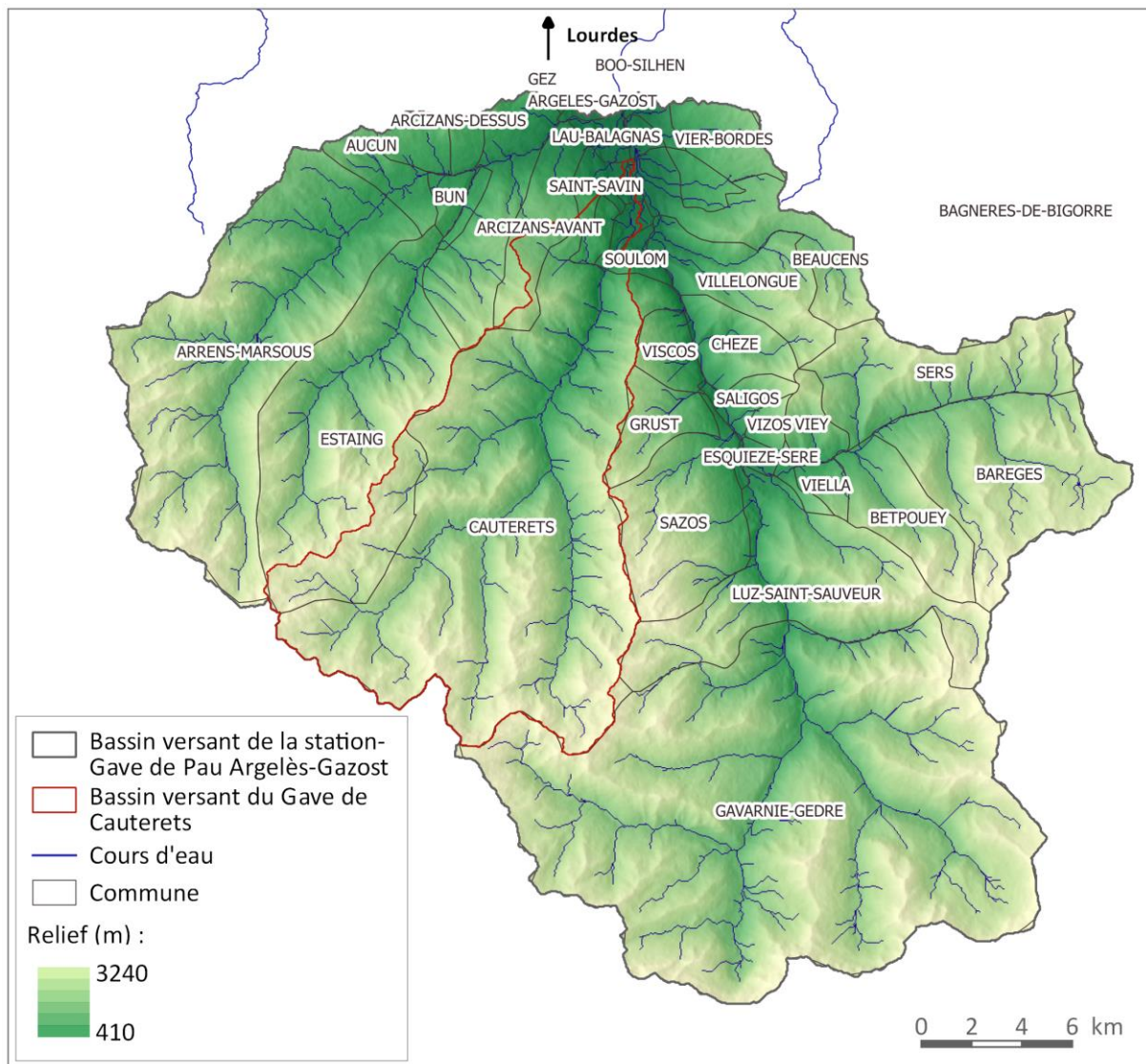


Figure 13 : Relief du bassin versant du Gave de Pau et du Gave de Cauterets à Argelès-Gazost

3.2. DONNEES HYDROMETRIQUES

3.2.1. Disponibilité des stations hydrométriques

Il existe sur le bassin versant plusieurs séries de données provenant de stations hydrométriques dont certaines n'existent plus (figure suivante) :

- ▲ Gave de Pau à Sassis (Pescadères)- *encore en fonctionnement*,
- ▲ Gave de Pau à Argelès-Gazost (Pont de Tilhos) - *encore en fonctionnement*,
- ▲ Gave de Pau à Boû-Silhens (voie verte) - *n'existe plus*
- ▲ Gave de Pau à Lourdes (Saint-Michel) - *n'existe plus*,
- ▲ Gave de Pau à Lourdes (Paradis) - *encore en fonctionnement*.
- ▲ Gave de Cauterets à Cauterets (Pont de Fanlou) – *remise en fonctionnement en 2019*.
- ▲ Gave de Cauterets à Cauterets la Raillère - *encore en fonctionnement*.

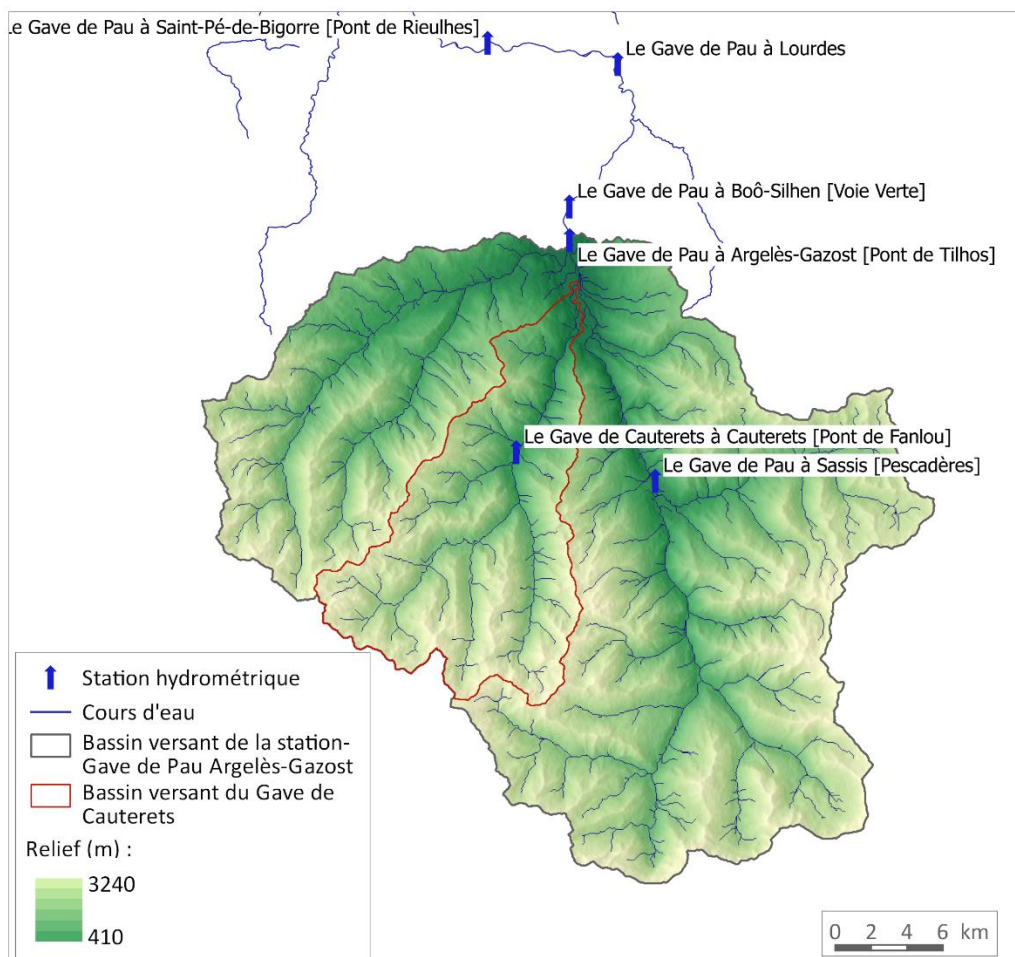


Figure 14 : Station hydrologique sur le bassin versant du Gave de Pau et du Gave de Cauterets

Les deux tableaux suivants récapitulent les caractéristiques hydrométriques des stations.

Station hydrométrique	Gave de Pau à Sassis	Gave de Pau à Argelès-Gazost	Gave de Pau à Boô-Silhens	Gave de Pau à Lourdes (Saint-Michel)	Gave de Pau à Lourdes	Gave de Cauterets à Cauterets (Pont Fanlou)	Gave de Cauterets à Cauterets (La Raillère)
Numéro	Q4401010	Q4701010	Q4701020	Q4761010	Q4761020	Q4564010	Q454000101
Producteur	EDF	DREAL Aquitaine	DREAL Aquitaine	DREAL Aquitaine	DREAL Aquitaine	DREAL Aquitaine puis DIREN Midi Pyrénées depuis 2009	EDF
Superficie	412 km ²	-	-	1070 km ²	1070 km ²	137 km ²	137km ²
Altitude	643 m	400 m	414 m	365 m	400 m	915 m	?
X : Coord. Lambert II étendu	407376	402479	402455	-	405088	399599	?
Y : Coord. Lambert II étendu	1767706	1781102	1782975	-	1790945	1769242	?
Date de données de débits disponibles	1960-2014	2004-2018	Non disponible	1919-2006	1998-2018	1960 - 1987	?
Débits instantané maximal connu (m ³ /s)	-	-	-	296 m ³ /s le 10/09/2003	-	-	?
Débits journalier maximal connu (m ³ /s)	274 m ³ /s le 21/10/1977	-	-	705 m ³ /s le 27/10/1937	-	72 m ³ /s le 9/11/1984	?

Tableau 2 : Caractéristiques des stations hydrométriques. Source : Banque Hydro

Station hydrométrique	Gave de Pau à Sassis	Gave de Pau à Argelès-Gazost	Gave de Pau à Boô-Silhens	Gave de Pau à Lourdes (Saint-Michel)	Gave de Pau à Lourdes	Gave de Cauterets à Cauterets (Pont Fanlou)
Q2	86 [80:93]*	-	-	210 [200:230]	-	38 [36:42]*
Q5	120 [110:130]*	-	-	290 [260:330]	-	49 [45:56]*
Q10	140 [130:160]*	-	-	330 [300:390]	-	55 [50:65]*
Q20	160 [150:190]*	-	-	380 [340:450]	-	62 [56:75]*
Q50	190 [170:220]*	-	-	440 [390:530]	-	70 [63:87]*

Tableau 3 : Débit de référence instantané** des stations hydrométriques (* débit de référence journalier pour la station du pont Fanlou pour information). Source : Banque Hydro

**Les débits de références instantanés sont calculés par ajustement d'une loi de Gumbel et la méthode des moments pondérés



- Malgré une demande auprès des services de EDF, les chroniques de données débitmétriques de la station Gave de Pau à Sassis sont indisponibles car en cours de correction et ce même pour des données anciennes,
- Les données pour la station du Gave de Cauterets à Cauterets (Pont Fanlou) donnent accès qu'à des pas de temps journaliers,
- Les données pour la station de la Raillère sont également indisponibles auprès des services d'EDF.

3.2.2. Choix des chroniques de débit à pas de temps faible

Pour l'analyse hydrologique que nous proposons, nous devons travailler sur des chroniques de crues à pas de temps faibles.

Les chroniques intéressantes et disponibles sont celles de la station d'Argelès-Gazost et celles de Lourdes.

La station d'Argelès-Gazost est la plus proche de notre secteur d'étude. Le calage du modèle hydrologique se fera sur ses chroniques. Néanmoins, les données de la station de Lourdes (plus à l'aval) vont permettre de partitionner et d'orienter la détermination des occurrences de chaque évènement. Les figures suivantes présentent les données des deux stations.

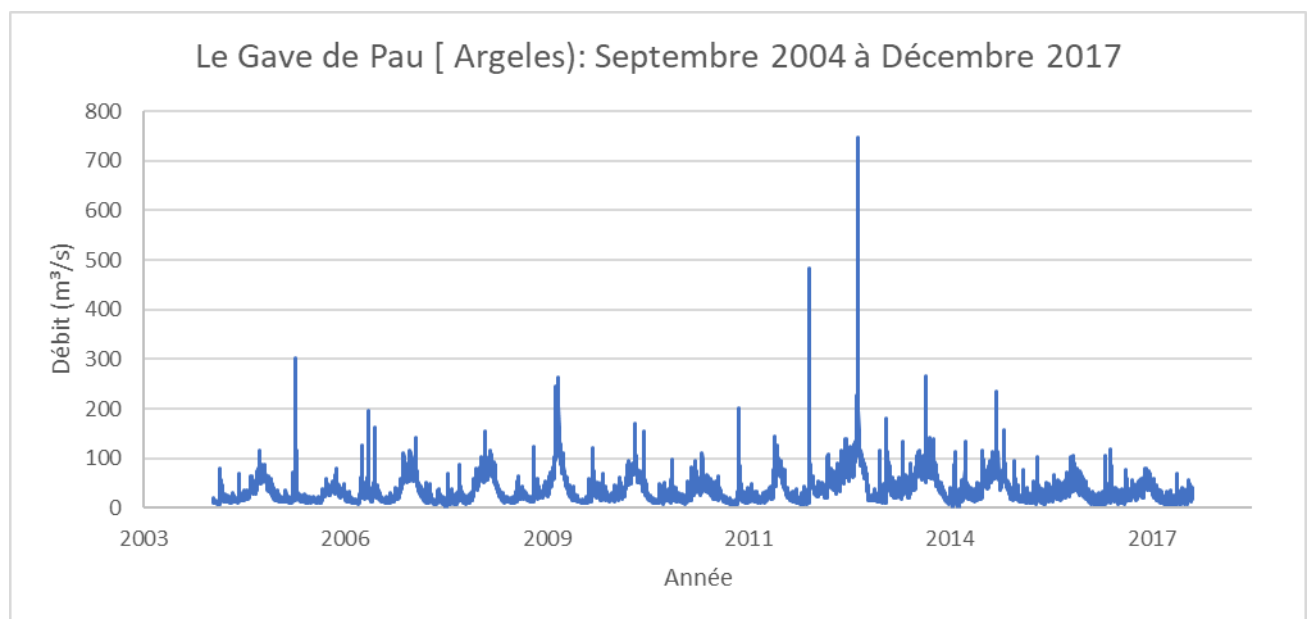


Figure 15 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Argelès

Pour Argeles Gazost, l'échantillon de données est trop faible pour réaliser une statistique fiable. Pour cela, nous ne reportons aucune valeur de débits de référence.

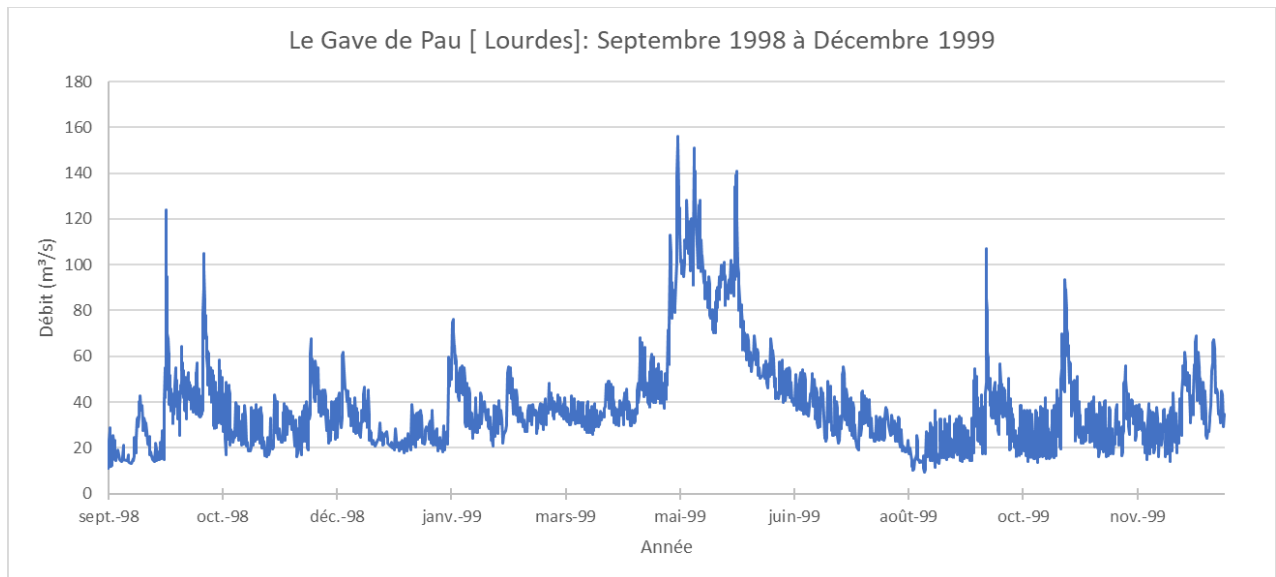


Figure 16 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Lourdes sur la période 1998 - 1999

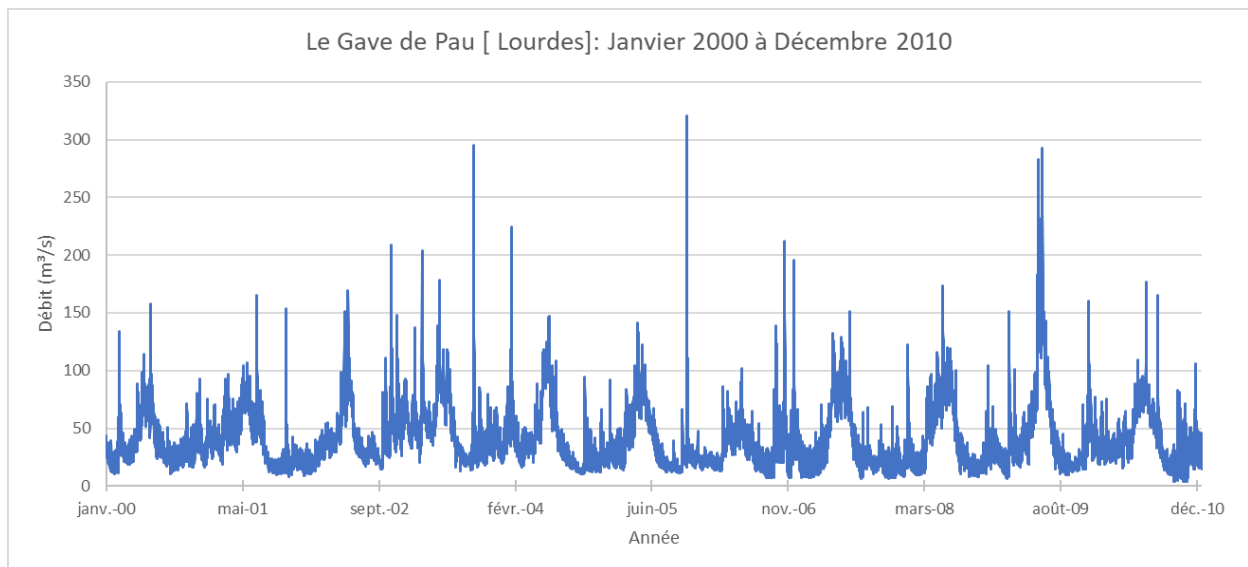


Figure 17 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Lourdes sur la période 2000 - 2010

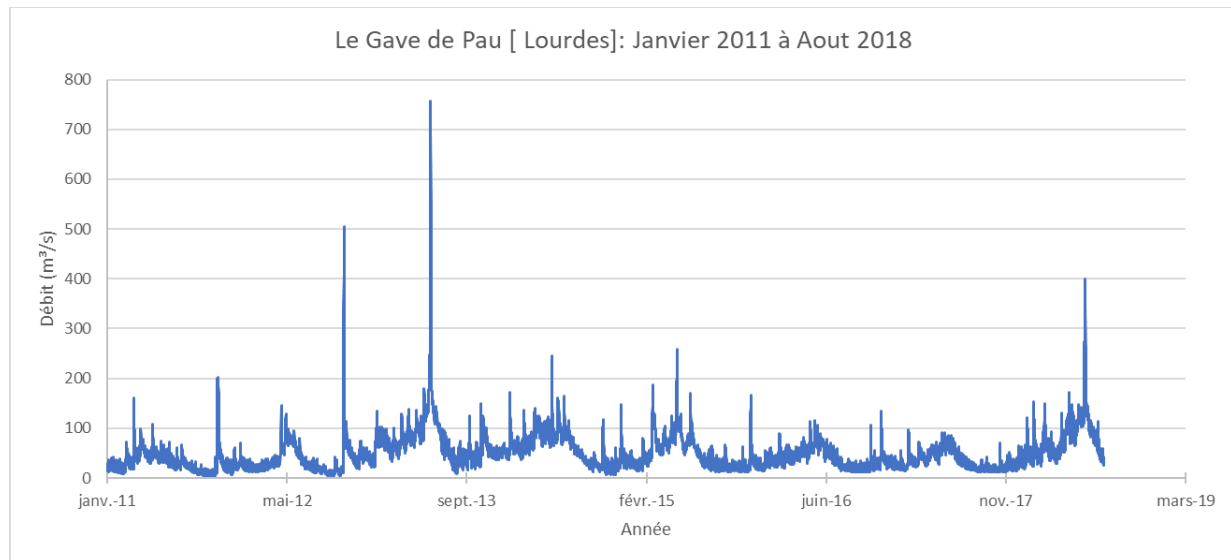


Figure 18 : Chronique de débit observé à la station du Gave de Pau à Lourdes sur la période 2011 – 2018

De ces chroniques, six événements de crue sont ainsi sélectionnés à Lourdes.

Événement	Débit atteint	Commentaire
9 septembre 2003	295 m ³ /s	Absence de données pour la station débitmétrique Argelès-Gazost
29 octobre 2005	321 m ³ /s	Absence de données pluviométriques sur l'événement
24 mai 2009	293 m ³ /s	Période de fonte des neiges
20 octobre 2012	504 m ³ /s	
18 juin 2013	756 m ³ /s	Période de fonte des neiges
13 juin 2018	400 m ³ /s	Période de fonte des neiges

Tableau 4 : Evénements de crue à Lourdes (source Banque Hydro)

Pour rappel, nous calerons MESRI à la station Argeles Gazost. Or L'événement de 2003 ne pourra être utilisé pour le calage du modèle car il n'y a pas de débit observé pour la station d'Argelès-Gazost. De même pour l'événement de 2005, car Météo France ne dispose d'aucune donnée pluviométrique pour cet événement.

Le calage se fera sur les événements de 2009, 2012, 2013 et 2018.

Il faut noter que les événements de 2009, 2013 et 2018 se déroulent entre les mois de Mai et Juin qui correspondent à des périodes de fonte des neiges qui viennent fortement alimenter le cours d'eau.

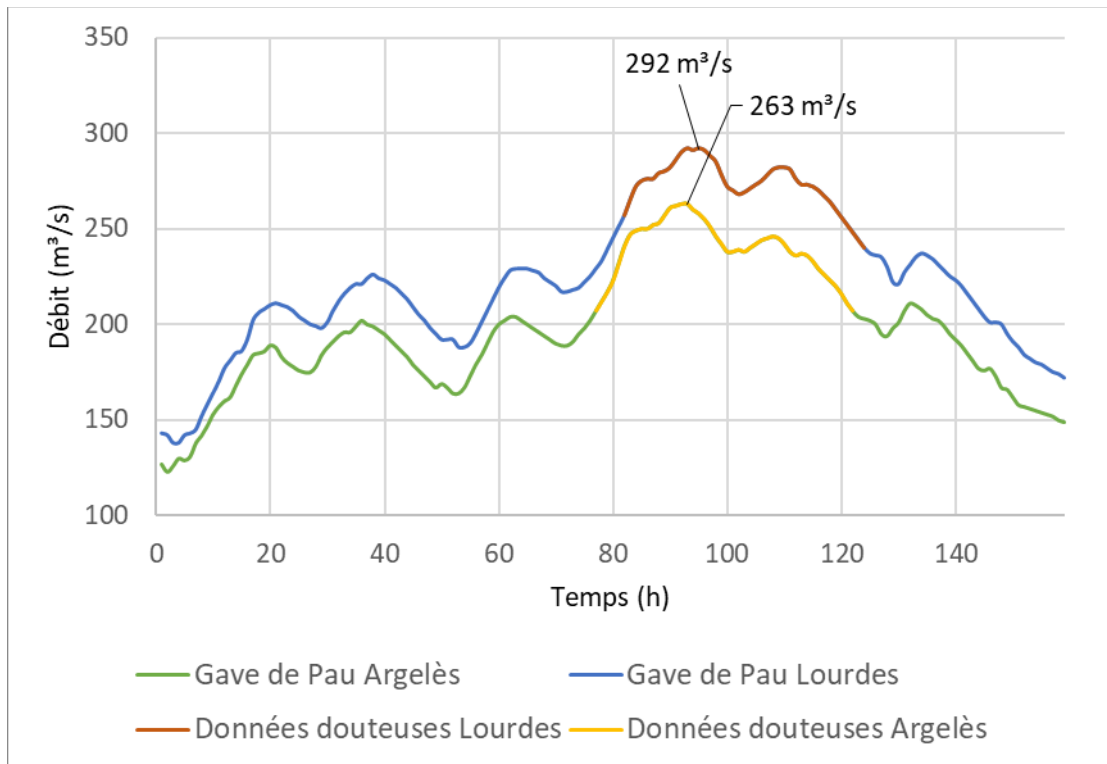


Figure 19 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2009 (QTFIX Banque hydro)

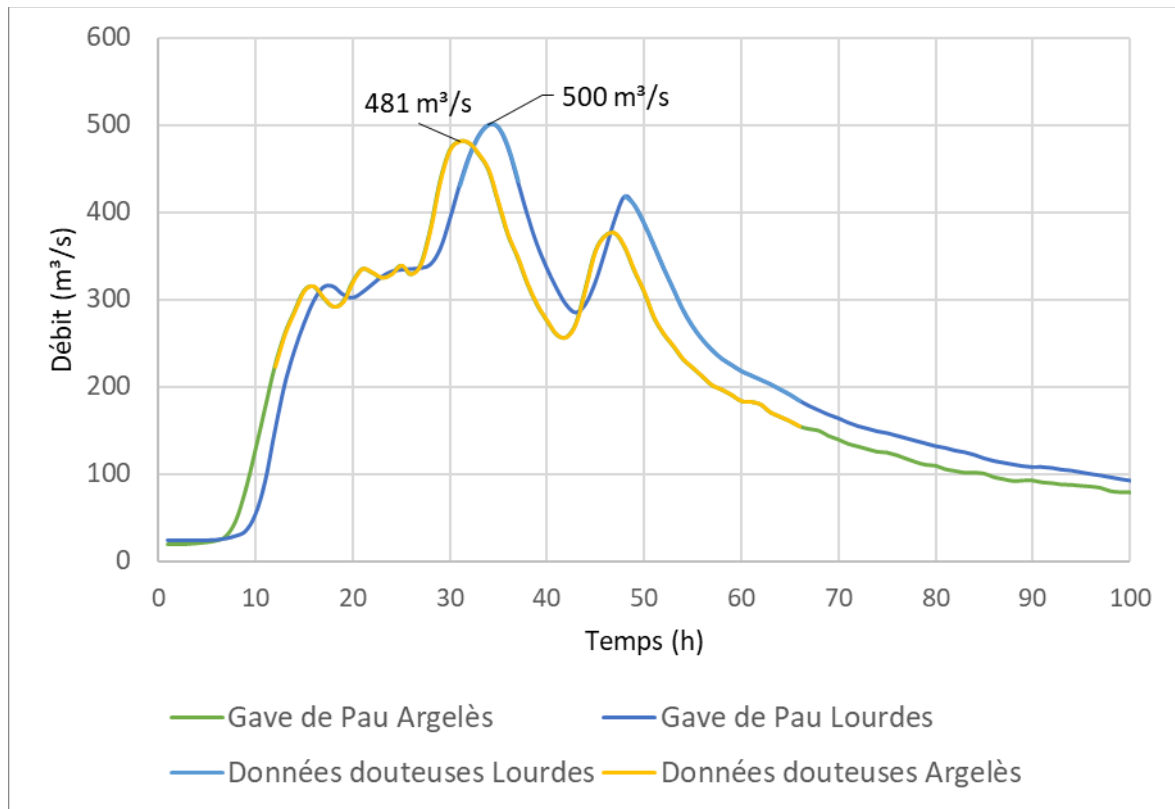


Figure 20 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2012 (QTFIX Banque hydro)

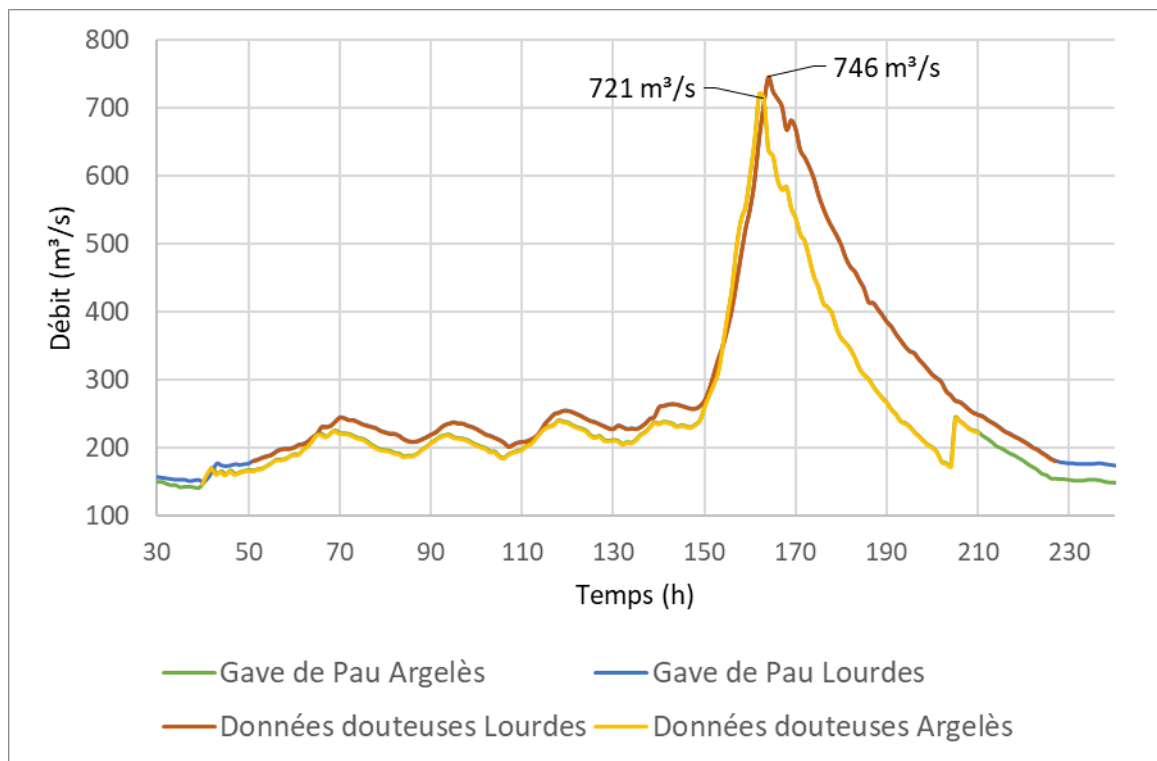


Figure 21 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2013 (QTFIX Banque hydro)

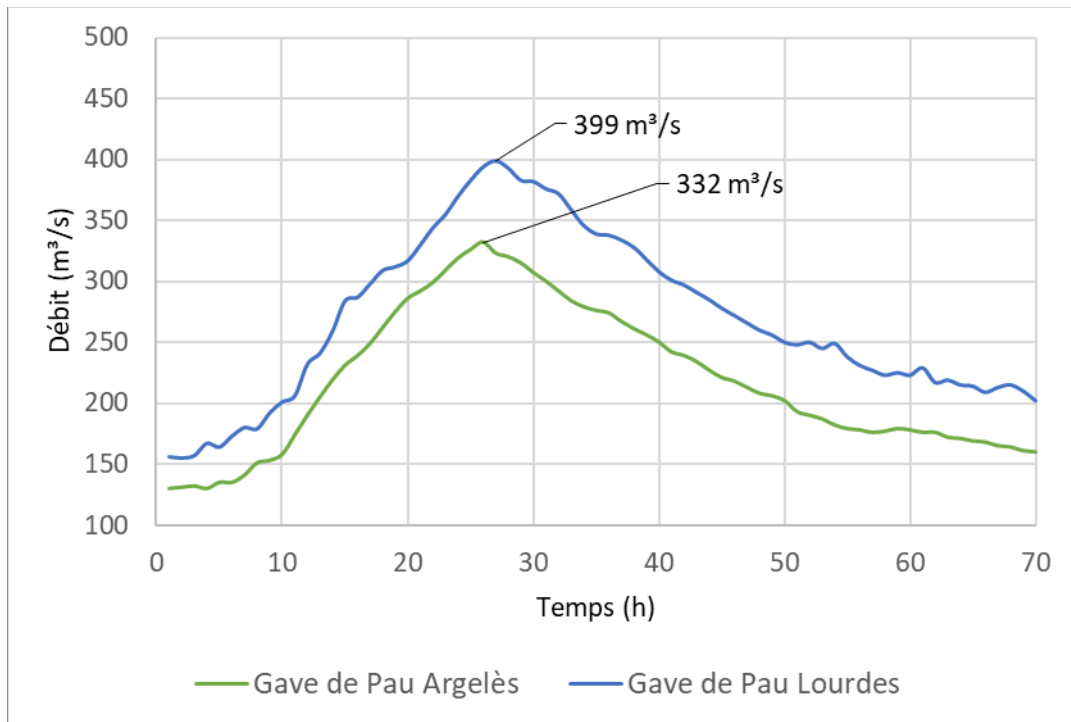


Figure 22 : Débit observé pour les stations hydrométriques du Gave de Pau à Argelès et Lourdes pour l'événement de 2018 (QTFIX Banque hydro)

A noter que les données douteuses sont des données réestimées par retour d'expérience lorsque les appareils sont submergés ou défaillants.

3.3. DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Les données pluviométriques nécessaires à l'étude hydrologique proviennent du réseau de mesures Météo France (figure suivante). Les stations dont les données sont disponibles pour la modélisation des événements historiques sont celles d'Arbeost, Cauterets, Gavarnie, La Mongie et celle d'Adast.

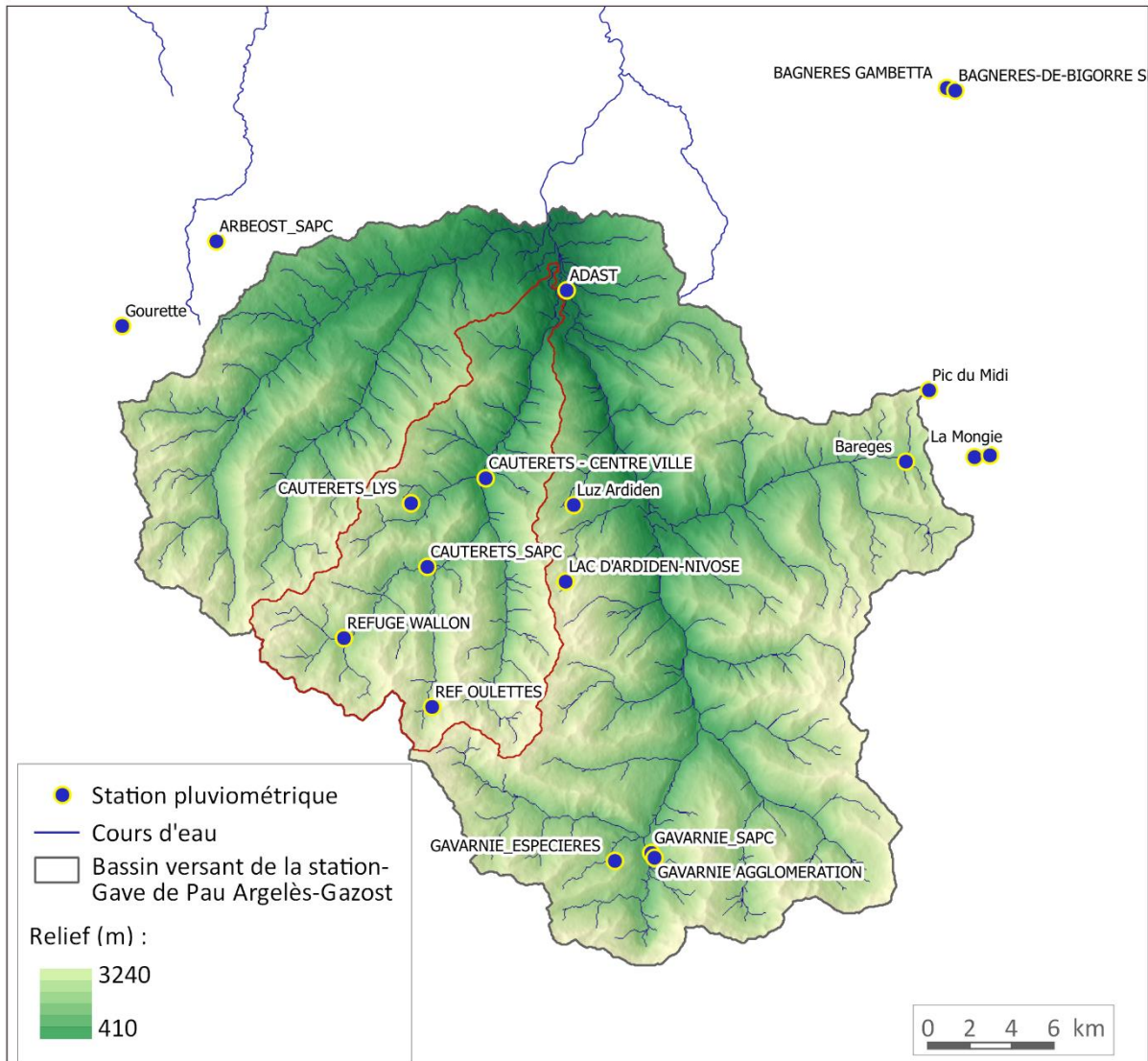


Figure 23 : Station pluviométrique du réseau Météo-France proche du bassin versant d'étude

Les tableaux suivants décryptent les événements pluviométriques et présentent les données pluviométriques disponibles pour chaque événement historique. Rappelons qu'aucune donnée de pluie n'est disponible pour l'événement de 2005 malgré le nombre important de stations pluviométriques proches de la zone d'étude.

→ **Événement pluviométrique de mai 2009**

Occurrence	Pluviométrie (calculé sur 24h): -
<p>Pluviométrie sur les stations de Arbeost et Gavarnie du 20 au 25 mai 2009</p>	
<p>Note</p>	<p>L'épisode pluvieux n'est pas très intense, il n'est pas classé parmi les événements climatiques mémorables de Météo France. Le cumul pluviométrique sur cette période du 20 au 25 mai 2009 n'excède pas 25 mm pour Arbeost et 40 mm pour Gavarnie. Cette crue semble être provoquée davantage par la fonte des neiges importante en cette saison que par une pluie significative.</p>

Tableau 5 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'événement de mai 2009

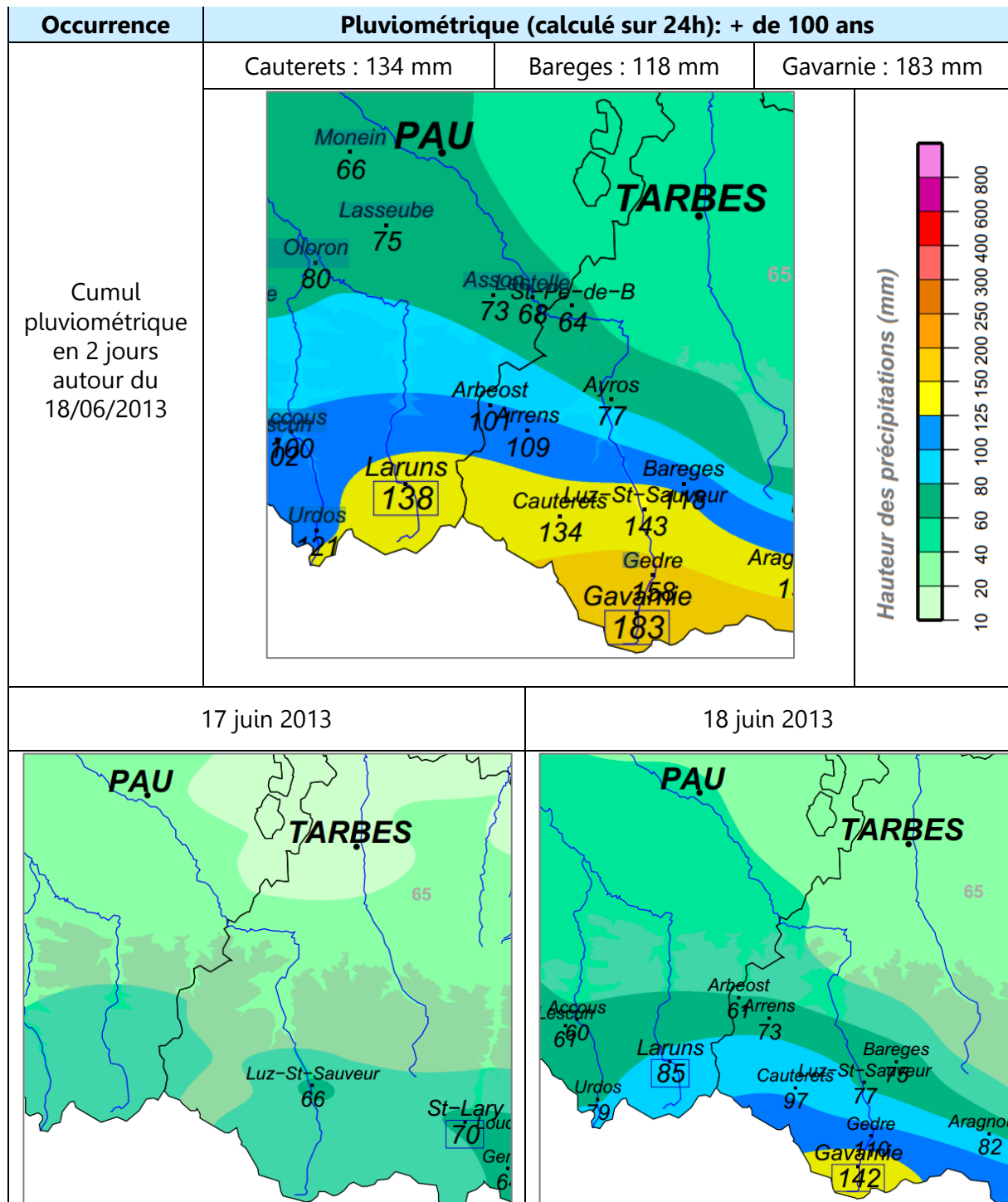
→ **Événement pluviométrique du 20 octobre 2012**

Occurrence	Pluviométrique (calculé sur 24h): + de 100 ans		
Cumul pluviométrique en 3 jours autour du 20/10/2012	Cauterets : 231 mm	Bareges : 155 mm	Gavarnie : 372 mm
Pluviométrie sur les stations de Arbeost, Cauterets et Gavarnie le 19, 20 et 21 octobre 2012			
Note	<p>L'épisode pluvieux est de plus en plus intense en s'approchant des cimes des Pyrénées dont le maximum de pluie atteint 372 mm à Gavarnie en 3 jours. Le bassin versant du Gave de Pau à Argelès Gazost reçoit entre 200 et 400 mm en 72 heures. La pluviométrie au pas de temps horaire montre une pluie orageuse étalée sur environ 30 heures. Les intensités horaires ne dépassent pas les 16 mm.</p>		

Tableau 6 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'événement d'octobre 2012



→ **Événement pluviométrique du 18 juin 2013**



<p>Pluviométrie sur les stations de Arbeost, Cauterets et Gavarnie le 17 et 18 juin 2013</p>	
<p>Note</p>	<p>L'épisode pluvieux est modéré le 17 juin et s'intensifie le 18 juin 2013. Le maximum de pluie atteint 183 mm à la station de Gavarnie. L'ensemble du bassin versant du Gave de Pau à Argelès-Gazost reçoit entre 100 et 200 mm en 48 heures. Les intensités horaires ne dépassent pas les 16 mm.</p>

Tableau 7 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'événement de juin 2013

→ **Événement pluviométrique du 12 et 13 juin 2018**

Occurrence	Pluviométrie (calculé sur 24h): 20-50 ans
<p>Pluviométrie sur les stations de Arbeost, Cauterets, La Mongie, Adast et Gavarnie du 12 et 13 juin 2018</p>	
<p>Note</p>	<p>L'épisode pluvieux n'est pas très intense, il est étalé sur un peu plus de 20 heures. Le cumul pluviométrique est assez hétérogène sur le bassin versant. Gavarnie ne compte qu'à peine 30 mm contre des cumuls de pluie atteignant 72 mm pour Adast, 91 mm pour La Mongie, 96 mm pour Cauterets et 105 mm pour Arbeost.</p>

Tableau 8 : Synthèse des données pluviométriques disponibles pour l'événement de juin 2018

3.4. OCCUPATION DU SOL

Le modèle prend en compte l'occupation du sol Corine Land Cover 2012 dans son calage (cf Annexe 1).

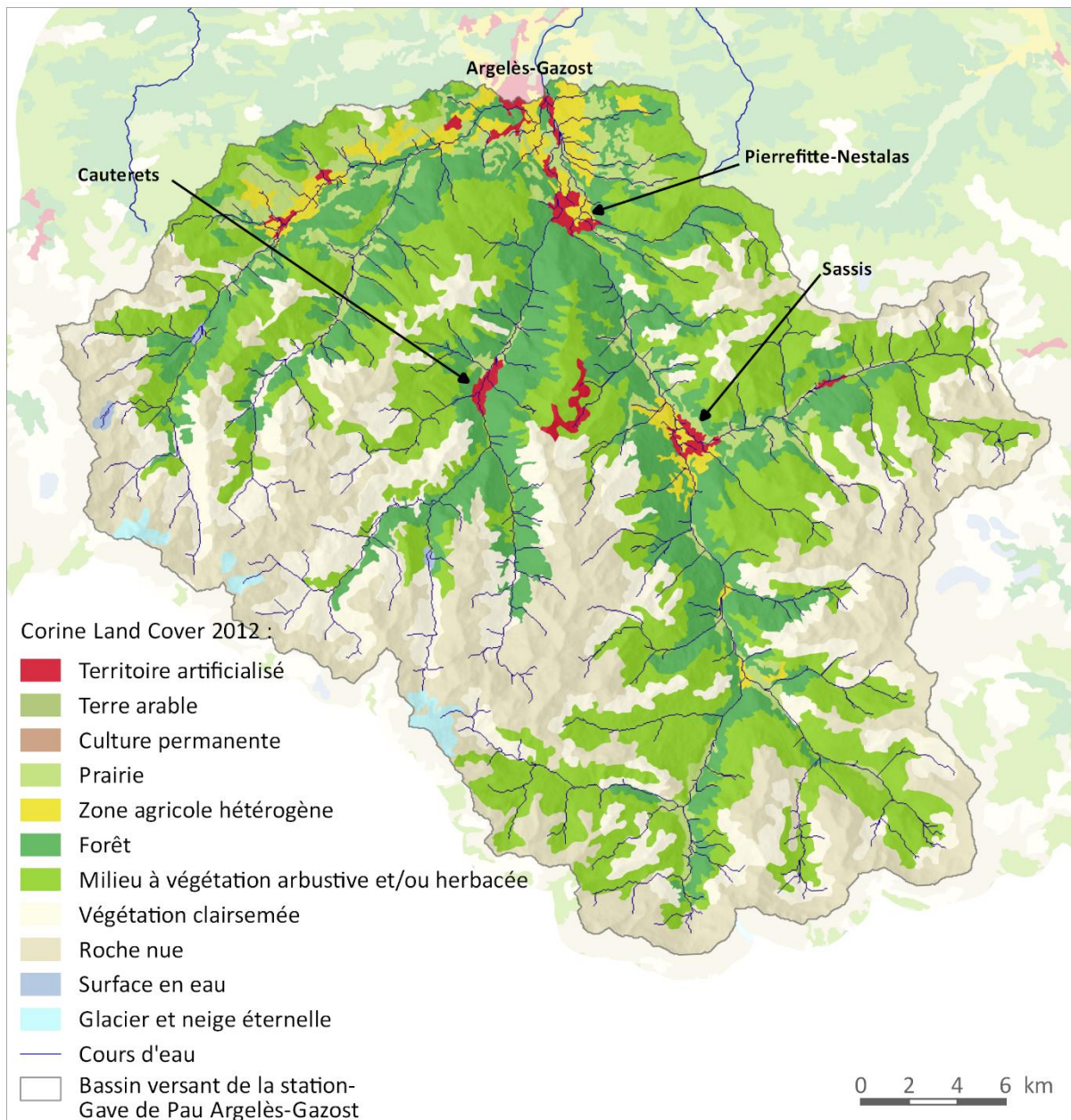
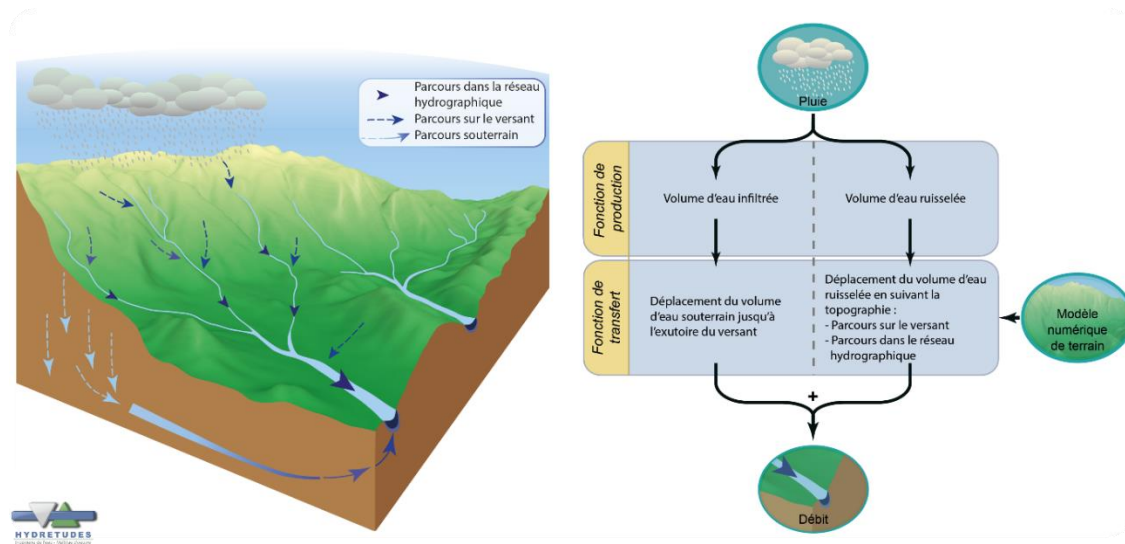


Figure 24 : Occupation du sol du bassin versant étudié

PARTIE 4. PRINCIPE GENERAL DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT SPATIALISEE ADAPTEE AUX BESOINS DE L'INGENIEUR



4.1. LE MODELE MESRI :

MESRI est un modèle événementiel spatialisé. Il permet à partir du Modèle Numérique de Terrain (source Bd Alti IGN) et des pluies tombées sur le territoire d'estimer les débits à l'exutoire d'un bassin versant. Il analyse donc la morphologie du bassin versant et calcule la réponse hydrologique de celui-ci. Le modèle se décompose en deux processus :

- La fonction de production qui partitionne la pluie en volume d'eau infiltrée et en volume d'eau ruisselée,
- La fonction de transfert qui calcule le déplacement des volumes d'eau de surface et d'eau de sub-surface. Dans cette deuxième phase, le modèle crée son réseau hydrographique et deux cartographies des distances :
 - Cartographie des distances sur versant : la distance au réseau hydrographique pour chaque pixel.
 - Cartographie des distances dans le réseau hydrographique : la distance de chaque pixel « réseau » à l'exutoire du bassin versant.

Grâce à ces cartographies et à une estimation des vitesses sur versant, des vitesses réseau et des vitesses de sub-surface, MESRI calcule le débit qui est la somme entre le débit de surface et le débit de sub-surface pour l'exutoire demandé.

Applicabilité : MESRI s'applique à des bassins versants de l'ordre de quelques kilomètres carrés à 1000-3000 km². Se basant sur une analyse géomorphologique du bassin versant, il est nécessaire que celui-ci soit un bassin versant dit "naturel" où la dynamique de l'écoulement est plus influencée par les contraintes naturelles qu'urbaines ou anthropiques. Les points de calcul demandés doivent se situer en dehors des zones urbaines. Enfin, le modèle MESRI est propice aux bassins versants où l'écoulement est rapide, en zone avec des reliefs marqués.

L'annexe 1 précise d'avantage les étapes et le fonctionnement du modèle.

4.2. PREPARATION DES DONNEES AUX CALAGE DES PARAMETRES DE MESRI

4.3. CALCUL DES CHEMINEMENTS HYDRAULIQUES

Dans un premier temps, le calcul des cheminements sur versant et en rivière sur les bassins versants est effectué par MESRI (figure suivante). Ces cartes de distance associées à des événements pluvieux permettent de calculer les hydrogrammes de crue.

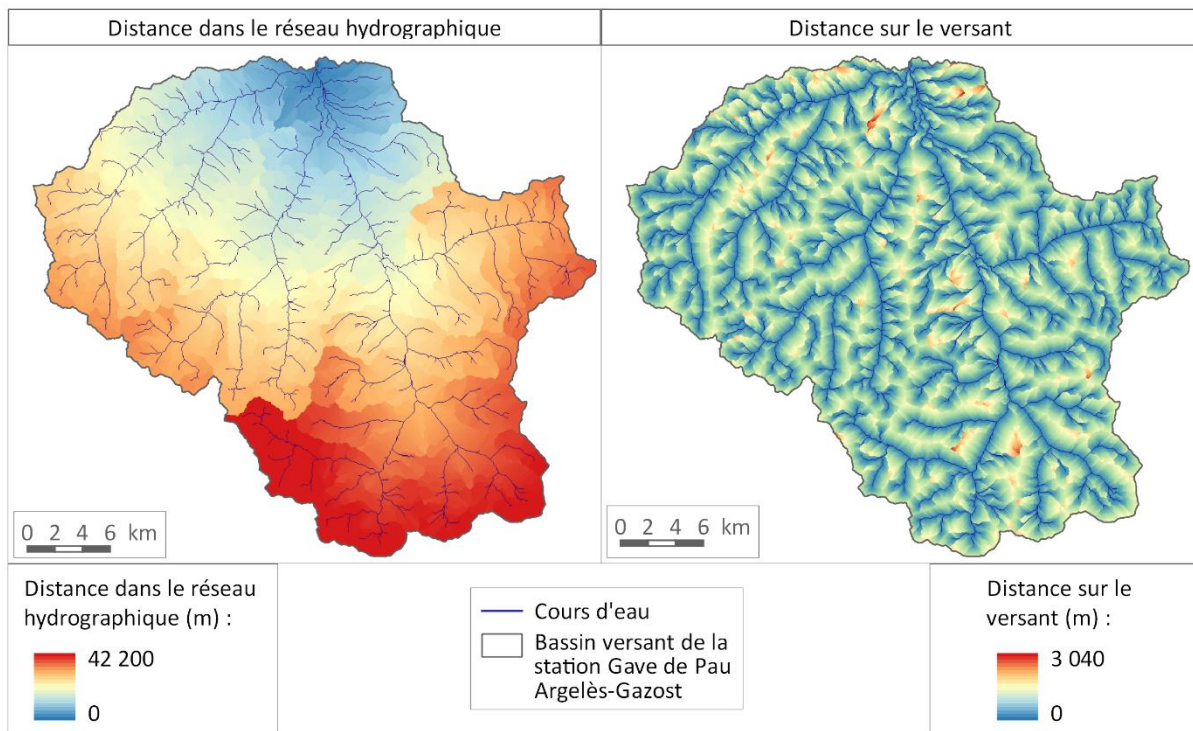


Figure 25 : Distance dans le réseau et distance sur le versant

4.4. HYPOTHESES SUR L'HYDROMETRIE

Nous voyons que le débit de base peut être très fort sur certaines périodes, et ce indépendamment de l'occurrence de la pluie mise en jeu.

Le modèle MESRI reconstitue les phénomènes de ruissellement de surface et de subsurface lors d'une pluie. Pour ajuster nos calculs en fonction d'un apport de fonte de neige, nous pourrions une fois nos modélisations réalisées (ajustement sur la partie ruissellement des hydrogrammes) ajouter une contribution en tant de débit de base de l'ordre de 100 m³/s (car nous voyons que pour l'évènement de 2013 ce débit de base avant la période de pluie intense peut monter + de 200 m³/s à Lourdes voire Argelès). Ceci nous donnera alors une valeur nominale de références ajustée avec le débit de base. L'intervalle de confiance de +/-10% y sera ensuite appliqué.

4.5. HYPOTHESES SUR LA PLUIE

Les tableaux suivants présentent les hypothèses sur les pluies de chaque événement de crue. La pluviométrie injectée dans le modèle est une pluie spatialisée. Le choix s'est porté sur une pluie spatialisée selon les polygones de Thiessen car :

- Premièrement méthode simple à mettre en place car basée sur une approche géométrique ;
- Deuxièmement nous n'avons pas de station pluviométrique caractéristique pour chaque sous-bassin versant ce qui ne nous permet pas de faire de maillage hydrologique indiscutable.

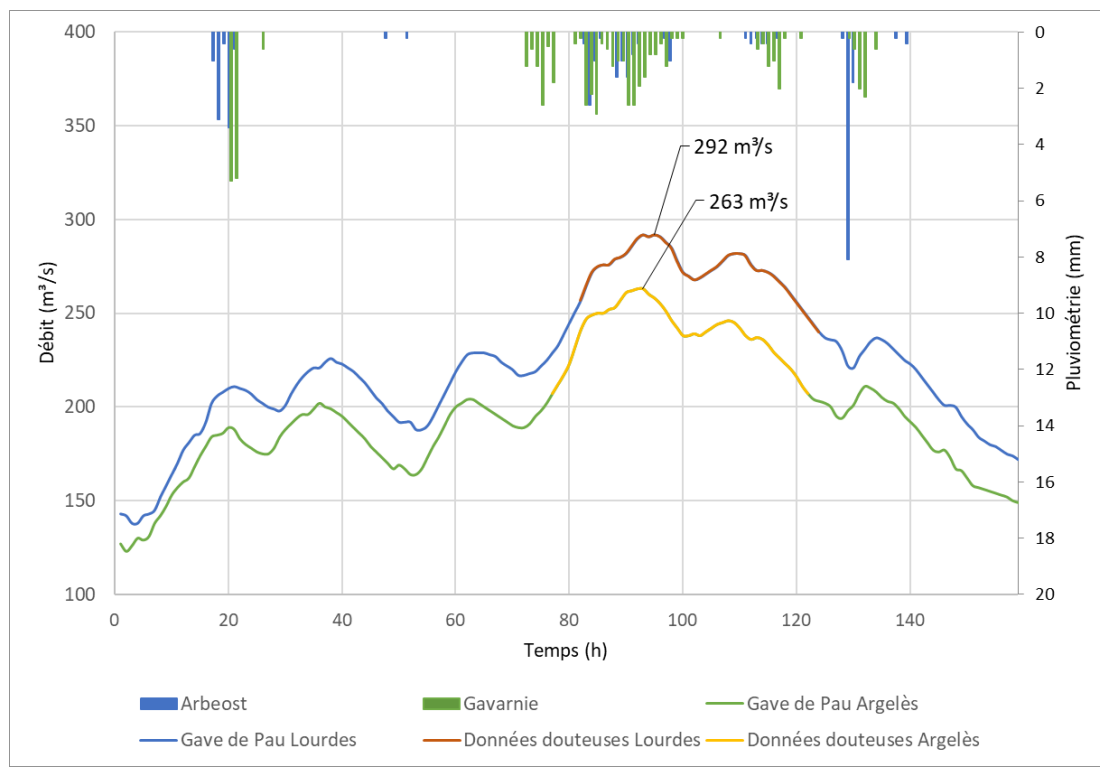
Le maillage suivant les polygones de Thiessen est une construction à base purement géométrique mais qui permet de favoriser la spatialisation des pluies en fonction de la densité des points références.

A chaque polygone est affecté une station de mesure de pluie pour laquelle nous utilisons la chronique de pluie disponible pour chaque événement de crue, soit respectivement :

- *Les pluies d'Arbeost et de Gavarnie sont utilisées pour l'événement de 2009,*
- *Les pluies de Arbeost et de Cauterets pour 2012,*
- *Les pluies Arbeost, Gavarnie et Cauterets pour 2013,*
- *Les pluies d'Arbeost, Gavarnie, Cauterets, La Mongie et Adast pour 2018.*

→ Débitmétrie (Banque Hydro) et pluviométrie (Météo France) de l'événement de 2009

Période de retour pluviométrique sur 24h glissante < à 5 ans



Spatialisation de la pluie selon les polygones de Thiessen

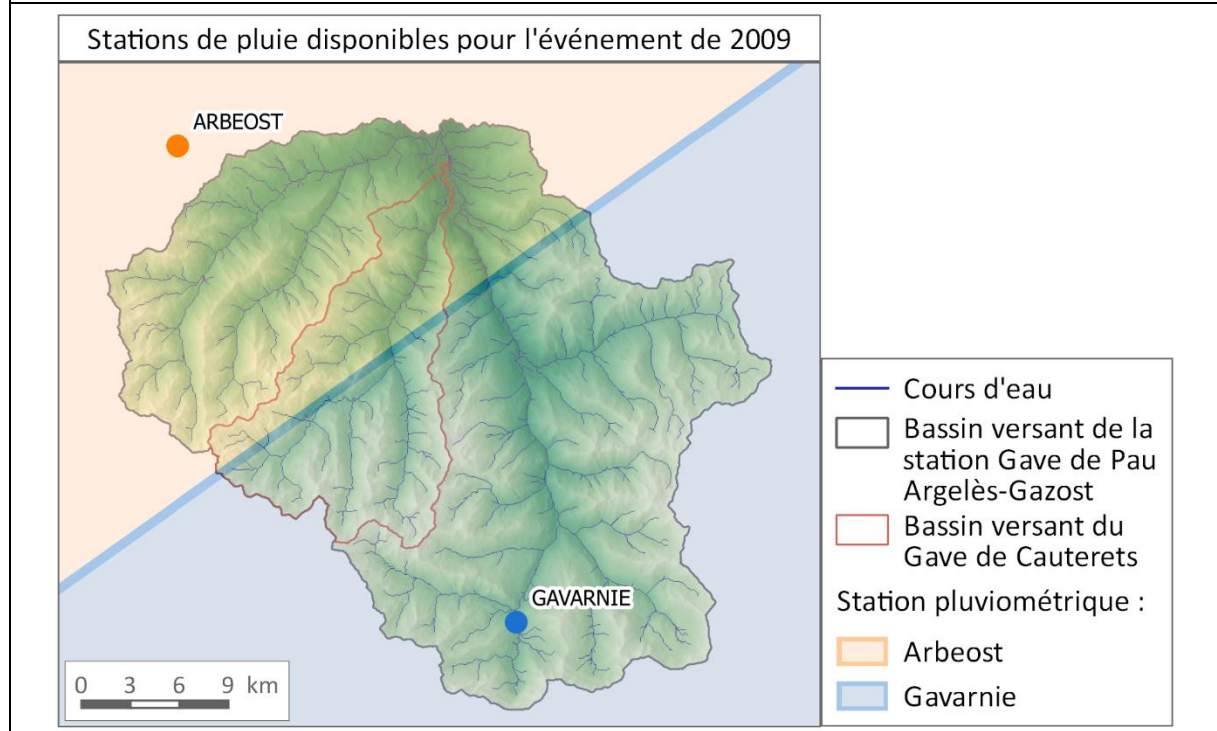
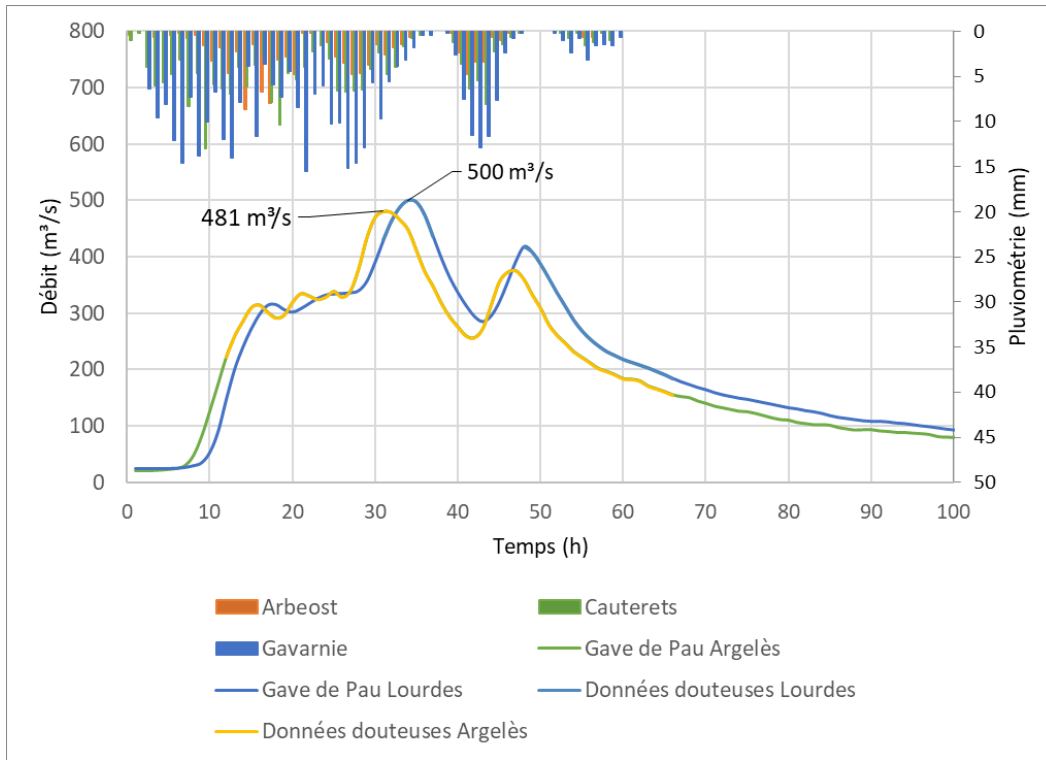


Tableau 9 : Hypothèse pluviométrique pour l'événement de 2009



→ Débitmétrie (Banque Hydro) et pluviométrie (Météo France) de l'événement de 2012

Période de retour pluviométrique sur 24h glissante > à 100 ans



Spatialisation de la pluie selon les polygones de Thiessen

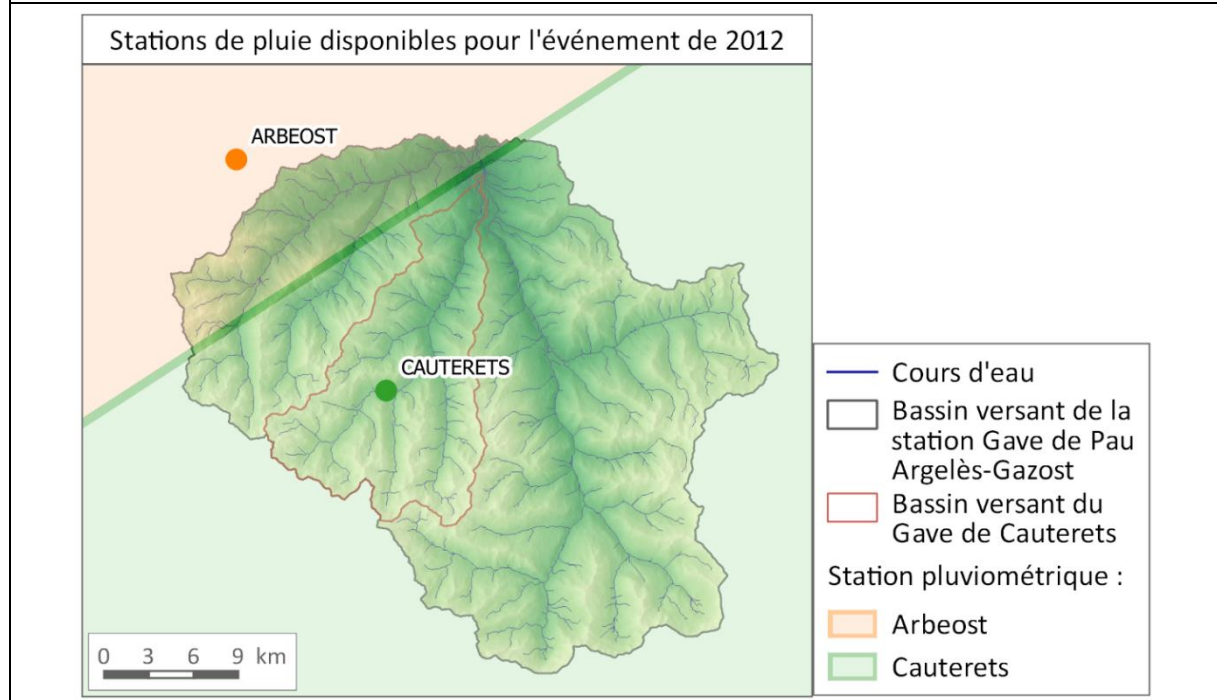
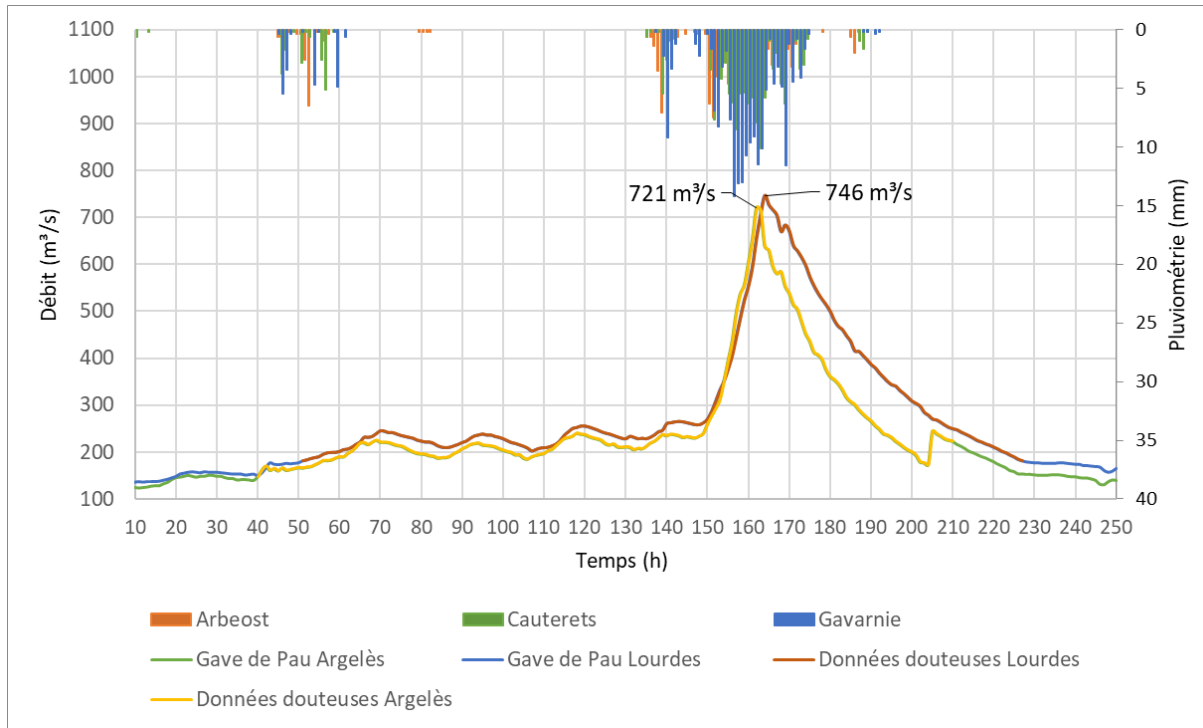


Tableau 10 : Hypothèse pluviométrique pour l'événement de 2012



→ **Débitmétrie (Banque Hydro) et pluviométrie (Météo France) de l'événement de 2013**

Période de retour pluviométrique sur 24h glissante > à 100 ans



Spatialisation de la pluie selon les polygones de Thiessen

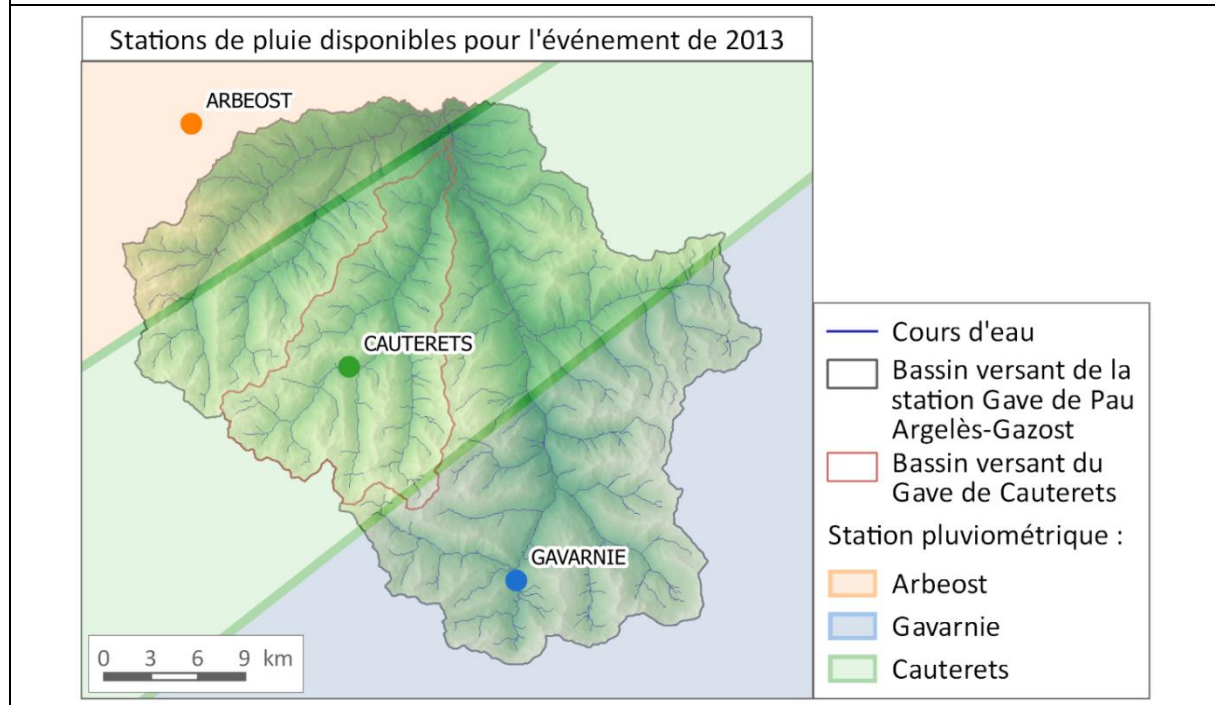
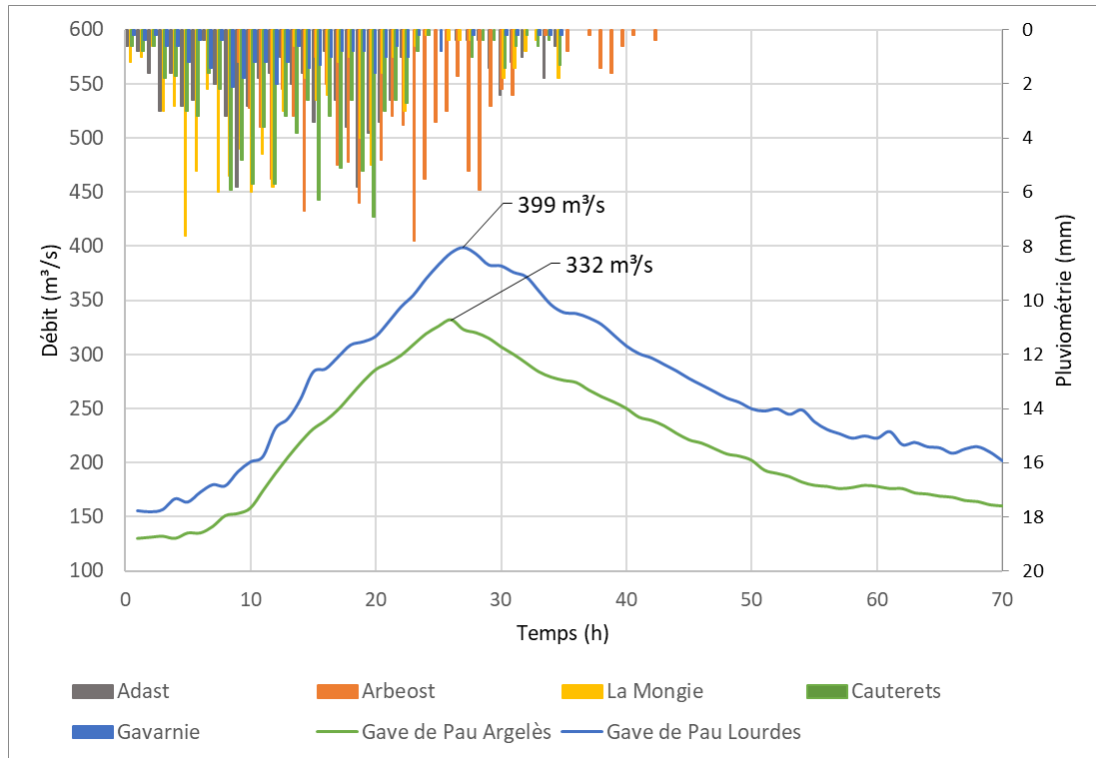


Tableau 11 : Hypothèse pluviométrique pour l'événement de 2013



→ **Débitmétrie (Banque Hydro) et pluviométrie (Météo France) de l'événement de 2018**

Période de retour pluviométrique sur 24h glissante entre 20 et 50 ans



Spatialisation de la pluie selon les polygones de Thiessen

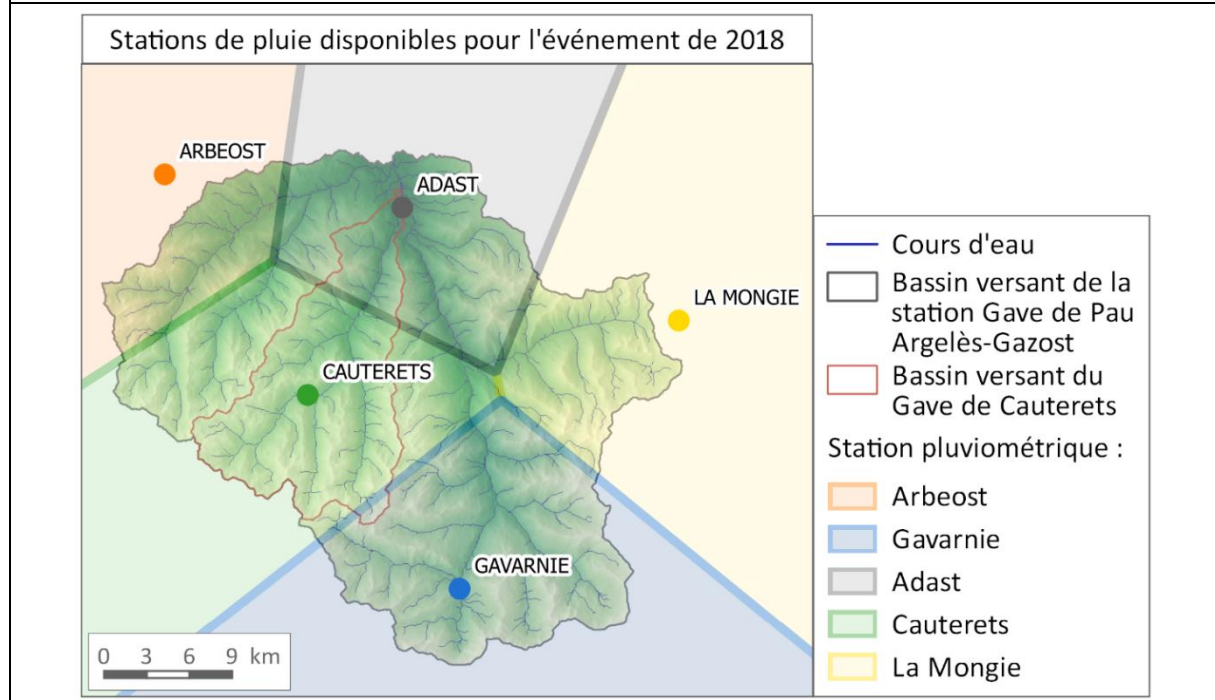


Tableau 12 : Hypothèse pluviométrique sur l'événement de 2018

4.6. CALAGE DES PARAMETRES

Comme vu précédemment, le modèle MESRI nécessite le calage de cinq paramètres :

- P1 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement dans le réseau hydrographie,
- P2 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement souterrain (subsurface),
- P3 : Paramètre de production de surface,
- P4 : Paramètre de production de subsurface,
- P5 : Paramètre de récession de la courbe de tarissement.

Le calage du modèle consiste à trouver le meilleur jeu de paramètres afin de coller au mieux au débit observés des quatre événements de crue sélectionnés.

Les graphiques suivants présentent les reconstitutions d'événements historiques par MESRI.

Pour les événements de 2009, 2013 et 2018, l'apport d'eau par la fonte des neiges est important. Alors nous avons pris en compte cette dimension dans MESRI considérant un débit de base initial pour chaque événement équivalent au débit initial de la chronique de calage soit les valeurs suivantes pour chaque crue :

Evènement	2009	2013	2018
Débit de base initial	120 m ³ /s	200 m ³ /s	120 m ³ /s

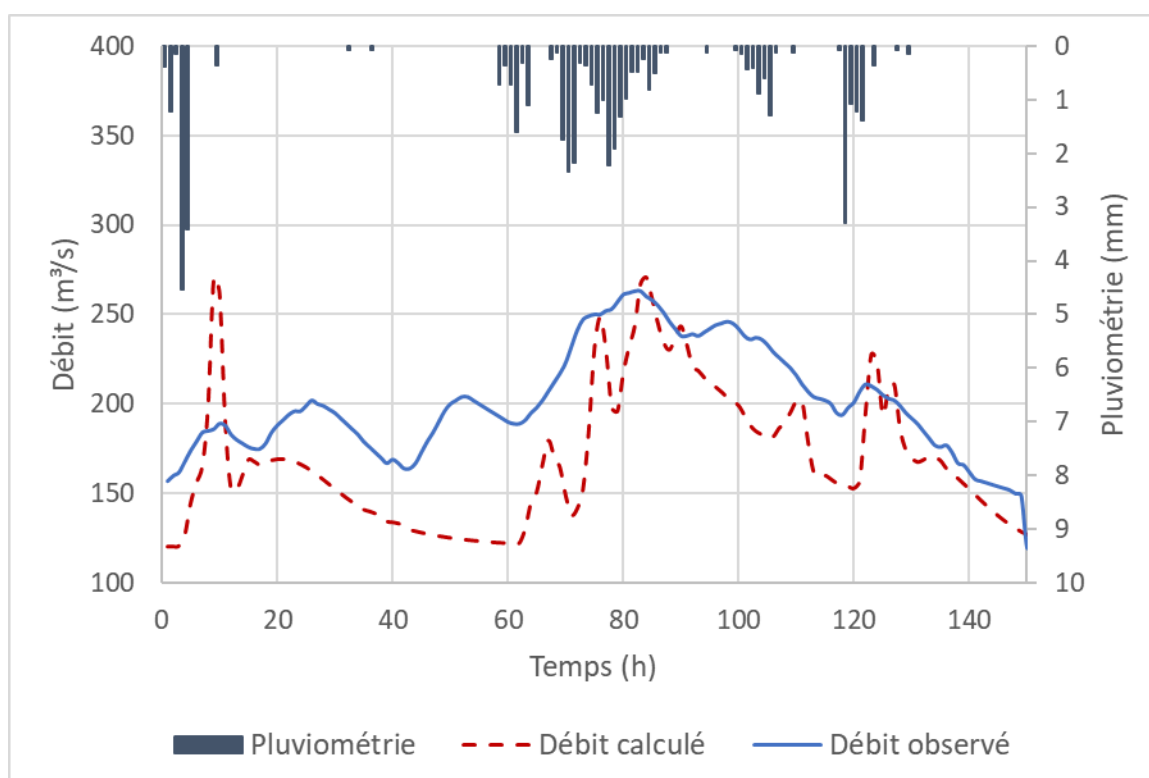


Figure 26 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2009 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost

L'événement de 2009 est particulier et MESRI ne parvient pas à retrouver des débits cohérents avec les débits observés à la station d'Argelès-Gazost. Certaines données de pluie paraissent manquantes au vu des deux pics de crue entre 20h et 60h. Cet événement n'est donc pas retenu afin de caler le modèle hydrologique.

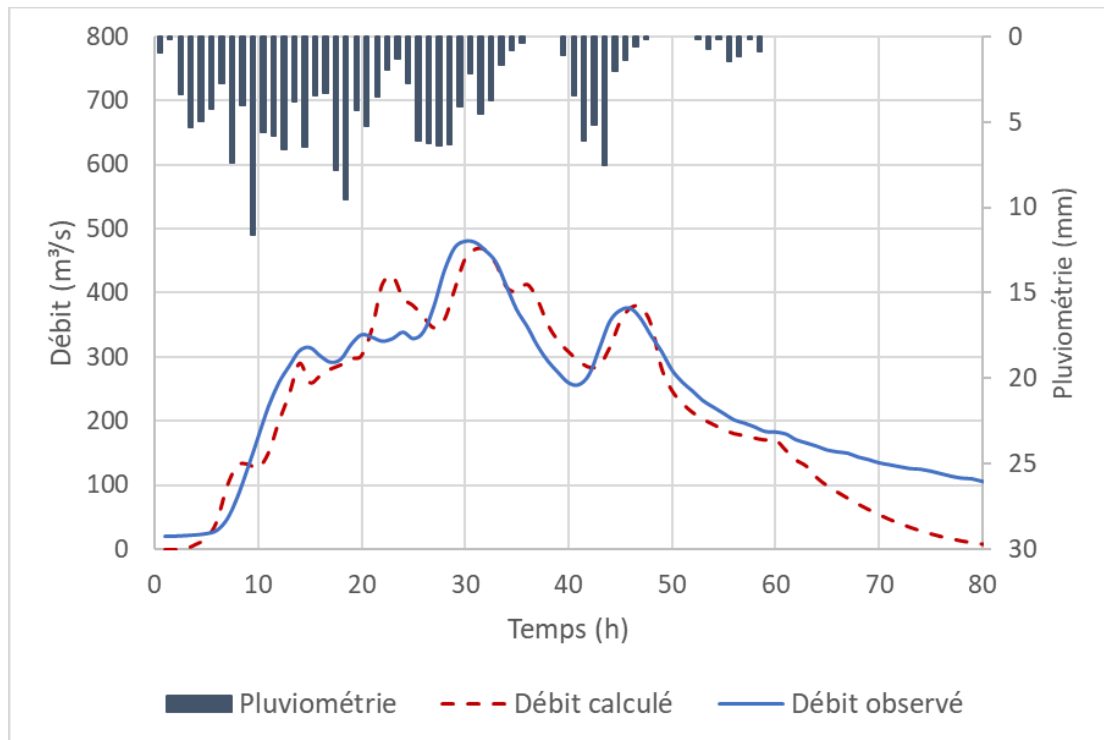


Figure 27 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2012 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost

Pour l'événement de 2012, les débits modélisés sont cohérents avec les débits observés à la station. L'événement historique est bien représenté.

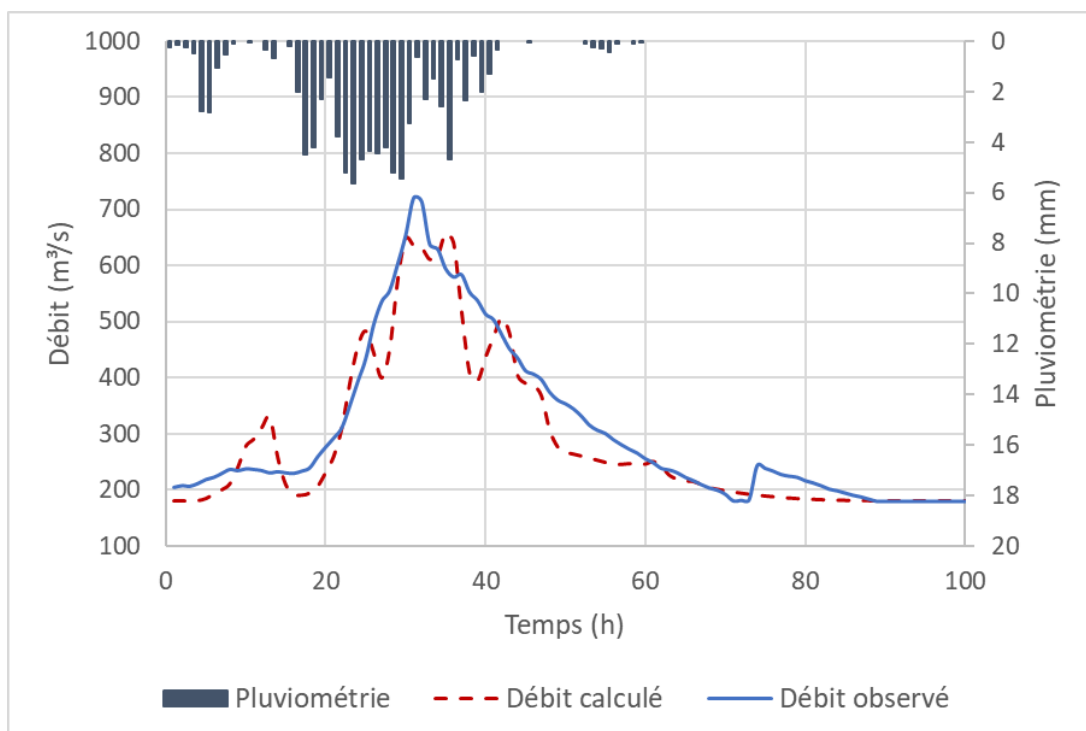


Figure 28 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2013 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost

Concernant 2013, le débit de pointe calculé est plus faible que le débit de pointe observé, en revanche, la dynamique de l'événement est relativement bien représentée. Il faut noter que cet événement se déroule en période de fonte des neiges et que le débit de base est assez important.

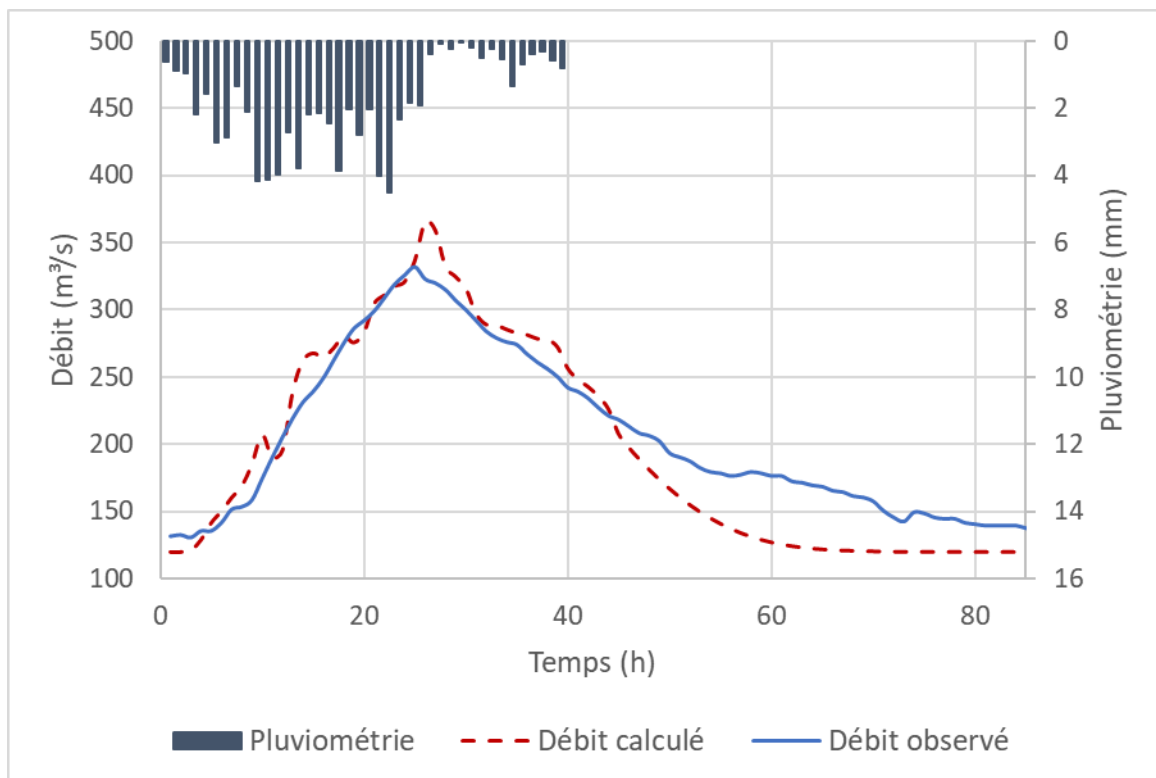


Figure 29 : Comparaison des débits observés et des débits calculés par MESRI pour l'événement de 2018 pour le Gave de Pau à Argelès-Gazost

Pour 2018, l'événement est relativement bien représenté malgré un débit de pointe plus important que le débit observé.

Paramètres MESRI retenus :

Nous retiendrons les paramètres de calage des évènements de 2012 et 2018.

Le jeu de paramètre de 2013 n'est pas retenu en raison de conditions climatiques et hydrologiques spécifiques. Ces paramètres sont les suivants.

Lieu	P1	P2:	P3:	P4:	P5 ¹ :
Gave de Pau à Argelès-Gazost	4.5	0.02	12	0.04	7

Tableau 13 : Paramètres adimensionnels de calage retenus pour les modélisations MESRI

¹ Paramètre de récession de la courbe de tarissement



Les paramètres calés du tableau précédent sont donc utilisés pour toutes les modélisations hydrologiques de l'étude. Les paramètres P1, P2, P4 et P5 restent inchangés pour différentes gammes de débit.

En revanche, le paramètre de production de surface change en fonction des périodes de retour modélisées. Le paramètre de production de surface (P3) est calculé avec une méthode qui s'apparente à celle du Gradex :

$$P3_x = (L_{cal} \times P1_{cal} + (L_x - L_{cal})) / L_x$$

Avec :

- L_{cal} : lame d'eau de la période de retour calée
- $P1_{cal}$: production de surface estimée pour la pluie calée
- L_x : lame d'eau de la période de retour voulue
- $P1_x$: production de surface à rechercher pour l'occurrence x

Les évènements de 2012 et 2018 sont estimés être d'occurrence respective cinquantennale et vicennal. Cette estimation est faite à partir des données de la Banque Hydro.

Nous supposons que ce paramètre est stable pour les occurrences 5, 10, 20 et 50 ans. Néanmoins nous considérerons que ce dernier peut évoluer pour des occurrences au-delà de 50 ans en suivant la formule ci-dessus.

Le paramètre P3 utilisé pour les différentes occurrences de crue est présenté dans le tableau suivant :

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Paramètre de production de surface (P3)	12	12	12	12	18

Tableau 14 : Valeur du paramètre de production de surface en fonction de la période de retour modélisée

Nous noterons que le paramètre de production est invariable entre la Q5 et la Q50 puis augmente lorsque l'on calcul la Q100.

Ceci est causé par la méthodologie de calage. En effet les deux crues que nous avons prises ont un temps de retour estimé entre 20 et 50 ans (par comparaison aux données de la Banque Hydro). Le paramètre P3 calé correspond alors à cette occurrence.

Dans la méthodologie MESRI (voir annexe 1) pour des occurrences au-delà de l'occurrence de calage, nous appliquons une variation de P3 par le principe du Gradex.

Pour les occurrences dessous de celle de calage, par principe de sécurité, nous conservons la valeur de calage.

Ceci explique la valeur fixe de P3 pour les occurrences 5, 10, 20 et 50ans.

4.7. EXTRAPOLATION DES MODELISATIONS DES EVENEMENTS 2012 ET 2013 A LA CONFLUENCE GAVE DE CAUTERETS/GAVE DE PAU

Suite au calage du modèle les l'extrapolation des reconstitutions des évènements de 2012 et 2013 au site d'étude sont les suivantes

PDT (h)	2012		
	Gave de Cauterets	Gave de Pau amont confluence	Gave de Pau aval confluence
Débit max (m ³ /s)	100.80 [90-110]	246.18 [222-270]	361.33 [324-397]

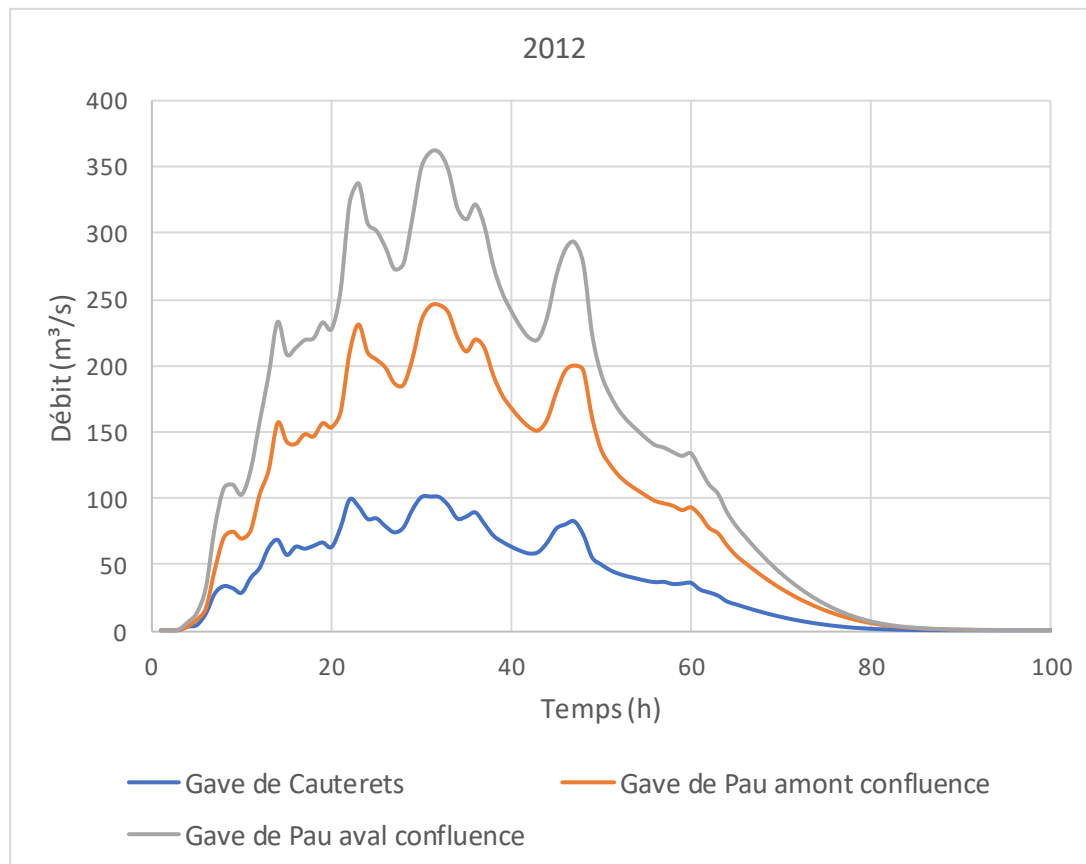


Figure 30 : Résultat de modélisation de l'évènement 2012 au droit du site d'étude

Le RTM a estimé la crue du gave de Cauterets à 120 m³/s donc 10% au-dessus de notre estimation haute.

Par une simple homothétie par la formule de Myer avec un coefficient de 0.8 nous obtenons [118 – 130] m³ /s suivant que l'on prenne Argelès-Gazost ou Lourdes.

Pour le Gave de Gavarnie nous obtenons 284 m³/s par homothétie depuis la station d'Argelès donc toujours légèrement au-dessus de notre estimation.

Par contre nous n'avons pas de données d'incertitude sur les estimations RTM pour 2012 pour vérifier les domaines de validité.

	2013		
PDT (h)	Gave de Cauterets	Gave de Pau amont confluence	Gave de Pau aval confluence
Débit max (m ³ /s)	164.81 [147-180]	247.05 [222-271]	315.13 [283.5-346]

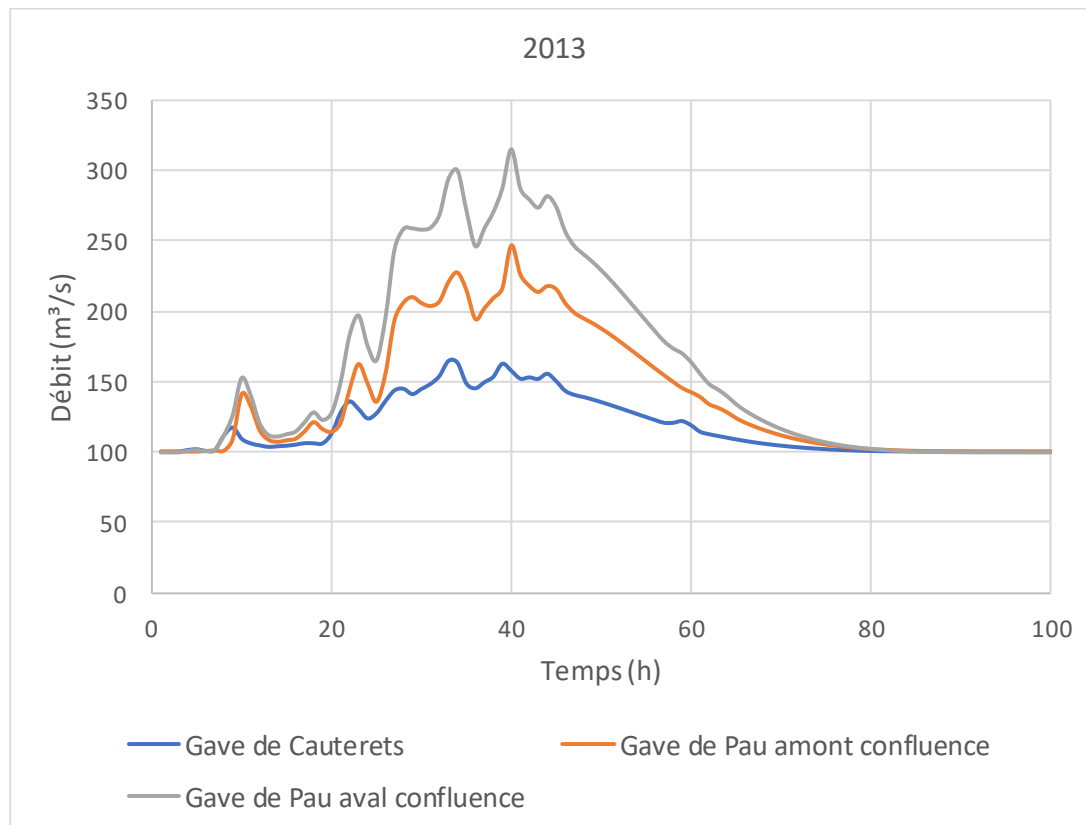


Figure 31 /Résultat de modélisation de l'évènement 2013 au droit du site d'étude

Le RTM a estimé la crue du gave de Cauterets à 190 m³/s par analyse des vitesses de surface donc 6% au-dessus de notre estimation haute.

Par une simple homothétie par la formule de Myer avec un coefficient de 0.8 nous obtenons [176 – 195] m³/s suivant que l'on prenne Argelès-Gazost ou Lourdes.

Bien que ces méthodes de comparaison soient empiriques et pas spécifiquement adaptées au bassin versant les ordres de grandeur sont respectés.

Pour le Gave de Gavarnie nous obtenons 472 m³/s par homothétie depuis la station d'Argelès donc très au-dessus de notre estimation. La reconstitution du gave de Gavarnie est mauvaise. Ceci est certainement dû à l'interaction de la fonte des neiges. Les modules de calcul par ruissellement direct et ruissellement en sub-surface sont mal adaptés à ces cours d'eau avec un compartiment de fonte de neige important. Nous ne pouvons pas ajuster les paramètres de MESRI pour obtenir des max de débit satisfaisant pour Gavarnie. En effet si nous faisons cela, ce sont les volumes d'eau mis en jeu qui seraient alors fortement surestimés, car l'ensemble de la chronique serait remonté.

Sans mesure de terrain sur cet émissaire, il est difficile de trancher. Néanmoins nous admettrons que notre reconstitution est en dessous de la réalité pour cet émissaire qui a dû voir son débit atteindre à minima les 400 m³/s lors de cet évènement avec un apport de fonte de neige très important et bien au-delà de 100 m³/s en écoulement de base.

PARTIE 5. RESULTATS HYDROLOGIQUES

5.1. RESULTAT DE CALCULS ET COMPARAISON AUX ETUDES ANTERIEURES :

Vous trouverez en annexe 3 de ce dossier l'analyse hydrologique par la méthodologie MESRI des réactions des bassins versants du Gave de Cauterets et du Gave de Gavarnie pour des phases de pluie intense. Nous présentons ici l'analyse des résultats et choix des débits de références.

En synthèse les débits issus de l'analyse Hydrétudes 2019 sont :

➤ Pour les points de calcul au droit du projet

Gave de Gavarnie à la confluence				
	Q10	Q20	Q50	Q100
Hydrétudes 2019	257 [231-282] m³/s	284 [256-312] m³/s	325 [292-357] m³/s	465 [418-511] m³/s

Gave de Cauterets à la confluence				
	Q10	Q20	Q50	Q100
Hydrétudes 2019	183 [164-201] m³/s	198 [178-217]m³/s	220 [198-242]m³/s	296 [266-325]m³/s

➤ Pour les points de calcul à l'aval du projet sur des points référence du gave de Pau

Gave de pau à Argeles Gazost				
	Q10	Q20	Q50	Q100
Hydrétudes 2019	382 [343-420] m³/s	426 [383-468] m³/s	497 [447-546] m³/s	737 [663-810] m³/s

Gave de Pau à Lourdes				
	Q10	Q20	Q50	Q100
Hydrétudes 2019	421 [378-463] m³/s	470 [423-517] m³/s	552 [496-607] m³/s	824 [741-906] m³/s




Nous avons comparé nos résultats à 3 études antérieures de référence (RTM 2004 et SIEE pour la réalisation du PPRI et Suez 2018 pour l'étude AMC de la voie verte).



Chaque étude a été comparée au niveau d'un point de calcul équivalent. Nous n'avons pas fait de comparaison en extrapolant certains résultats. Il en ressort les éléments décrits dans les paragraphes suivants.

5.1.1. Comparaison à l'exutoire du gave de Gavarnie

Gave de Gavarnie à la confluence				
	Q10	Q20	Q50	Q100
RTM 2004	235	280	340	385
SIEE 2006	260	∅	∅	420
Suez 2018	230	287	379	410
Hydrétudes 2019	257 [231-282] m³/s	284 [256-312] m³/s	325 [292-357] m³/s	465 [418-511] m³/s




- 
Nos résultats de Q10 à Q50 présentent une évolution plus lente que de Q50 à Q100. Ceci est causé par la valeur fixe du paramètre P3 imposé pour les occurrences inférieures ou égales à 50 ans,
- 
Nos résultats sont toujours équivalents à la bibliographie pour les petites occurrences (10 ans).
- 
Concernant la centennale notre estimation est majorante. Néanmoins rappelons que pour cet émissaire l'estimation Q100 des études antérieures s'est faite par la formule de Myer avec un exposant de l'ordre de 0.8. Or cette méthodologie n'est pas appropriée pour cette occurrence.

5.1.2. [Comparaison à l'exutoire du gave de Cauterets](#)

Le tableau de comparaison est le suivant :

Gave de Cauterets à la confluence				
Point de calcul	Q10	Q20	Q50	Q100
RTM 2004	115 (104-149)	135	210	285 (220-400)
SUEZ 2018	109	136	180	218
Hydrétudes 2019	183 [164-201] m³/s	198 [178-217]m³/s	220 [198-242]m³/s	296 [266-325]m³/s

Tableau 15 : Comparaison des débits Hydrétudes et RTM (2004) au Gave de Cauterets


-  **Nos résultats de Q10 à Q50 présentent une évolution plus lente que de Q50 à Q100. Ceci est causé par la valeur fixe du paramètre P3 imposé pour les occurrences inférieures ou égales à 50 ans,**
-  **Nos résultats sont toujours au-dessus des valeurs de RTM 2004. L'écart diminue cependant lorsque l'on se déplace vers les hautes occurrences.**
-  **Nos résultats sont largement au-dessus de ceux de SUEZ 2018.**

5.1.3. [Comparaison Gave de Pau à Argeles Gazost](#)


Le tableau de comparaison est le suivant :

Gave de pau à Argeles Gazost				
Point de calcul	Q10	Q20	Q50	Q100
SIEE 2006	400	475	575	650
SUEZ 2018	360	468	622	759
Hydrétudes 2019	382 [343-420] m³/s	426 [383-468] m³/s	497 [447-546] m³/s	737 [663-810] m³/s

Tableau 16 : Comparaison des débits Hydrétudes avec SUEZ 2018 et SIEE 2006 au Gave de Pau à Argelès-Gazost

-  **Nos résultats de Q10 à Q50 présentent une évolution plus lente que de Q50 à Q100. Ceci est causé par la valeur**

fixe du paramètre P3 imposé pour les occurrences inférieures ou égales à 50 ans,

 **Nos résultats sont cohérents avec les estimations de Suez 2018. Cette étude fait une analyse statistique comme l'étude de références de SIEE 2006 mais avec des données mises à jour. Nous accorderons alors plus de confiance aux résultats de Suez 2018 mis à jour par rapport à SIEE 2006.**

5.1.4. Comparaison Gave de Pau à Lourdes

Le tableau de comparaison est le suivant :

Gave de Pau à Lourdes				
Point de calcul	Q10	Q20	Q50	Q100
Suez 2018	400	492	655	799
Hydrétudes 2019	421 [378-463] m³/s	470 [423-517] m³/s	552 [496-607] m³/s	824 [741-906] m³/s

Tableau 17 : Comparaison des débits Hydrétudes et SUEZ2018 au Gave de Pau à Lourdes

Le résultat de Suez 2018 est juste équivalent à la valeur extrême de notre intervalle de calcul. Nous pouvons considérer que nous sommes très légèrement en sous-estimation vis-à-vis de la valeur retenue dans l'étude de 2018.

Rappelons que dans l'étude de SUEZ 2018, la valeur de 800 m³/s est issue de l'utilisation de la Méthode QDF régionalisée. Le choix de cette méthode est fait pour obtenir un résultat qui soit cohérent avec les études existantes et qui ne donne pas d'occurrences de crues aberrantes pour les crues historiques (page 55 du rapport de Suez 2018).

Or si nous reprenons les valeurs de crues de référence de l'étude de Suez en Q100 décrites dans le tableau ci-dessous et que nous en faisons une simple moyenne arithmétique, nous obtenons une Q100 à Lourdes de 723 m³/s qui est en dessous de notre estimation basse.

Source	Q100 (m3/s) calculés Suez fin 2018				Q100 (m3/s) bibliographie			
	Gradex brut	Gradex esthétique	QDF régional	SHYREG	CACG 2017 (PPR Gave aval)	Artelia 2015	SIEE 2006 (PPRI)	Sogreah 2011
Lourdes	992	654	799	596	620	975	650	650

Figure 32 : Extrait du rapport Suez 2018 pages 55)

 **Nos résultats sont cohérents avec ceux de Suez 2018**

Les hydrogrammes proposés par Suez sont issus de la méthode QDF. Nous trouvons ces méthodes trop optimistes sur la durée des pointes de crue par rapport à la méthode géomorphologique.

5.1.5. Choix des valeurs de référence

Suite aux phases de présentation des résultats et après analyse des études antérieures il a été choisi par le comité de pilotage de retenir les débits suivants comme débits de références sur le site d'étude :

Tableau 18 : Débit retenus pour le Gave de Cauterets

Gave de Cauterets		
Crue	Débit	Source
Q5	88	Suez 2018
Q10	110	Suez 2018
Q20	137	Suez 2018
Q50	220	Hydrétudes 2019 estimation médiane
Q100	296	Hydrétudes 2019 estimation médiane

Tableau 19 : Débit retenu pour le Gave de Gavarnie

Gave de Gavarnie		
Crue	Débit	Source
Q5	170	Suez 2018
Q10	230	Suez 2018
Q20	287	Suez 2018
Q50	325	Hydrétudes 2019 estimation médiane
Q100	466	Hydrétudes 2019 estimation médiane

5.2. CALCULS DES HYDROGRAMMES PROJET POUR DES PLUIES LONGUE DE 48H

Pour l'étude hydraulique qui suivra cette partie hydrologique, nous avons modélisé les débits des deux Gaves (Cauterets et Gavarnie) pour des pluies longues, plus représentatives des événements météorologiques qui s'abattent sur le secteur.

5.2.1. Pluie de projet double triangle

Les pluies de projet que nous avons utilisées prendront la forme de pluie double triangle. La durée totale de la pluie sera de 48h et avec une phase intense de 12h.

Pour la construction de ces pluies nous nous sommes basés sur les données suivantes

➤ Valeur du cumul de pluie sur 48h :

P5-48h	P10-48h	P20-48h	P50-48h	P100-48h
81mm	90mm	100mm	110mm	118mm

Figure 33 : Cumul de pluie en 48h à la station de Tarbes (Rapport Météo-France, Estimation des hauteurs de précipitations d'occurrence rare pour des durées de cumul de 1 à 10 jours sur 3000 postes français)

➤ Valeur du cumul de pluie en phase intense sur 12h

Les intensités de la phase intense des pluies de projet sont calculées à partir des coefficients Montana de la station de Tarbes rappelés ci-dessous :

Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 1 heure à 12 heures

Durée de retour	a	b
5 ans	865	0.816
10 ans	1207	0.844
20 ans	1580	0.864
30 ans	1816	0.873
50 ans	2132	0.882
100 ans	2592	0.892

Figure 34 : Coefficient de Montana pour la station Météo-France de Tarbes pour une durée de pluie de 1h à 12h

Les valeurs prises en compte sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

P5-48h	P10-48h	P20-48h	P50-48h	P100-48h
48mm	56mm	64mm	77mm	87mm

Figure 35 : Cumul de pluie en 12h à la station de Tarbes (Estimé à partir des données de Montana figure n°33)

Les hyétoigrammes correspondants sont donnés sur la figure suivante.

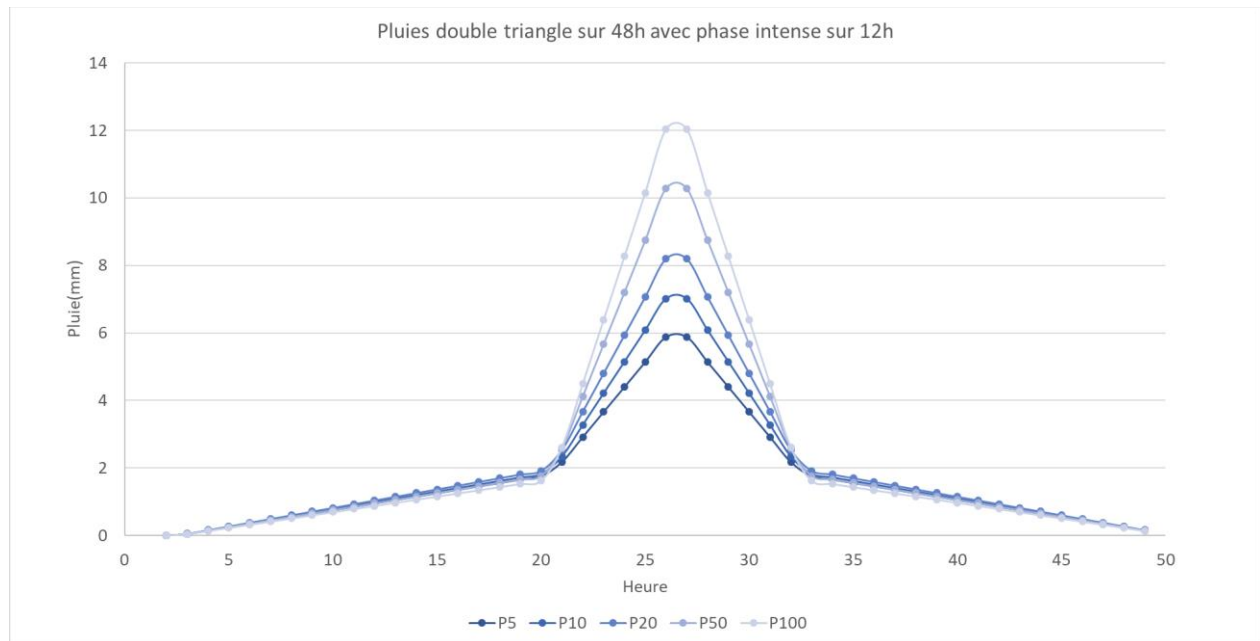


Figure 36 : Hyetogrammes projet pour un évènement de 48h

5.2.2. Hydrogramme projet

L'application de MESRI, tel qu'il a été calé pour les évènements de 2012 et 2018, sur les hyetogrammes double triangle précédent, a été ajustée pour correspondre aux valeurs de références des tableaux n°30 et 31. Ci-dessous nous donnons les hydrogrammes projet qui seront injectés dans la modélisation hydraulique.

- **Gave de Gavarnie**

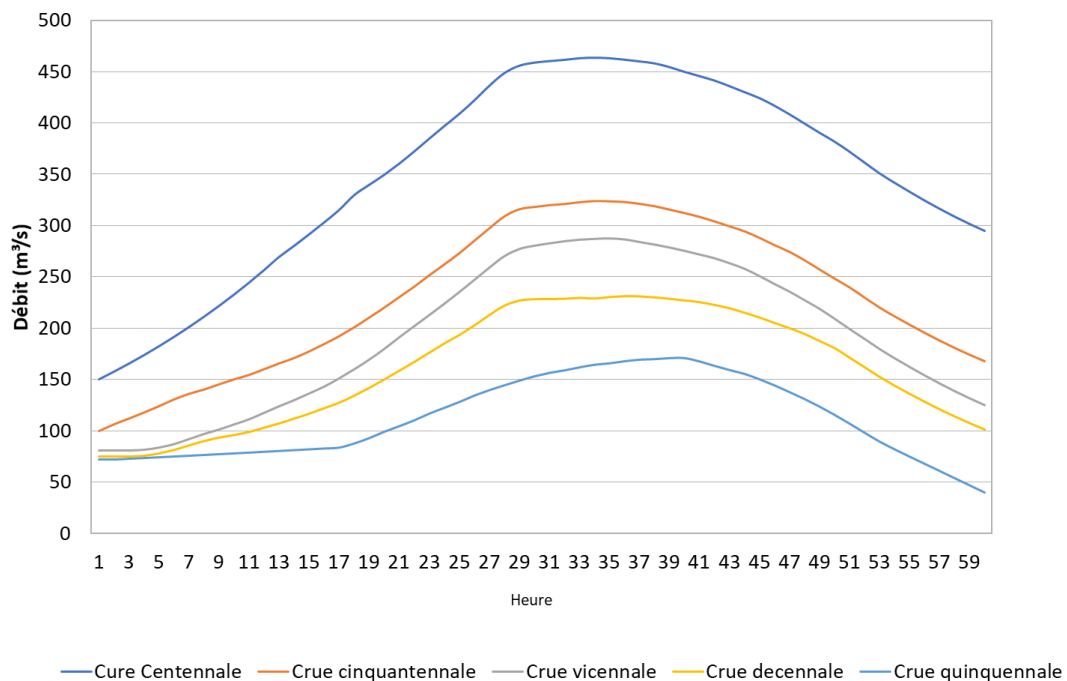


Figure 37 : Hydrogramme projet pour le Gave de Gavarnie pour un évènement pluvieux de 48h

- **Gave de Cauterets**

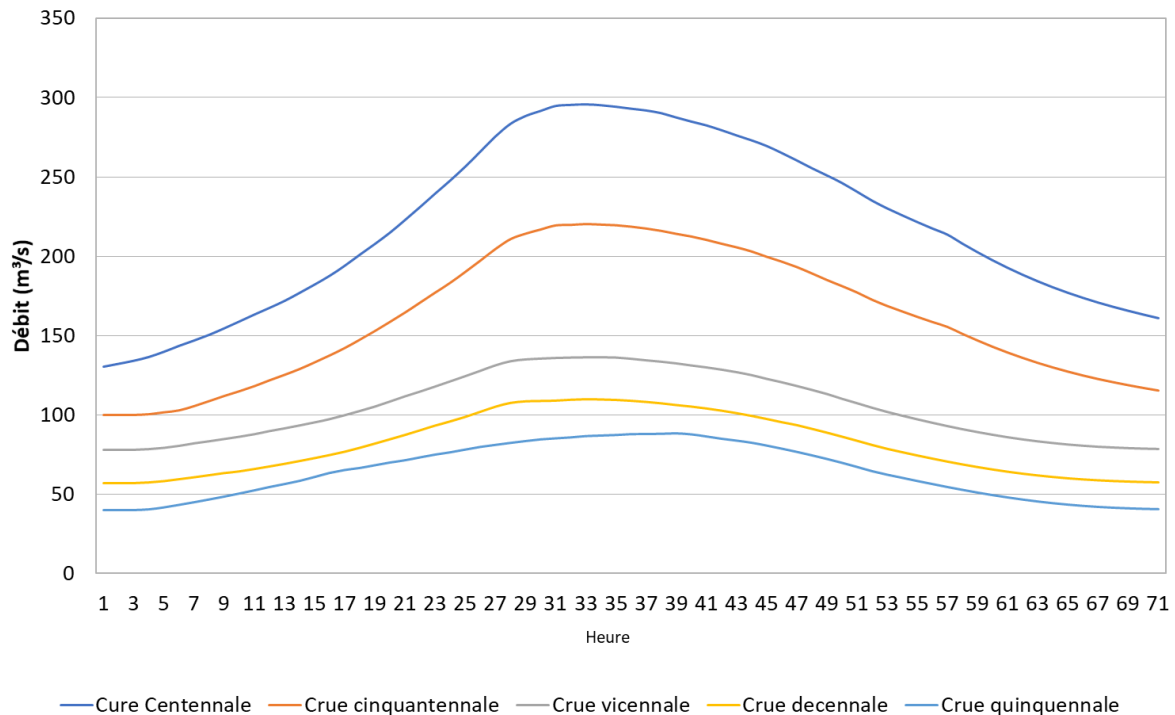








Figure 38 : Hydrogramme projet pour le Gave de Cauterets pour un événement pluvieux de 48h

5.3. CONCLUSION GENERALE SUR L'HYDROLOGIE DE REFERENCE

-  **L'analyse hydrologique que nous avons présentée se détache des études déjà élaborées car celle-ci utilise un modèle hydrologique conceptuel pour établir sa relation pluie/débit. A base physique, il nécessite les données de pluie, un MNT et les hydrogrammes événementiels pour se caler, son analyse reprend également des entrants sur la statistique hydrologique du bassin versant,**
-  **Le calcul n'est pas basé sur une analyse fréquentielle Pluie puis Débit mais les résultats de l'analyse sont comparés aux études antérieures ayant appliquées ce type d'analyse, notamment Suez 2018 avec une analyse complète et récente,**
-  **La comparaison de l'ensemble des résultats a montré que les intervalles d'estimation étaient communs. Néanmoins, il s'avère que le recoupement des analyses se fait, dans la plupart des cas, pour les estimations hautes d'Hydrétudes 2019,**

-  **Les hydrogrammes établis par notre analyse sont directement établis à partir de la morphologie du bassin versant, leur dynamique est plus proche de la réalité qu'une construction fréquentielle telle que peut le fournir la méthode QDF,**

-  **Nous proposons donc d'utiliser pour hydrogramme projet, l'hydrologie établie dans notre étude,**

-  **Concernant les valeurs de débit de pointe de référence, la disparité des résultats a demandé de faire un choix. Celles-ci ont été actées par le maitre d'ouvrage comme suit :**
 - **Pour les occurrences en dessous de 20 ans, les résultats de l'étude Suez 2018 sont pris en compte,**

 - **Pour les occurrences en dessus de 20 ans, les résultats d'Hydrétudes 2019 sont pris en compte en considérant les valeurs nominales de calcul additionnées du débit de base**

ANNEXES 1 : PRINCIPE DE LA MODELISATION MESRI

LES GRANDES ETAPES

➔ La fonction de production

Un schéma simplifié des 3 grandes familles d'écoulement générant les crues peut se présenter comme ci-dessous :

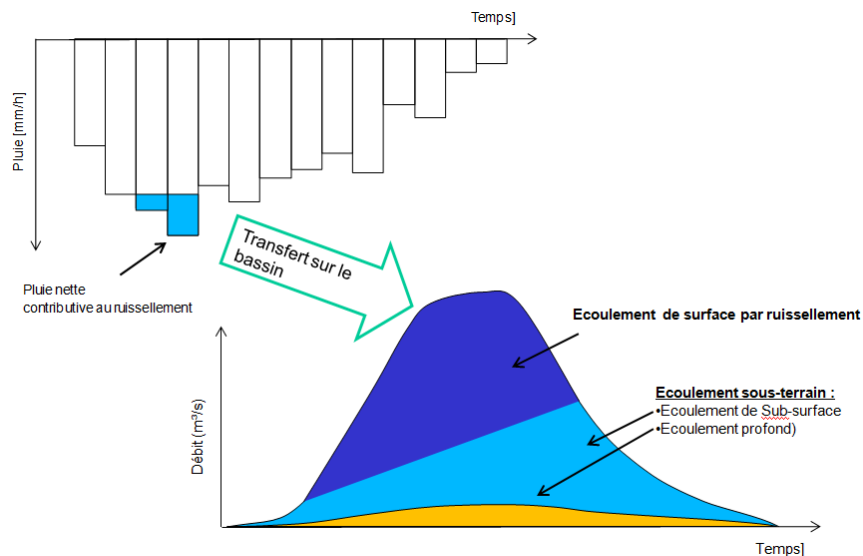


Figure 39: Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit

MESRI s'attache à représenter les productions de surface et de sub-surface prédominantes dans l'approche événementielle. L'hydrogéologie du bassin versant étudié est prise en compte dans le système de production de sub-surface.

A partir de la pluie nette, le volume d'eau contributif est divisé suivant une répartition calée sur les données réelles et mesurées sur le terrain.

Cette division (figure 2) de la contribution de la pluie nette permet de modéliser le volume qui s'écoule sur terre directement dans le réseau hydrographique, et en sub-surface pour rejoindre ensuite la rivière par résurgence. Une partie de la pluie nette est également perdue (assimilée à de la recharge souterraine).

L'ensemble de ces répartitions entre les différents volumes de production est calée sur les données hydrométriques mesurées et propres à chaque bassin versant.

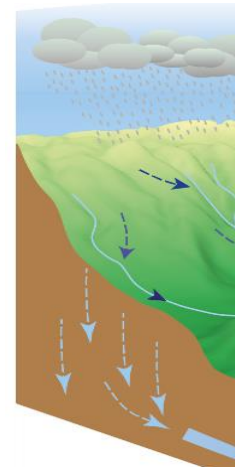


Figure 40 : zoom sur le compartiment production

➤ La fonction de transfert géomorphologique

A partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) et en calculant pour chaque point du bassin versant 1) le cheminement préférentiel d'une goutte jusqu'à l'exutoire (et donc sa direction) et 2) les vitesses de cheminement, le modèle permet de déduire la réponse dite « géomorphologique » du bassin à une sollicitation pluvieuse. La morphologie du bassin versant est donc prise en compte dans le MNT.

L'établissement de la fonction de transfert suit ainsi les trois étapes suivantes :

1. ETAPE 1 : Identification du réseau de drainage et distance de parcours :

- Un parcours sur le versant (flèche blanche sur la figure 3),
- 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 la figure 3).

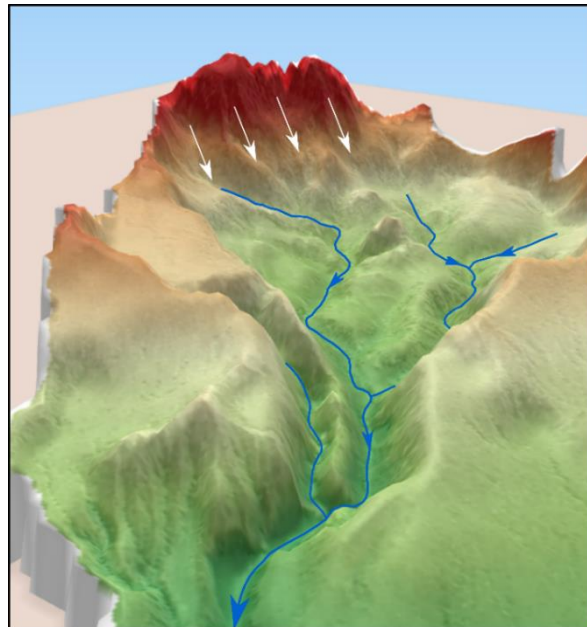


Figure 41 : Schéma de principe du transfert géomorphologique (vue 3D)

L'analyse du MNT permet donc d'identifier le réseau hydrographique et d'extraire deux cartographies nécessaires pour le calcul des débits, la carte des distances sur versant et la carte des distances dans le réseau hydrographique (figure 4).

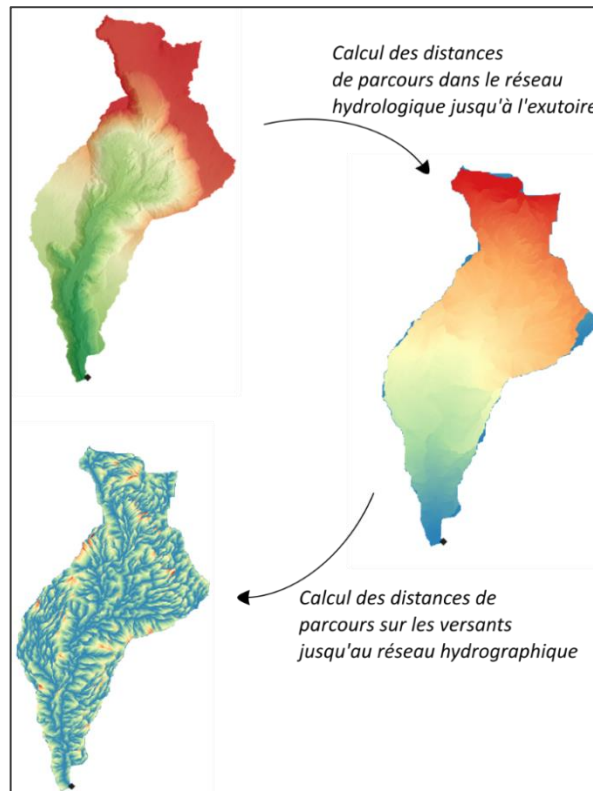


Figure 42 : Schéma de calcul des distances de parcours dans les réseaux et sur les versants

2. ETAPE 2 : Vitesses moyennes de transfert par calage sur les données historique

3. ETAPE 3 : Calcul des temps de transfert :

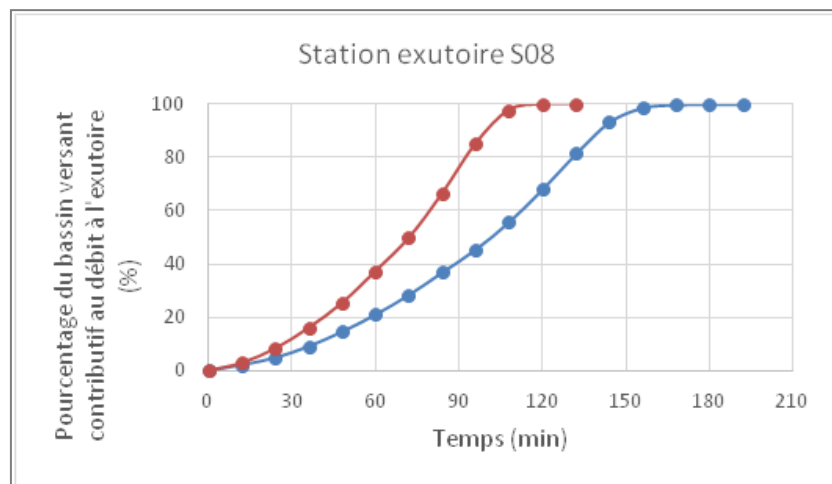


Figure 43 : Exemple de courbe % Aire contributive-Temps de concentration

La figure 5 présente pour un même bassin versant deux courbes extrêmes suivant un transfert lent et un transfert rapide sur le bassin versant.

➔ Mise en œuvre du modèle

○ Données à acquérir

- Modèle Numérique de Terrain (MNT)

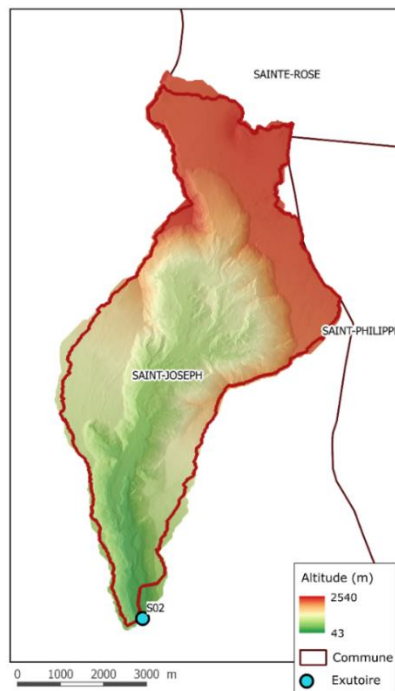


Figure 44 : Exemple de MNT

- Données hydrologiques / précipitations

Les données hydrologiques concernent :

- Les données débitométriques issues des stations hydrométriques.
- Les données pluviométriques nécessaires à la fois pour caler le modèle et calculer les débits pour différentes périodes de retour (pluies statistiques).

○ Calage des paramètres

Cinq paramètres du modèle sont calés :

- P1: paramètre de vitesse moyenne d'écoulement dans le réseau hydrographie
- P2: Vitesse de parcours souterrain
- P3: Paramètre de production de surface :
- P4: Paramètre de production de sub-surface :
- P5: Paramètre de récession de la courbe de tarissement

La procédure de calage itérative explore tous les jeux de paramètres possibles et les classent suivant un critère de d'optimisation de la vraisemblance de la modélisation aux données réelles.

○ Prise en compte de l'occupation du sol

Lors de la phase de calage du modèle et de son utilisation pour l'estimation des crues extrêmes, l'occupation du sol est prise en compte via les informations de la base de données Corine Land Cover.

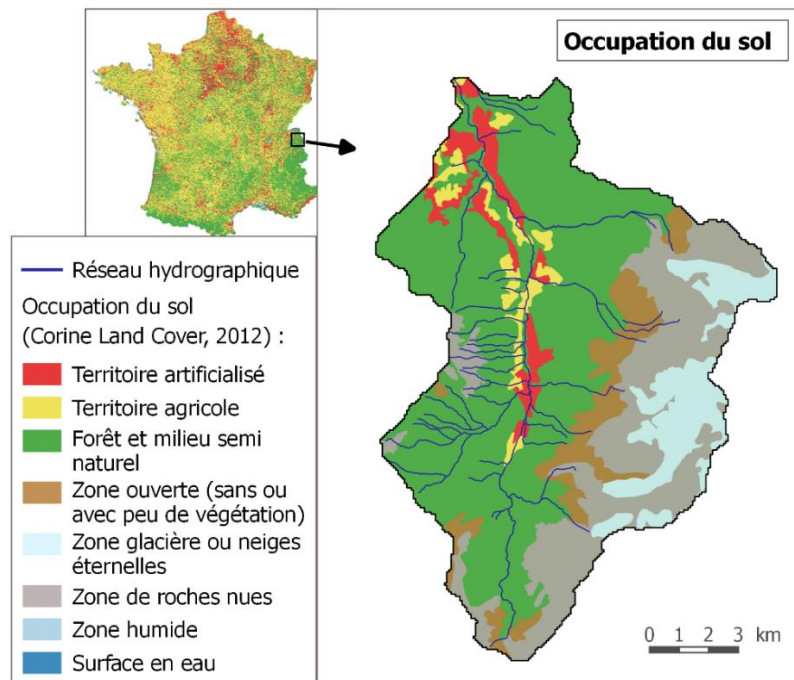


Figure 45 : exemple d'occupation du sol issu de la base de données Corine Land Cover

A l'aide de ces informations les productions de surface sont ajustées au type d'utilisation du sol permettant de cibler les zones productives en ruissellement et les zones d'infiltration préférentielle.

o *Les résultats de MESRI :*

- **Déterminer les temps de concentration des bassins versants,**
- **Calculer les débits pour différentes périodes de retour (Q2, Q5, Q10 ... Q100) comme illustré dans la figure suivante et suivant différentes pluies statistiques (durée, intensité ...)**

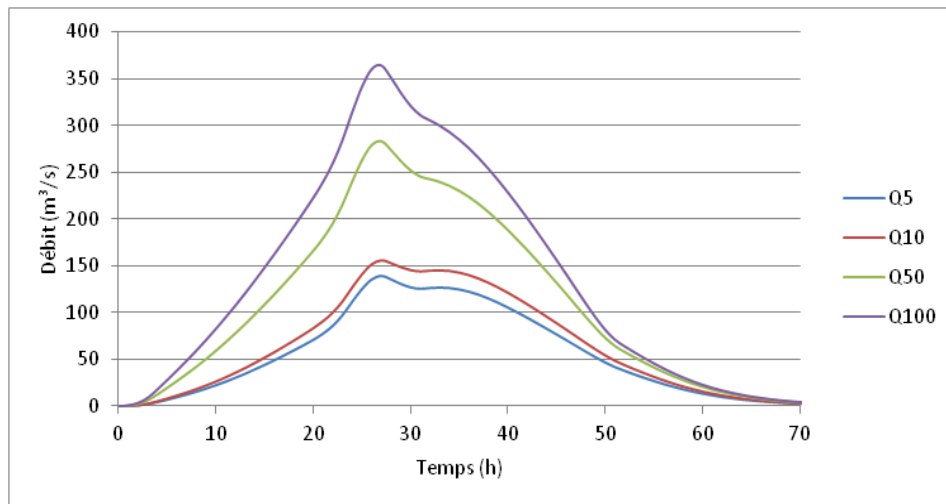
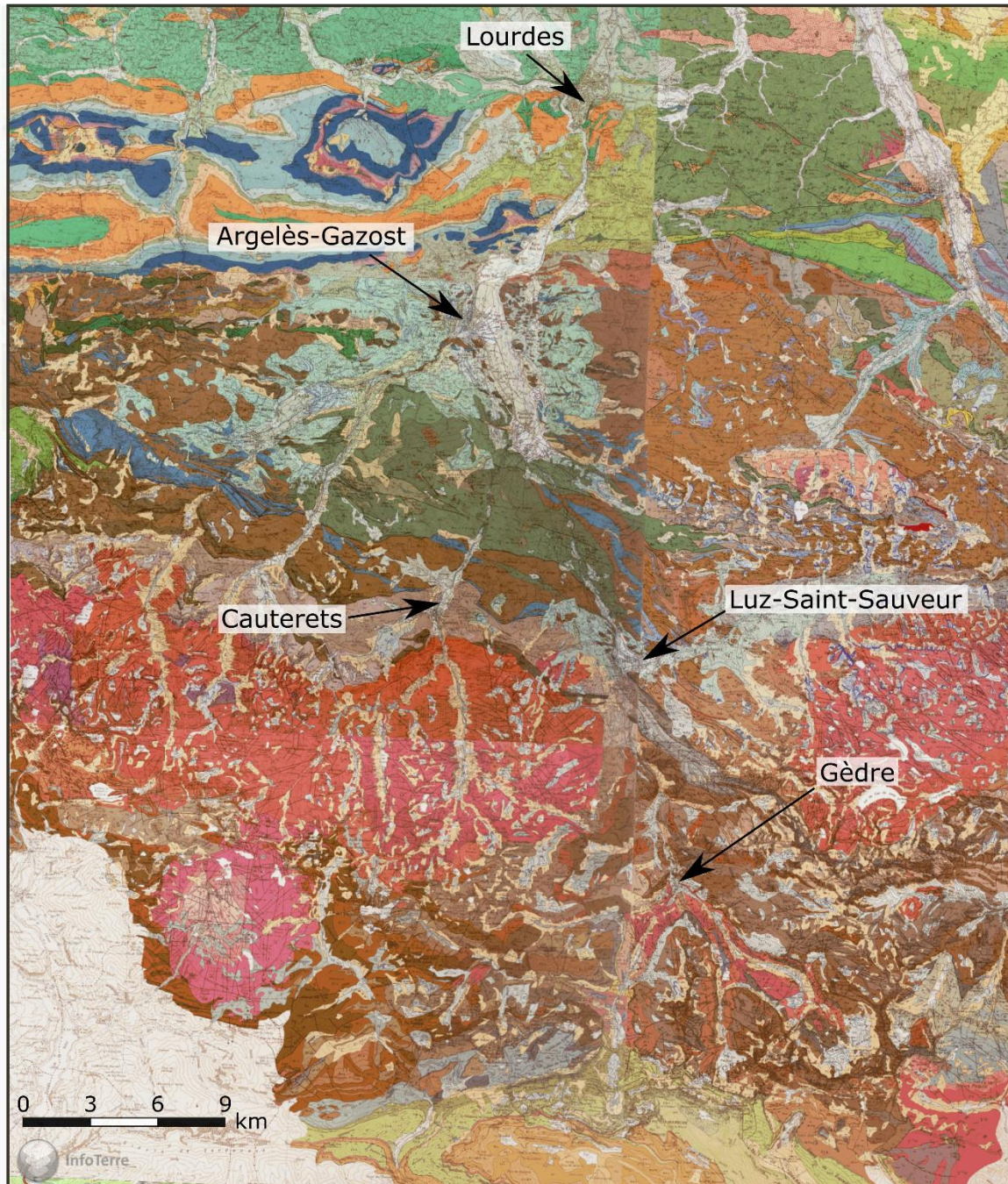
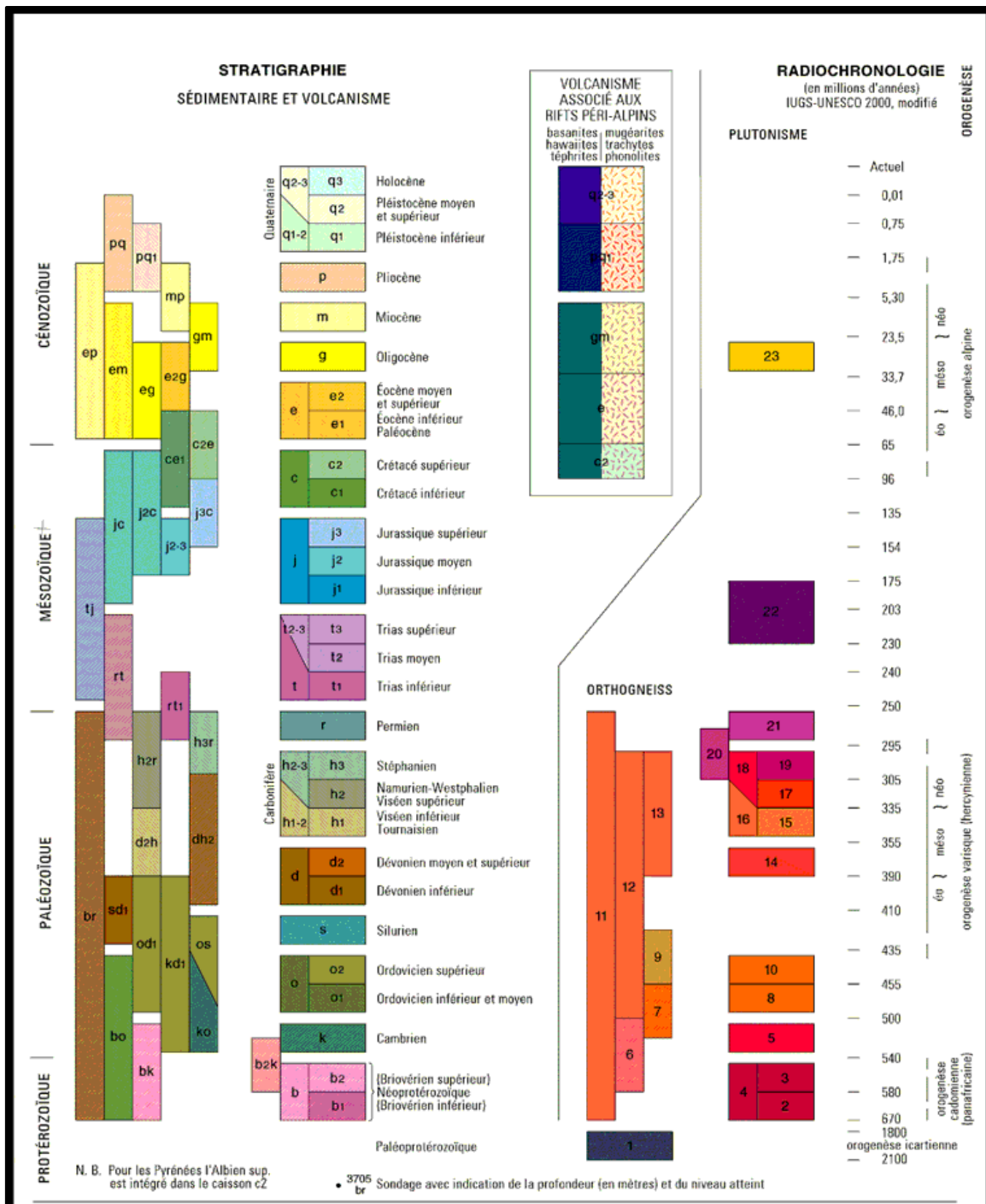
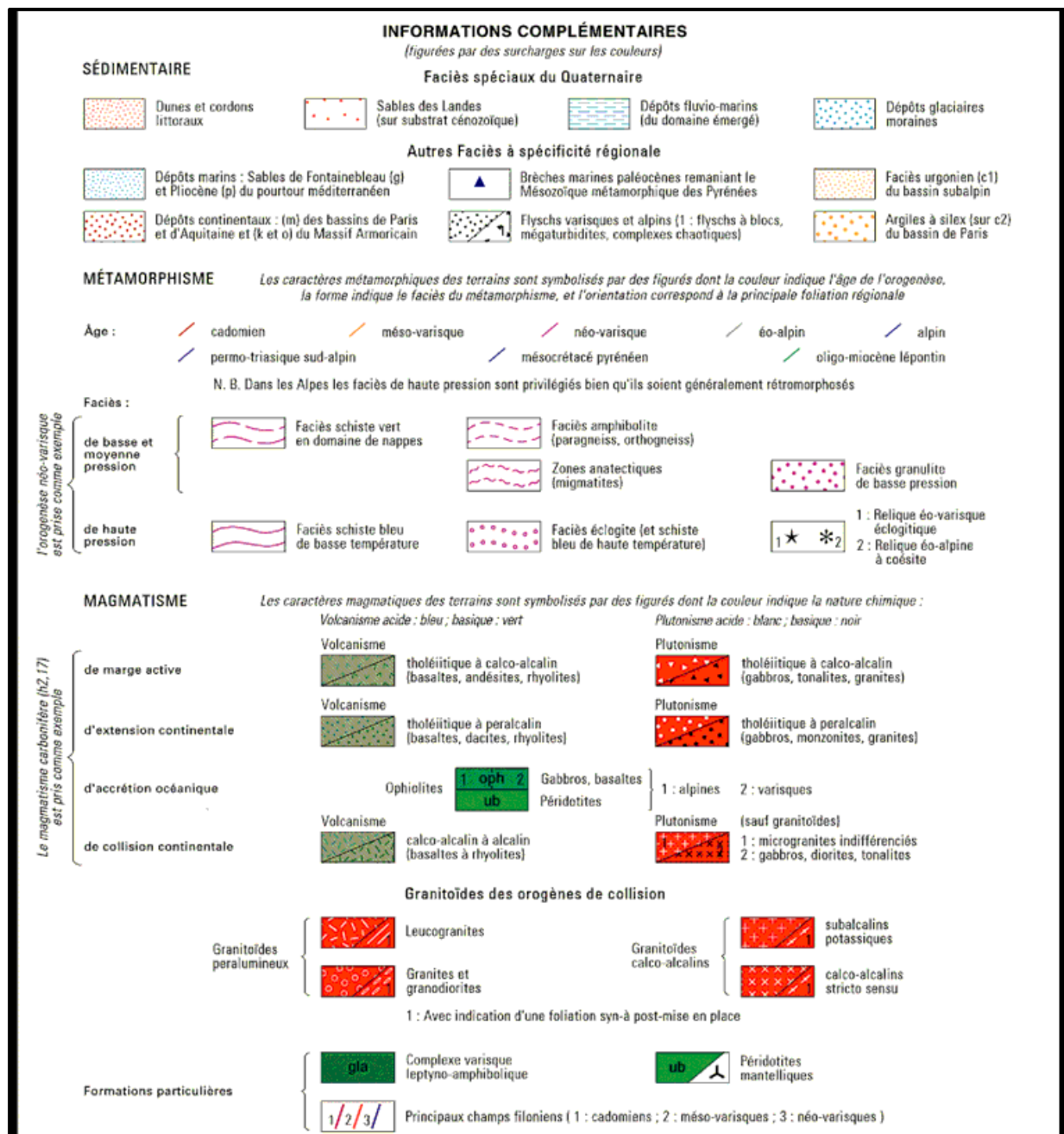


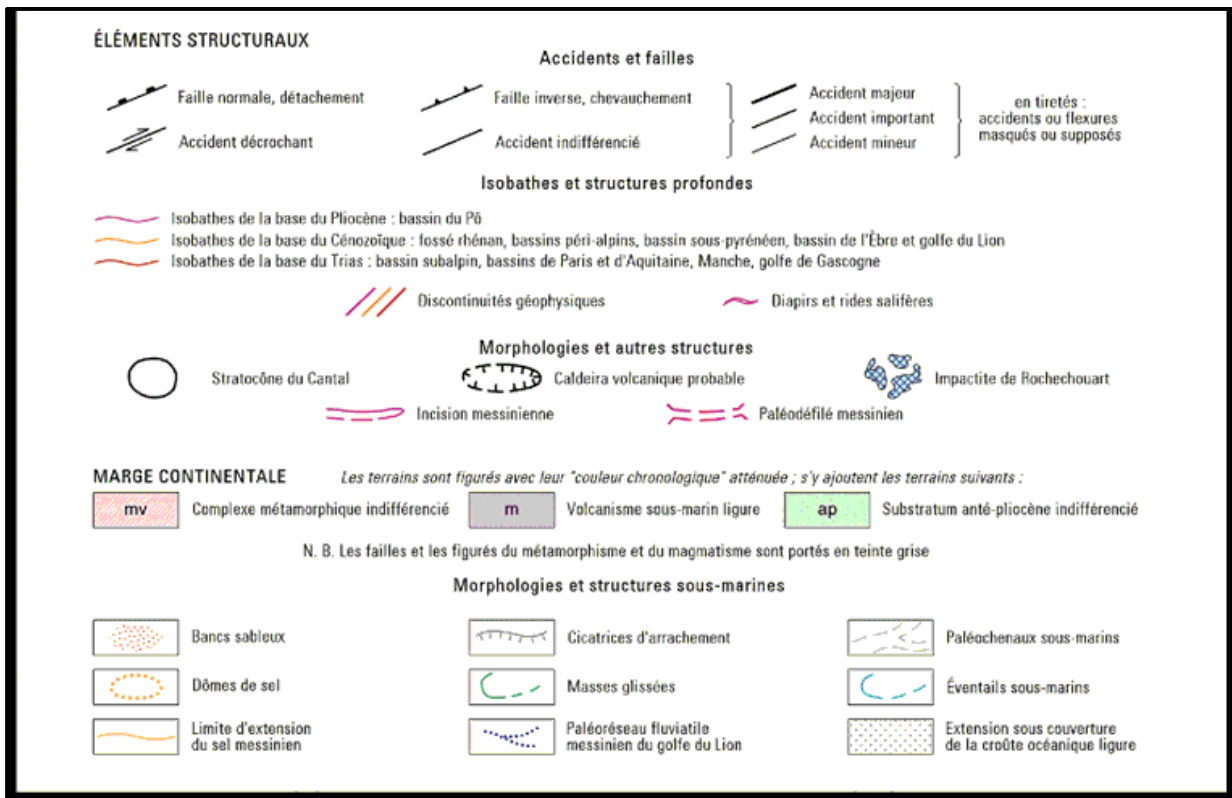
Figure 46 : Exemple de débits calculés pour différentes périodes de retour (Q5, Q10, Q50 et Q100) pour un même bassin versant

ANNEXE 2 : CARTE GEOLOGIQUE ET LEGENDE SUR LE SECTEUR D'ETUDE









ANNEXE 3 CALCUL DES DEBITS POUR LES OCCURRENCES 5, 10, 20, 50 ET 100 ANS

➔ Point de calcul et temps de concentration

Pour la modélisation hydraulique, nous avons calculé les débits de 3 points sur l'ensemble du bassin versant (figure suivante).



Figure 47 : Localisation des points de calcul hydrologique

Le tableau ci-après reprend les caractéristiques physiques des sous bassins versants et temps de concentration.

Sous bassin versant	Superficie	Longueur du cheminement hydraulique maximum	Pente moyenne	Temps de concentration MESRI
Lourdes	1080 km ²	57 km	0.05	5 h
Argelès-Gazost	912 km ²	43 km	0.06	5 h
Gave de Cauterets (point de calcul N°1)	178 km ²	25 km	0.1	3 h
Gave de Pau en amont de la confluence (point de calcul N°2)	475 km ²	36 km	0.07	4 h
Gave de Pau en aval de la confluence (point de calcul N°3)	664 km ²	38 km	0.07	4 h

Tableau 20 : Caractéristiques physiques des sous bassins versants

➔ Pluie de projet

Les pluies modélisées sont des pluies créneau d'une durée égale au temps de concentration du sous bassin versant étudié soit 5 heures pour Argelès-Gazost.

Ces temps de concentration sont calculés avec MESRI.

Les intensités de la pluie de projet sont calculées à partir des coefficients Montana de la station de Tarbes rappelés ci-dessous :

Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 1 heure à 12 heures

Durée de retour	a	b
5 ans	865	0.816
10 ans	1207	0.844
20 ans	1580	0.864
30 ans	1816	0.873
50 ans	2132	0.882
100 ans	2592	0.892

Figure 48 : Coefficient de Montana pour la station Météo-France de Tarbes pour une durée de pluie de 1h à 12h

Sous cette hypothèse pour chaque occurrence modélisée et chaque point de calcul, l'intensité de pluie modélisée est donnée dans le tableau suivant. Chaque sous bassin versant est

modélisé en faisant l'hypothèse que son territoire est arrosé par une pluie de type créneau (figure 34).

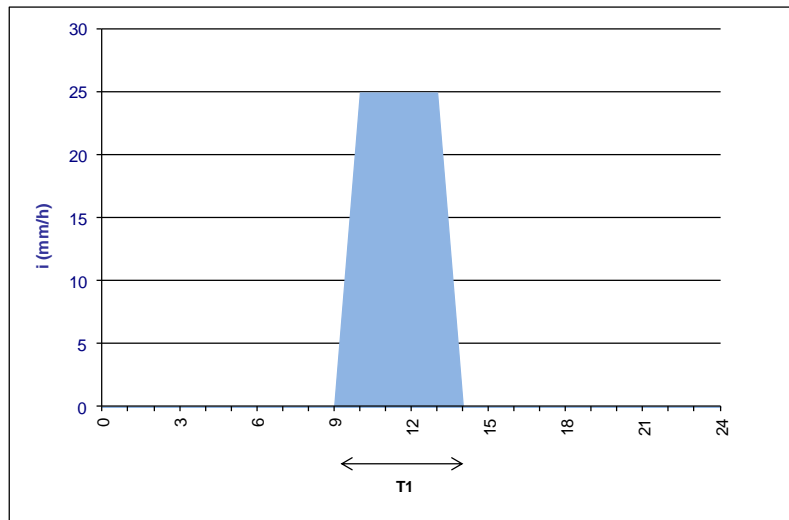


Figure 49 : Exemple de pluie créneau modélisée

Les pics d'intensité en fonction du temps de retour et du temps de concentration sont les suivants :

Durée	Intensité quinquennale (mm/h)	Intensité décennale (mm/h)	Intensité vicennale (mm/h)	Intensité cinquantennale (mm/h)	Intensité centennale (mm/h)
3 h	12.5	15.1	17.8	21.9	25.2
4 h	9.9	11.8	13.9	17	19.5
5 h	8.2	9.8	11.4	13.9	16

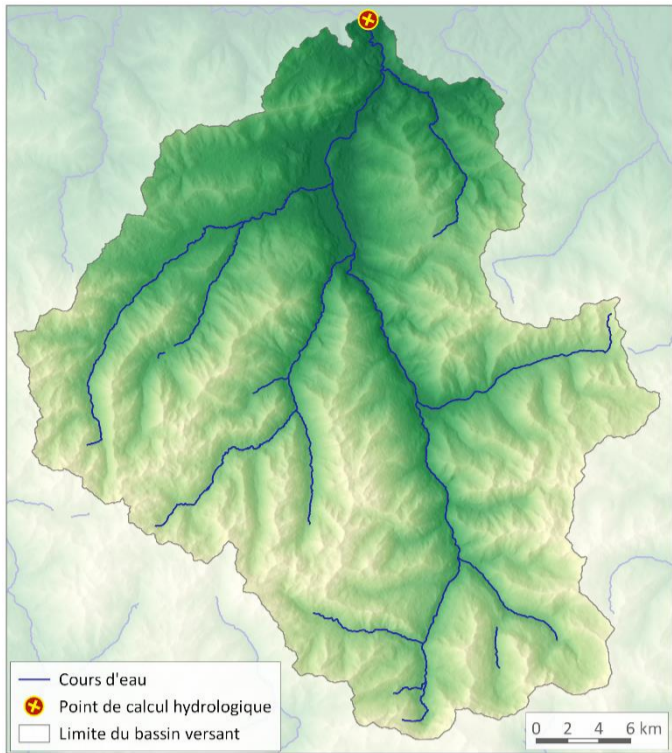
Tableau 21 : Intensité pluviométrique calculée avec les coefficients de Montana de Tarbes en fonction de la période de retour et de la durée de la pluie

➔ Résultats hydrologiques

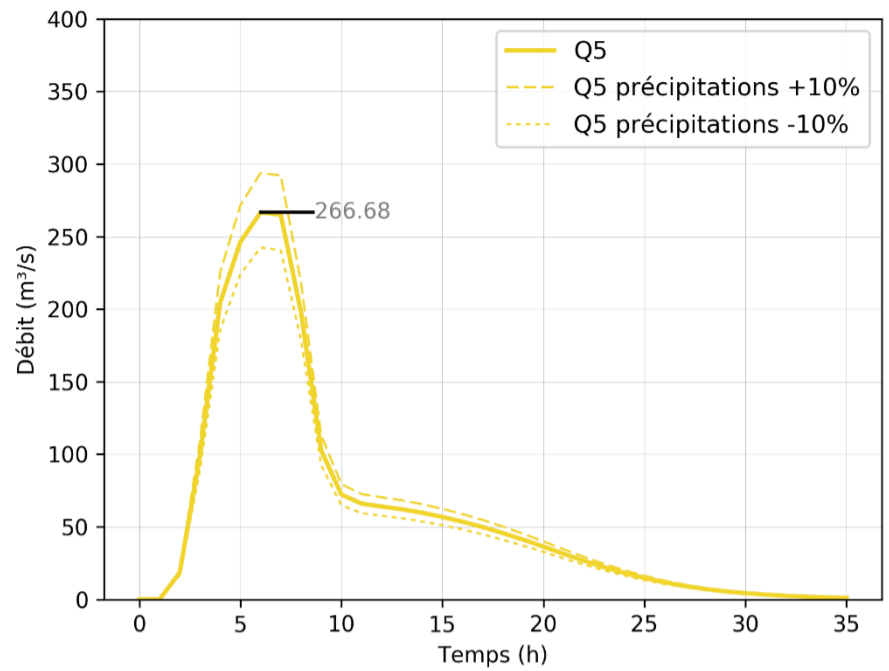
○ Synthèse des débits de crue Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100 ans à la station de mesure débitmétrique d'Argelès-Gazost et Lourdes

Les résultats de modélisation hydrologique concernent les occurrences de crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour le bassin versant du Gave de Pau à Argelès-Gazost au niveau de la station de mesure débitmétrique. Le tableau suivant présente les débits de pointe en fonction des périodes de retour.

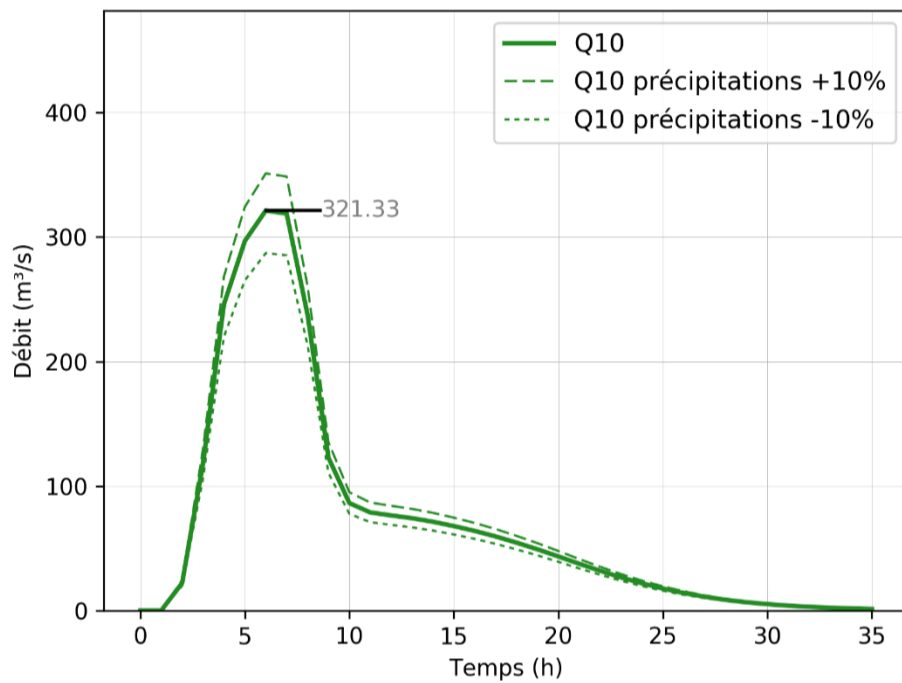
Gave de Pau à Lourdes - Hydrogrammes de crue



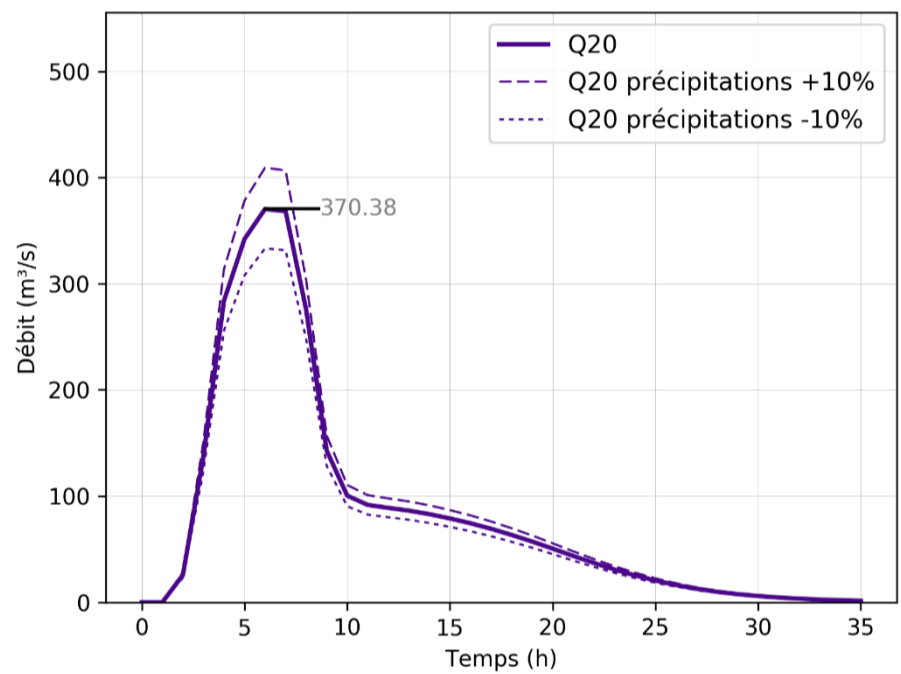
Q5



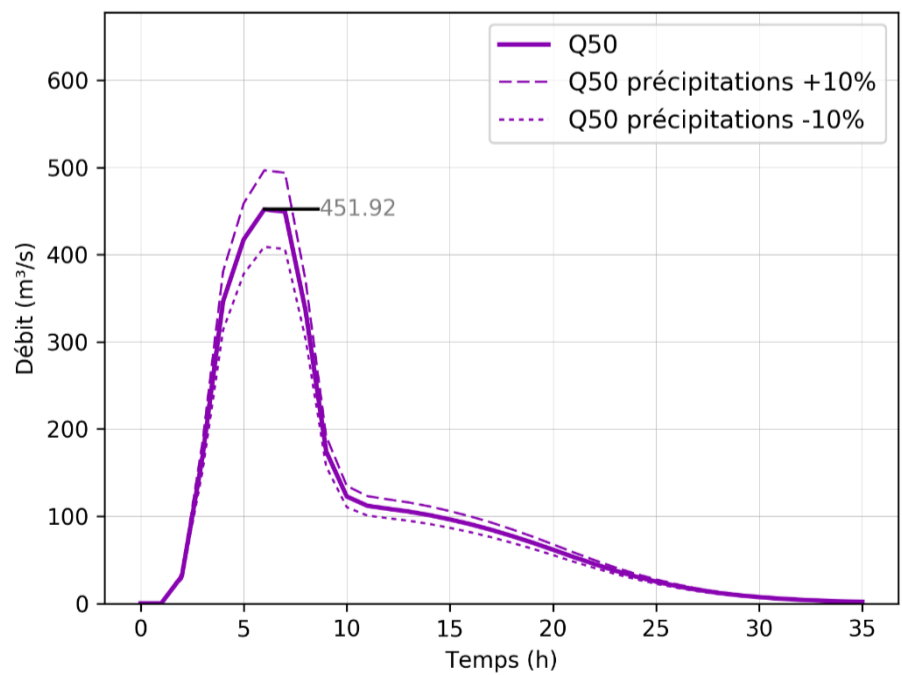
Q10



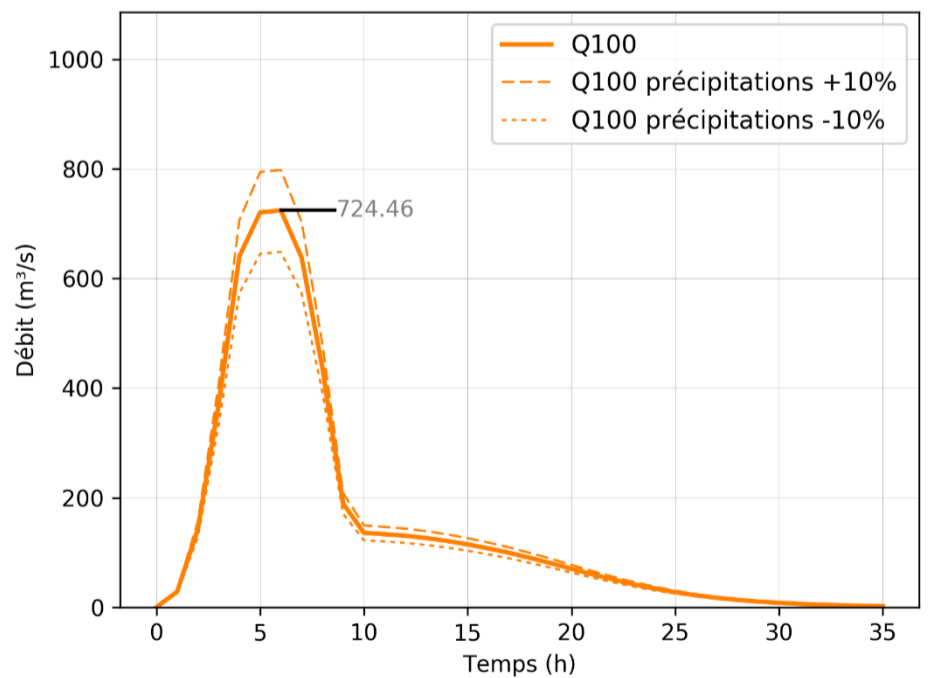
Q20



Q50



Q100

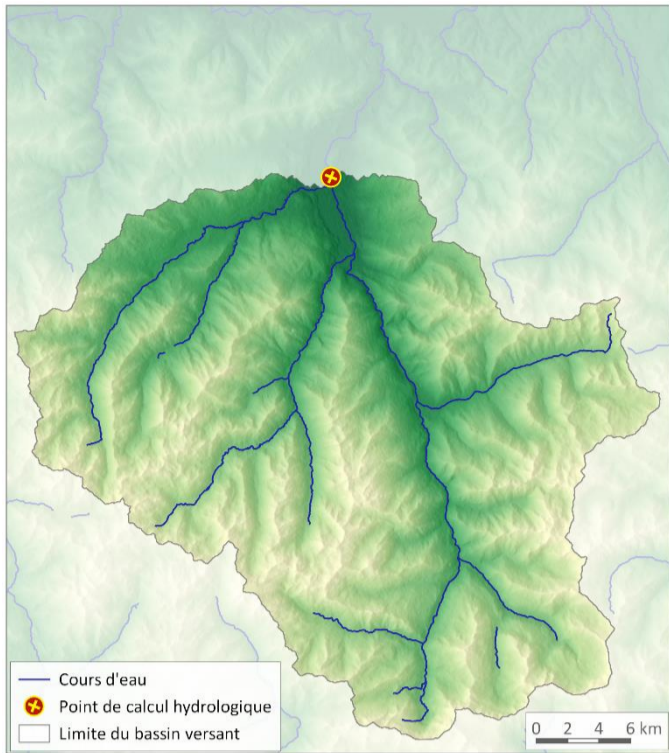


Synthèse des débits

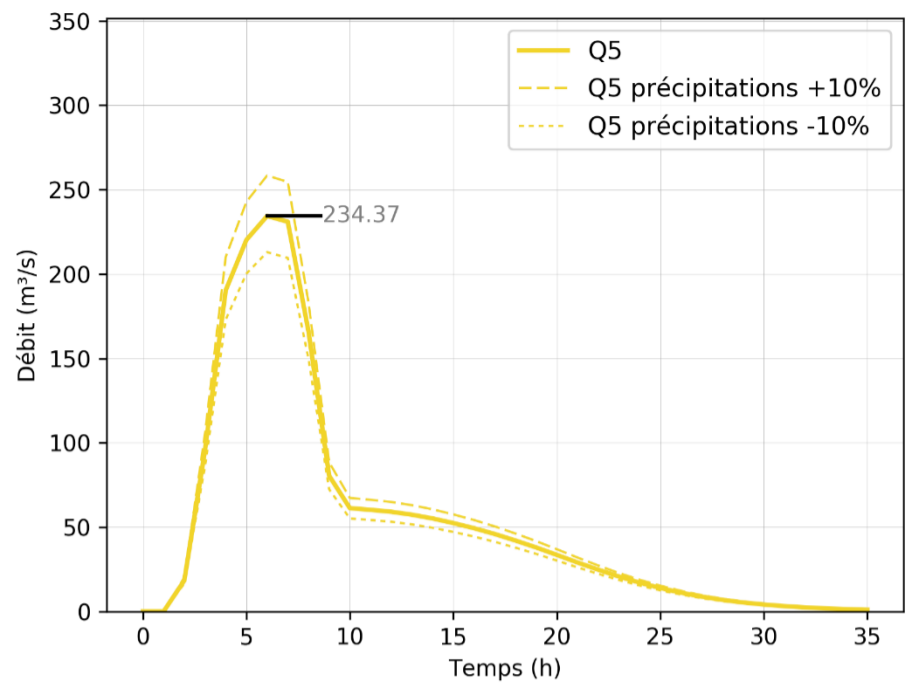
Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
267m³/s	321m³/s	370m³/s	452m³/s	724m³/s

Tableau 22: Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau à Lourdes

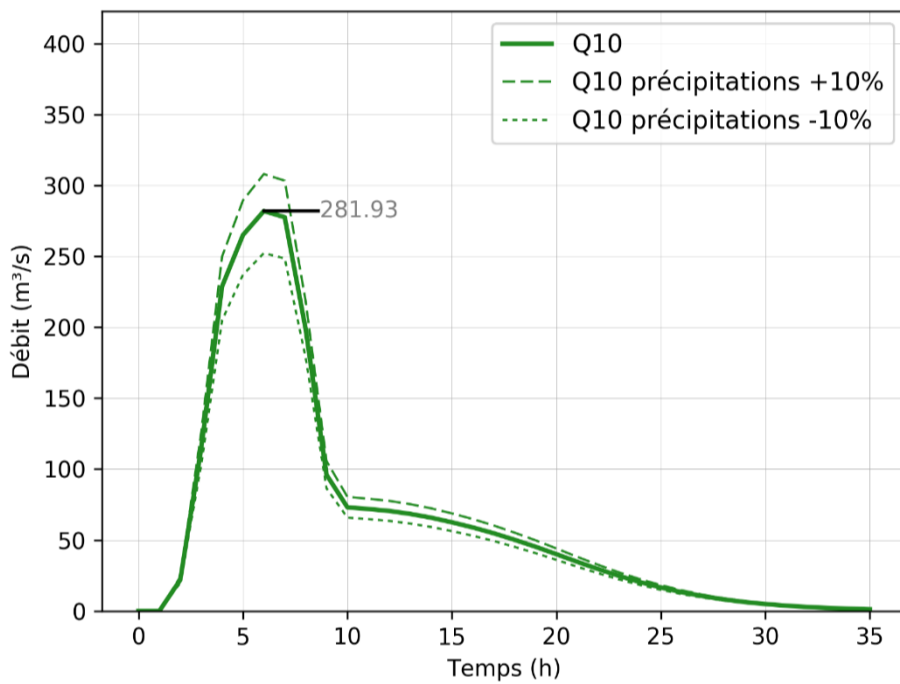
Gave de Pau à Argelès-Gazost - Hydrogrammes de crue



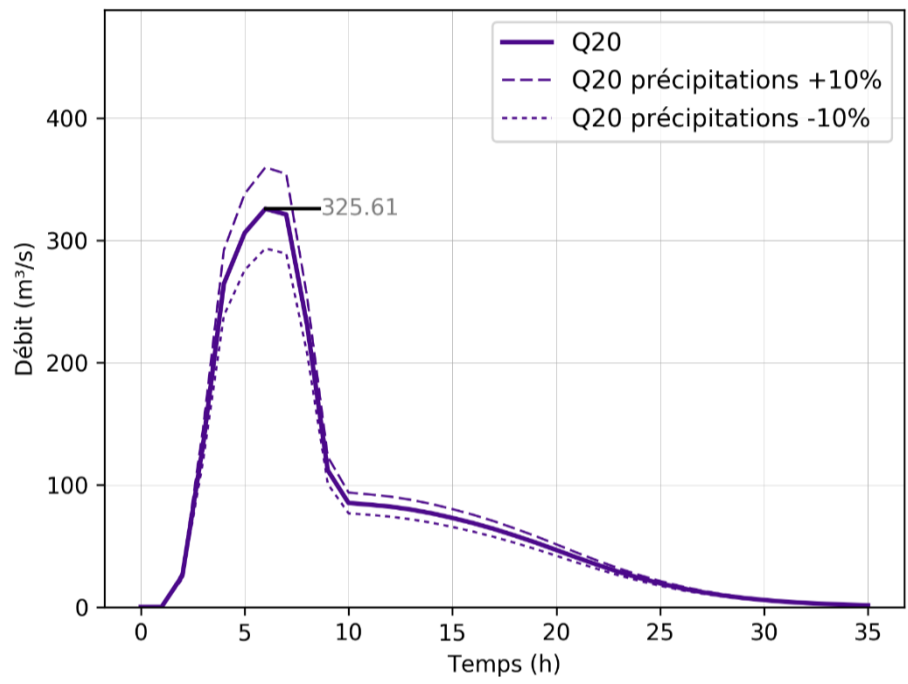
Q5



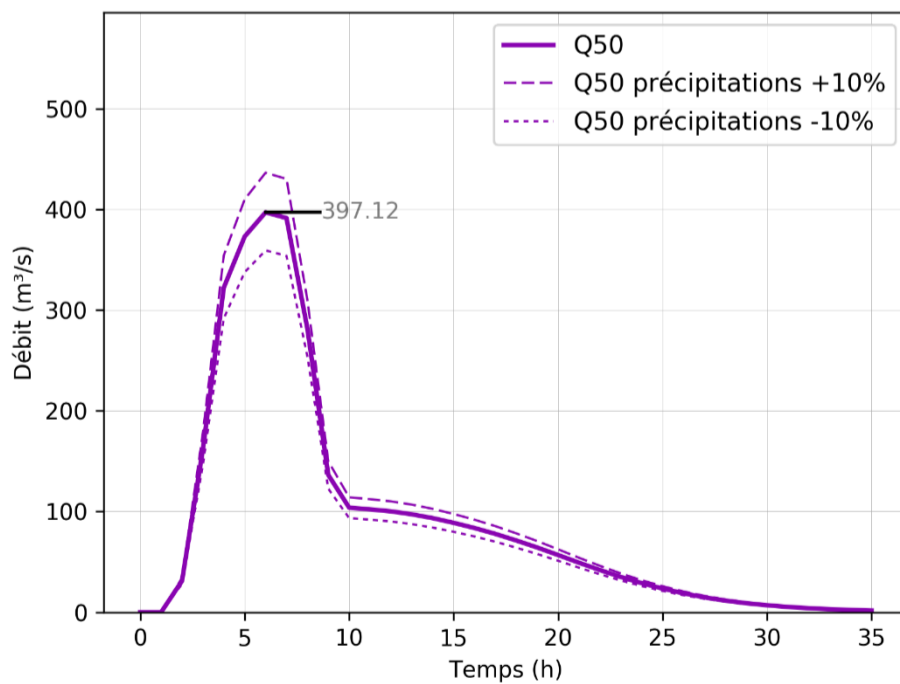
Q10



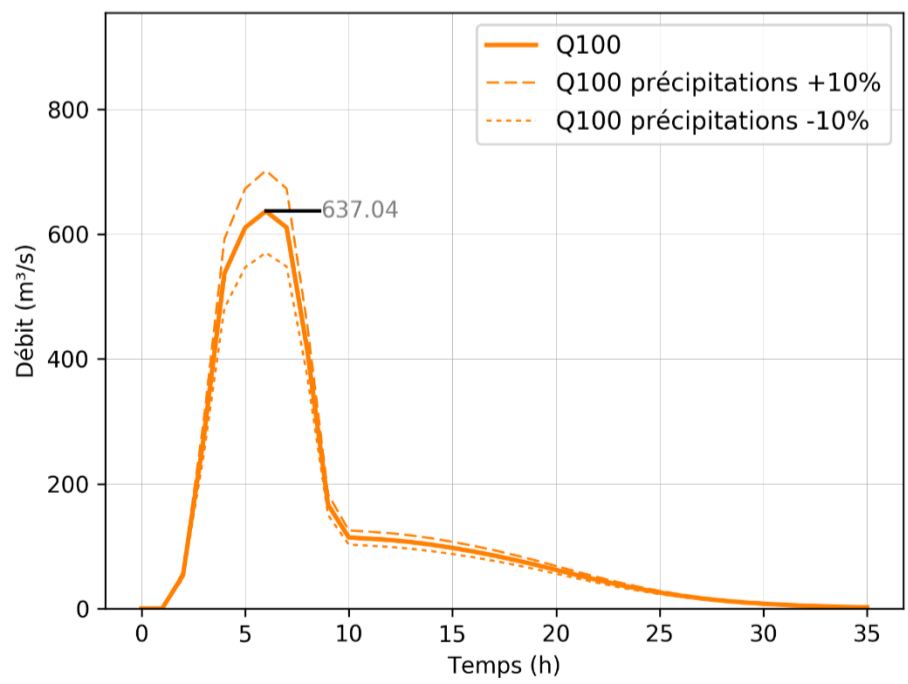
Q20



Q50



Q100



Synthèse des débits

Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
234 m³/s	282 m³/s	326 m³/s	397 m³/s	637 m³/s

Tableau 23: Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau à Argelès-Gazost

A nos résultats précédents nous avons ajouté un intervalle de 100 m³/s correspondant à un éventuel apport de la fonte des neiges (cf. chapitre 3.2.2).

 **Les modélisations réalisées pour la station de Lourdes sont cohérentes avec les statistiques de la station de mesure**

Station hydrométrique	Gave de Pau à Lourdes (Saint-Michel) Statistique Banque Hydro	Gave de Pau à Lourdes MESRI (avec intervalle contribution fonte des neiges) et intervalle de confiance +/- 10%
Q2	210 [200-230]	-
Q5	290 [260-330]	367 [330-408]
Q10	330 [300-390]	421 [379-463]
Q20	380 [340-450]	470 [423-517]
Q50	440 [390-530]	552 [497-607]

Tableau 24 : Comparaison des débits statistiques avec les débits calculés par MESRI à la station du Gave de Pau à Lourdes

➤ *Synthèse des débits de crue Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100 aux abords du projet*

Au droit du projet nous avons calculé les débits de projet en utilisant le modèle MESRI tel qu'il a été calé à la station de Lourdes pour les événements 2012 et 2018.

Pour rappel les paramètres de modélisation sont ceux-ci :

Paramètres MESRI :

P1:	P2:	P3:						P4:	P5 ² :
4.5	0.02	Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	0.04	7
			12	12	12	12	18		

Tableau 25 : Paramètres retenus pour les modélisations MESRI calés sur les événements de 2012 et 2018

Caractéristiques du bassin versant :

Sous bassin versant	Superficie	Longueur du cheminement hydraulique maximum	Pente moyenne	Temps de concentration MESRI
Gave de Cauterets (point de calcul N°1)	178 km ²	25 km	0.1	3 h
Gave de Pau en amont de la confluence (point de calcul N°2)	475 km ²	36 km	0.07	4 h
Gave de Pau en aval de la confluence (point de calcul N°2)	664 km ²	38 km	0.07	4 h

Tableau 26 : Caractéristiques physiques des sous bassins versants

Paramètres de la pluie de projet de type créneau :

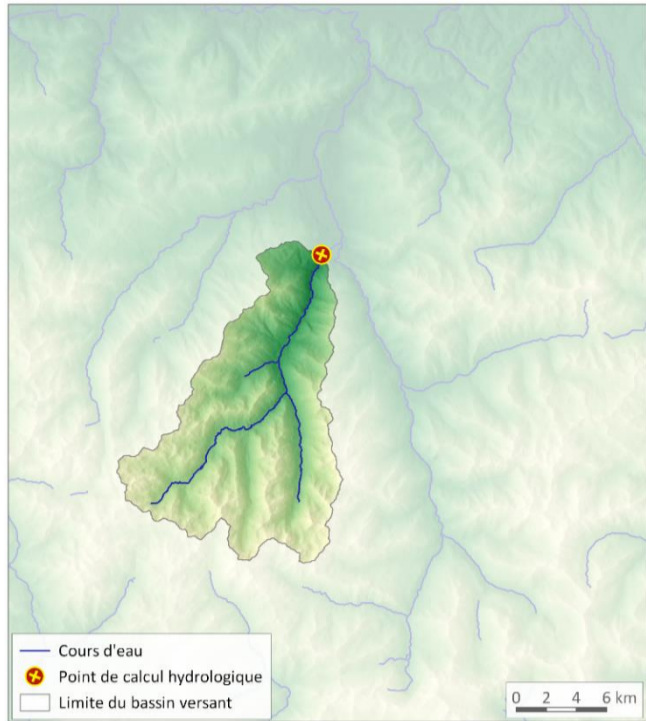
² Paramètre de récession de la courbe de tarissement

Durée	Intensité quinquennale (mm/h)	Intensité décennale (mm/h)	Intensité vicennale (mm/h)	Intensité cinquantennale (mm/h)	Intensité centennale (mm/h)
3 h	12.5	15.1	17.8	21.9	25.2
4 h	9.9	11.8	13.9	17	19.5
5 h	8.2	9.8	11.4	13.9	16

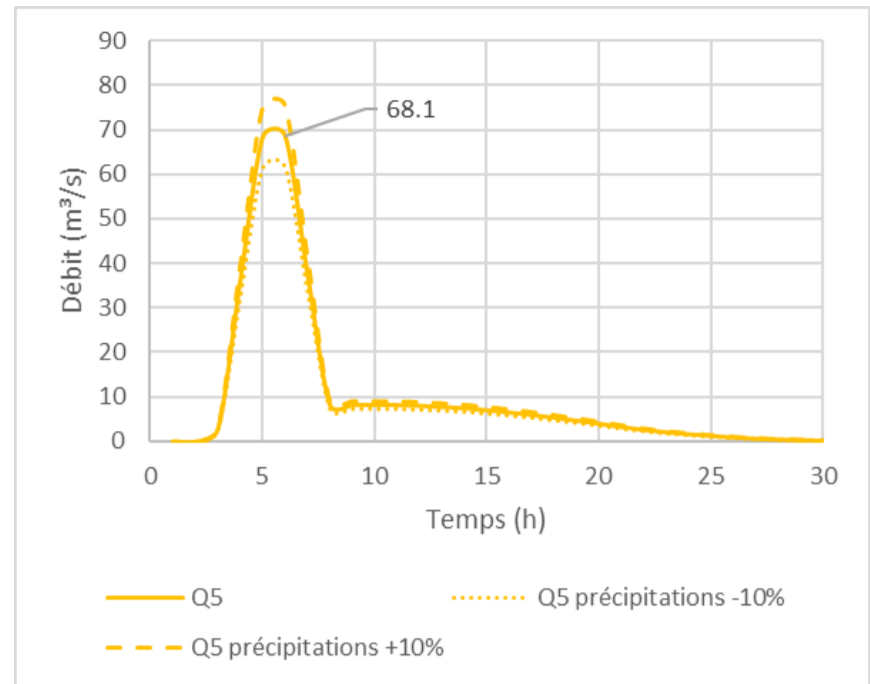
Tableau 27 : Intensité pluviométrique calculée avec les coefficients de Montana de Tarbes en fonction de la période de retour et de la durée de la pluie

Les résultats que nous avons calculés pour les 3 points de projet sont les suivants.

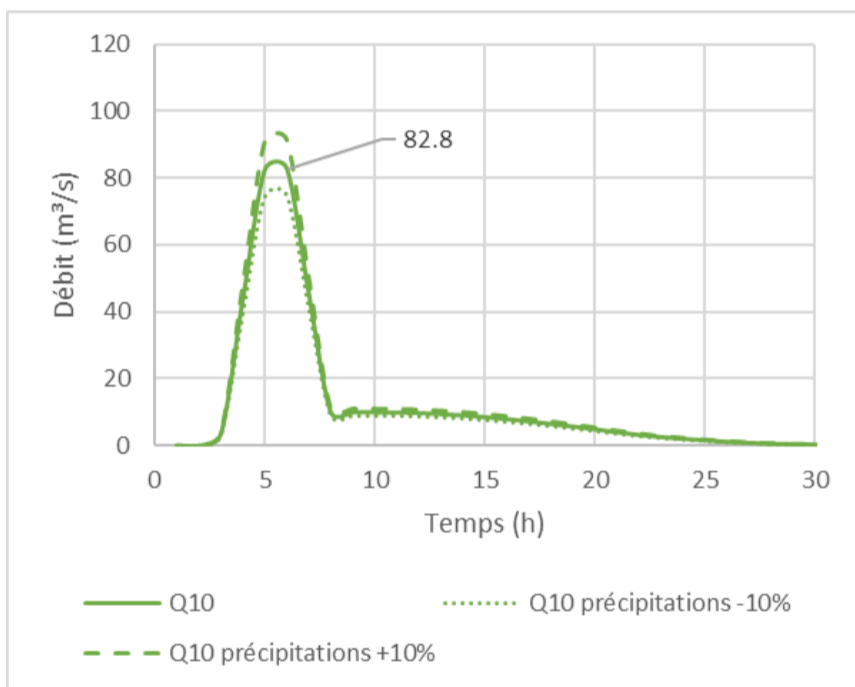
Sous bassin versant n°1 – Gave de Cauterets - Hydrogrammes de crue



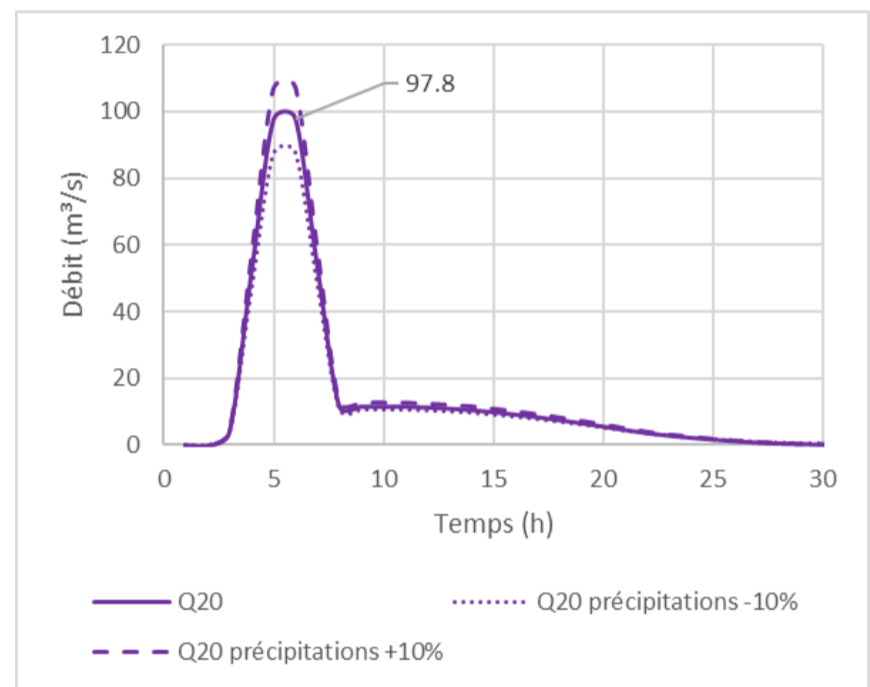
Q5



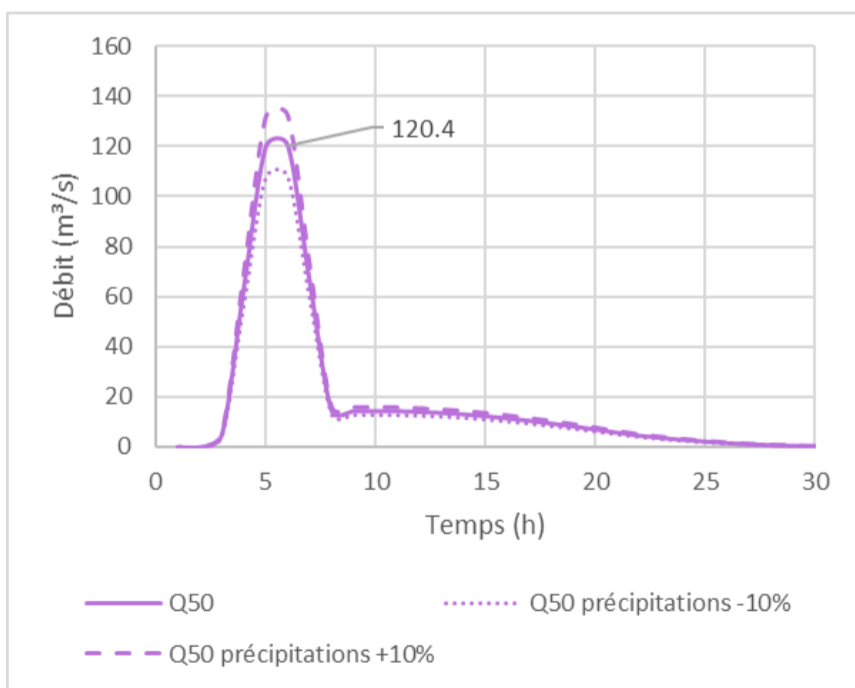
Q10



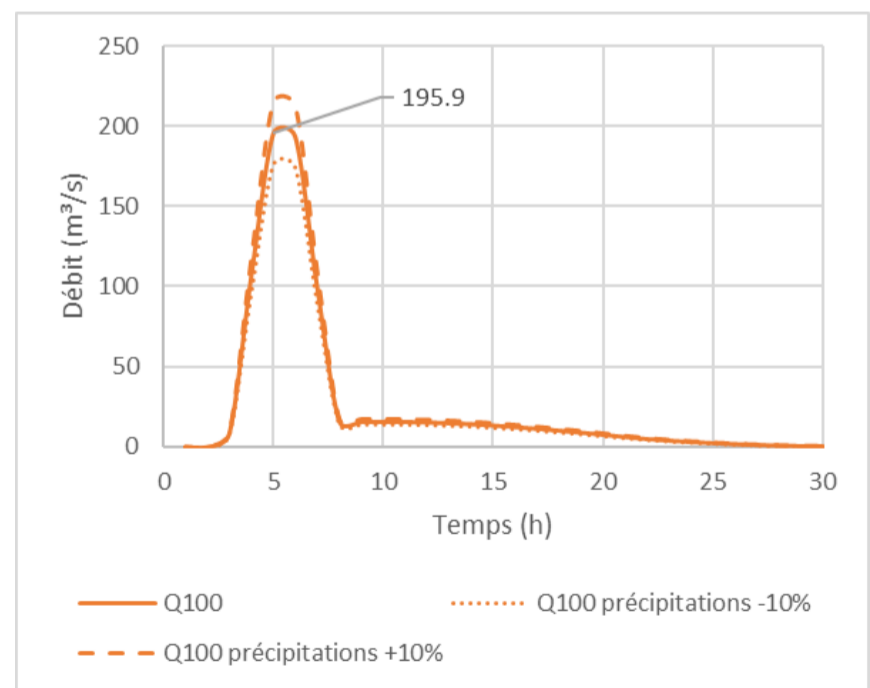
Q20



Q50



Q100

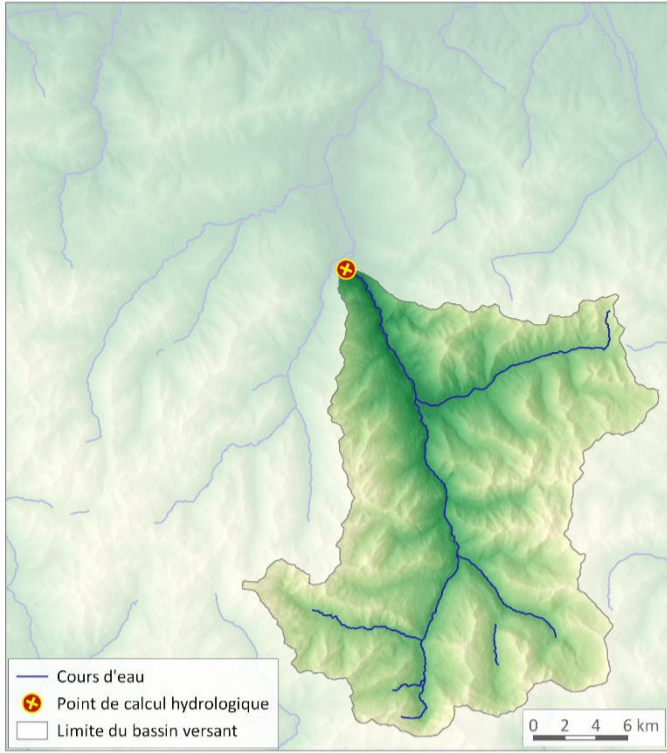


Synthèse des débits (hors contribution fonte des neiges)

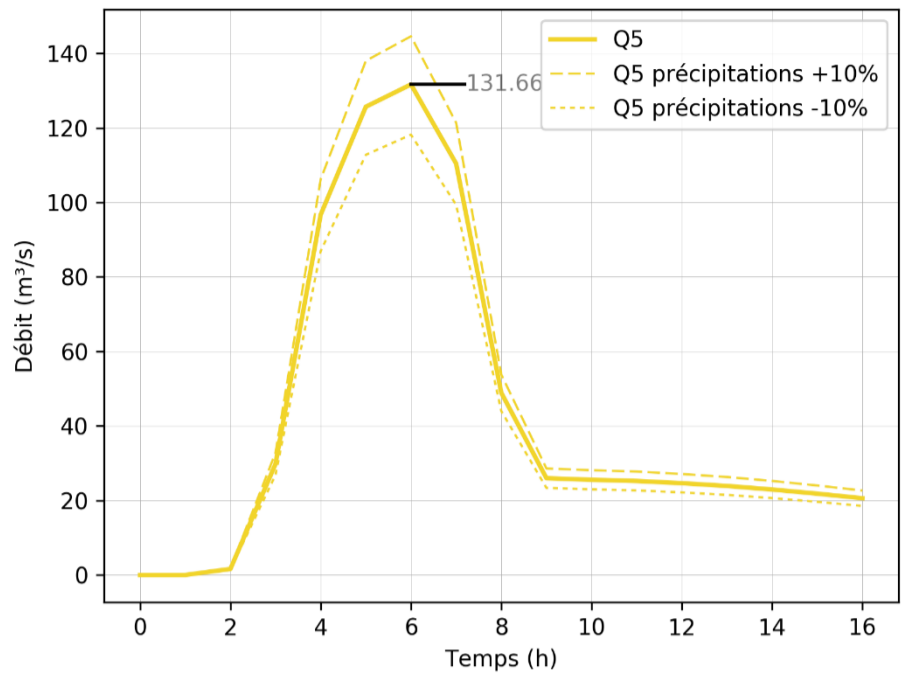
Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
69m³/s	83m³/s	98m³/s	120m³/s	196m³/s

Tableau 28: Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Cauterets

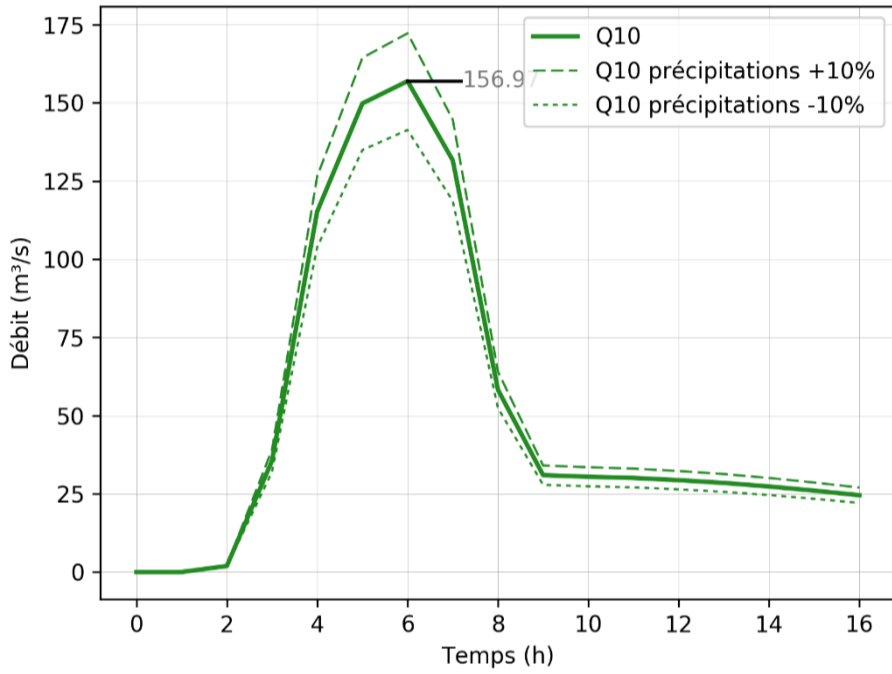
Sous bassin versant n°2 – Gave de Pau Amont confluence - Hydrogrammes de crue



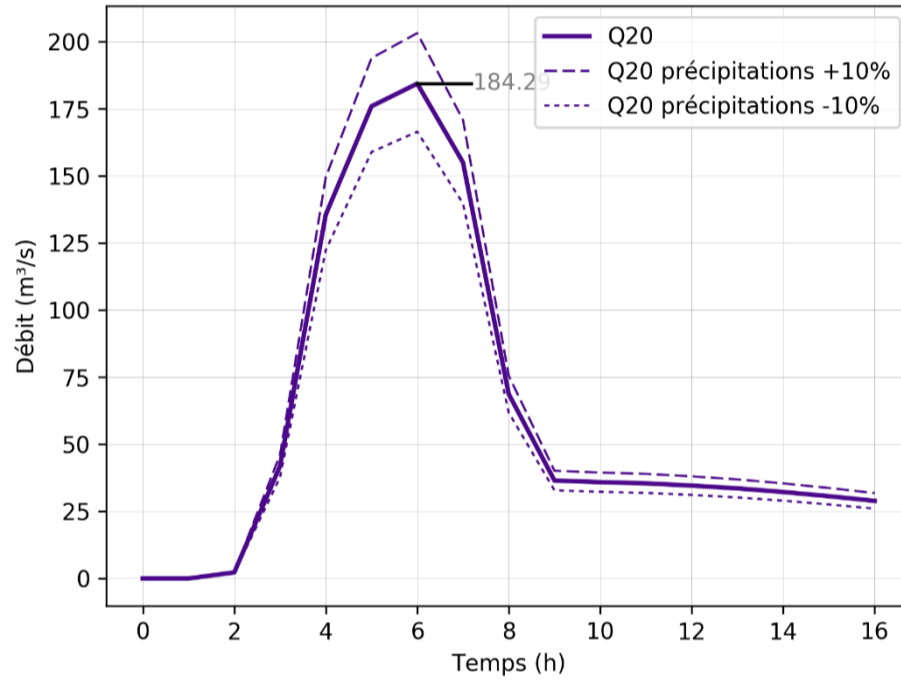
Q5



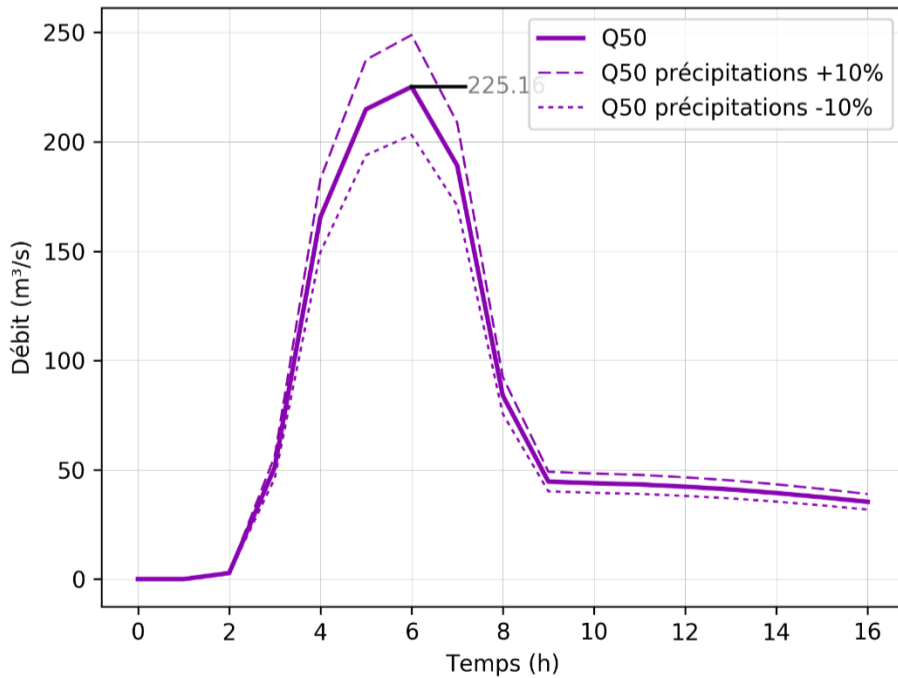
Q10



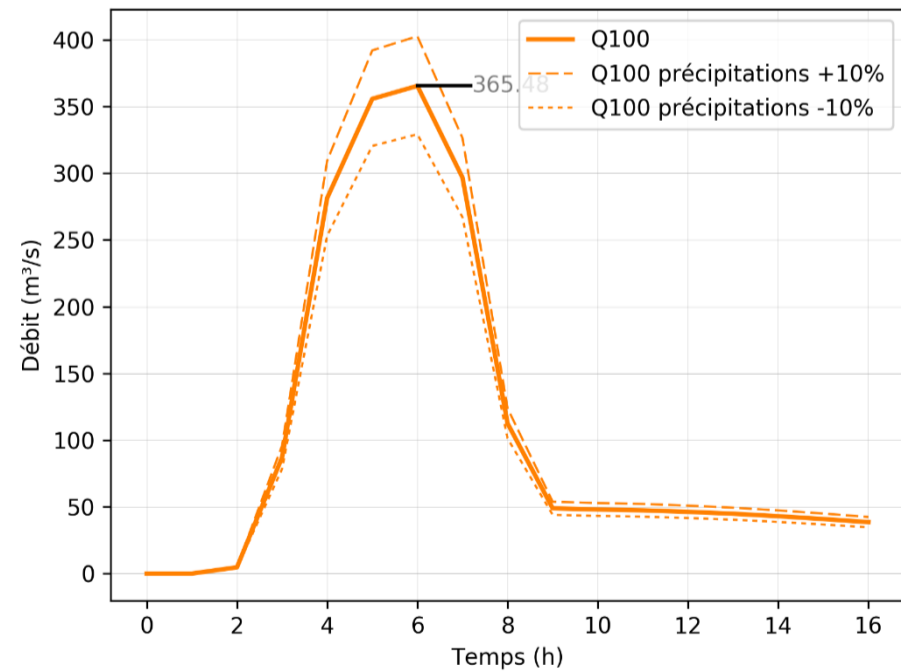
Q20



Q50



Q100



Synthèse des débits (hors contribution fonte des neiges)

Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
132m³/s	157m³/s	184m³/s	225m³/s	365m³/s

Tableau 29: Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau en amont de la confluence

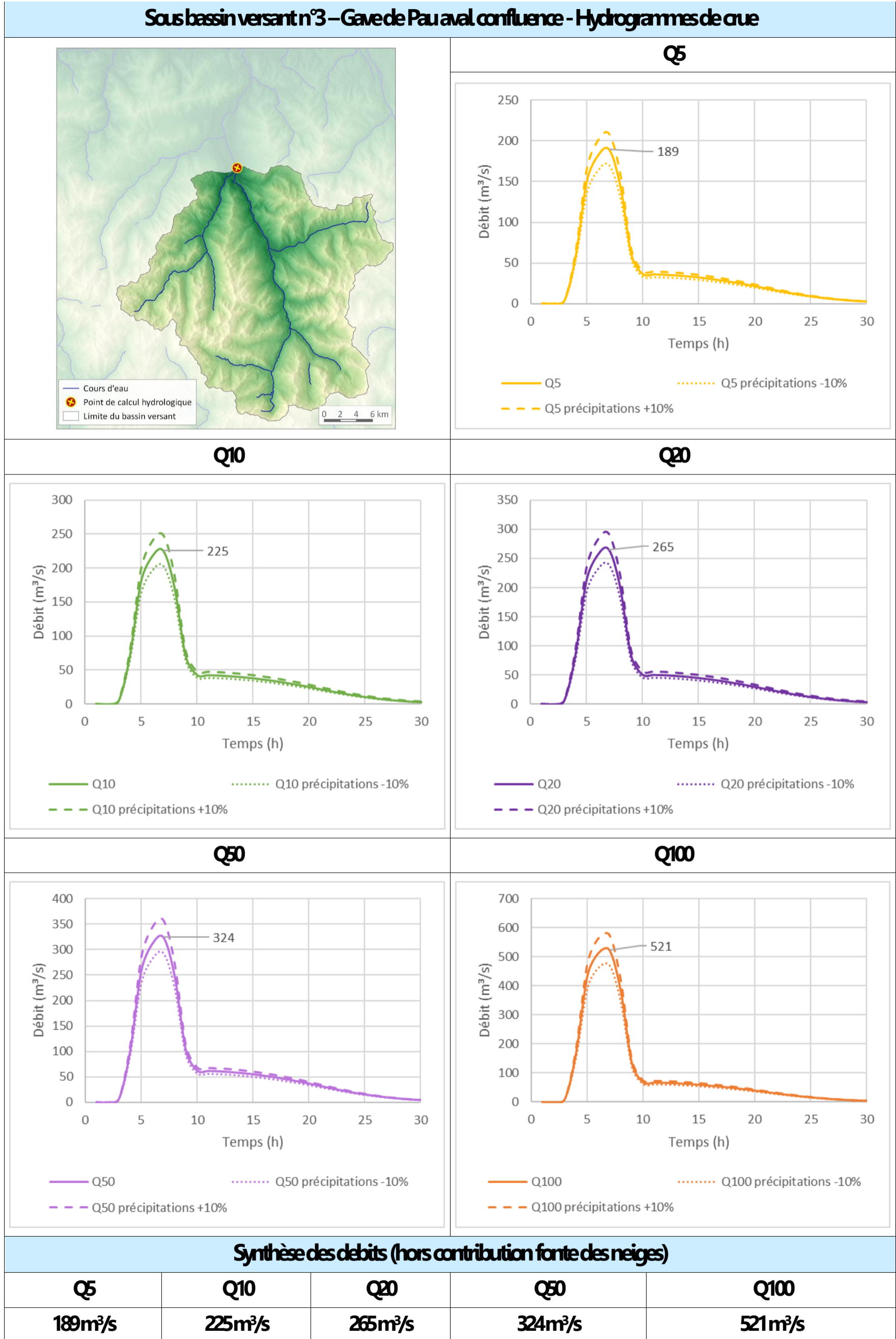


Tableau 30: Hydrogrammes de crue 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour la station du Gave de Pau en aval de la confluence



NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation, expertise post crue, gestion de crise.

Gestion sédimentaire.

Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes (barrages, digues, ouvrages de franchissement).

Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.

Développement durable.

Protection des milieux.

Continuité écologique.

Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.

Assainissement & épuration des eaux usées.

Gestion des eaux pluviales.

Conception et gestion des aménagements d'irrigation et d'enneigement.

Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.

Récolement.

Contact :

contact@hydretudes.com

www.hydretudes.com



Flashez et visitez notre site

Saint-Pierre
de la Réunion

