

Syndicat Mixte de l'Agout



MODERNISATION DU SYSTEME D'ALERTE DES CRUES SUR LES BASSINS VERSANTS DU THORE, DE LA DURENQUE ET DE L'ARNETTE

Etude hydrologique



Mai 2022

LE PROJET

Client	Syndicat Mixte de l'Agout
Projet	Modernisation du système d'alerte des crues sur les bassins versants du Thoré, de la Durenque et de l'Arnette
Intitulé du rapport	Etude hydrologique

LES AUTEURS

	Cereg Ingénierie - 589 rue Favre de Saint Castor – 34080 MONTPELLIER Tel : 04.67.41.69.80 - Fax : 04.67.41.69.81 - montpellier@cereg.com www.cereg.com
--	--

Réf. Cereg - 2021-CI-000693

Id	Date	Etabli par	Vérfié par	Description des modifications / Evolutions
V1	Mai 2022	Tristan PODECHARD		Version initiale provisoire
V2	Mai 2022	Tristan PODECHARD	Fabien CHRISTIN	Ajout des compléments restant à réaliser



TABLE DES MATIERES

A. ELEMENTS DE CONTEXTE.....	10
B. MISSION 1 : ETUDE HYDROLOGIQUE PREALABLE.....	13
B.I. ETUDES ANTERIEURES	14
B.II. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS	16
B.II.1. Surfaces drainées et réseau hydrographique	16
B.II.2. Pentés, profil en long et profils en travers.....	17
B.II.3. Occupation des sols	22
B.II.4. Géologie	24
B.II.5. Temps de concentration	25
B.II.6. Ouvrages et aménagements hydrauliques	26
B.III. ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE	27
B.III.1. Postes météorologiques	27
B.III.2. Pluviométrie statistique de référence	28
B.III.2.1. Coefficients de Montana	28
B.III.2.2. Données SHYREG	30
B.III.3. Evénements majeurs.....	33
B.III.3.1. Analyse de la pluie de mars 2011	34
B.III.3.2. Analyse de la pluie de mai 2013	37
B.III.3.3. Analyse de la pluie de février 2017.....	39
B.III.3.4. Analyse de la pluie d'octobre 2018.....	41
B.III.3.5. Analyse de la pluie de mai 2020	47
B.III.3.6. Analyse de la pluie de janvier 2021	49
B.IV. STATIONS HYDROMETRIQUES	52
B.IV.1. Stations recensées	52
B.IV.2. Localisation	53
B.IV.3. Qualité des données	53
B.IV.4. Comportement annuel.....	53
B.IV.5. Comportement en crue.....	54
B.IV.6. Temps de propagation	55
B.V. ESTIMATION DE LA SENSIBILITE DES ZONES A ENJEUX.....	57
B.V.1. Localisation des zones à enjeux	57
B.V.2. Sensibilité des zones à enjeux.....	57
C. MISSION 2 : DEVELOPPEMENT, PARAMETRAGE ET MISE EN SERVICE DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC	60
C.I. PRESENTATION DU MODELE.....	61
C.I.1.1. Principes de fonctionnement d'OpenFLUID.....	61

C.I.2.	Description du modèle hydrologique.....	63
C.II.	DONNEES D'ENTREE DU MODELE.....	65
C.II.1.	Evénements réels	65
C.II.2.	Pluies de projet	65
C.II.2.1.	Types de pluies de projet	65
C.II.2.2.	Coefficients de Montana	67
C.II.2.3.	Données SHYREG	67
C.III.	CALAGE DU MODELE.....	68
C.III.1.	Préambule	68
C.III.2.	Mars 2011	69
C.III.3.	Mai 2013	71
C.III.4.	Février 2017	74
C.III.5.	Octobre 2018	76
C.III.6.	Mai 2020	79
C.III.7.	Janvier 2021	81
C.III.8.	Conclusions sur le calage du modèle	84
C.IV.	EXPLOITATION POUR LES PLUIES DE PROJET	85
C.IV.1.	Définition des scénarios de pluies.....	85
C.IV.2.	Temps de réaction, transfert et propagation vis-à-vis des zones à enjeux.....	86
D. MISE A JOUR DES SEUILS DE VIGILANCE ET D'ALERTE – MISE EN ŒUVRE DU SDAL ..88		
D.I.	DEFINITION DES SEUILS SUR LA PLUIE	89
D.I.1.	Seuils actuels.....	89
D.I.2.	Seuils proposés	90
D.II.	DEFINITION DES SEUILS SUR LES HAUTEURS D'EAU	92
D.II.1.	Seuils actuels.....	92
D.II.2.	Définition des seuils sur les nouvelles stations.....	93
D.III.	RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES EVENEMENTS RECENTS	98
D.IV.	CONCLUSIONS.....	110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Liste des études antérieures disponibles.....	14
Tableau 2 :	Linéaire des principaux affluents et superficie drainée.....	17
Tableau 3 :	Répartition des différentes occupations du sol.....	23
Tableau 4 :	Temps de concentration des bassins versants calculés par différentes méthodes.....	25

Tableau 5 : Cumuls statistiques obtenus par les coefficients de Montana à la station de Labastide-Rouairoux.	29
Tableau 6 : Cumuls de pluie par la méthode SHYREG à Mazamet.	30
Tableau 7 : écarts identifiés entre pluviomètres et lames d’eau radar.	44
Tableau 8 : Stations hydrométriques DREAL.	52
Tableau 9 : Stations hydrométriques Syndicat.	52
Tableau 10 : Différentes estimations des débits de crue aux stations (source : Banque Hydro).	54
Tableau 11 : Durée entre le pic d’intensité de pluie et l’arrivée du pic de débit.	86
Tableau 12 : Durée entre le pic d’intensité de pluie et l’arrivée du pic de débit.	86
Tableau 13 : Temps d’arrivée du pic au droit des zones à enjeux.	87
Tableau 14 : Cumuls de vigilance et d’alerte donnés dans le SDAL actuel.	89
Tableau 15 : Cumuls de pré-alerte et d’alerte proposés (comparaison avec les anciens seuils).	90
Tableau 16 : Seuils actuels de pré-alerte et d’alerte sur les hauteurs pour les stations actuelles.	92
Tableau 17 : Seuils de pré-alerte et d’alerte sur les hauteurs pour les nouvelles stations.	97
Tableau 18 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement de mars 2011 – configuration par défaut.	98
Tableau 19 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de mars 2011 – configuration par défaut.	98
Tableau 20 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement de mars 2011 – configuration « sols saturés ».	100
Tableau 21 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de mars 2011 – configuration « sols saturés ».	100
Tableau 22 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement de mai 2013 – configuration par défaut.	101
Tableau 23 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de mai 2013 – configuration par défaut.	101
Tableau 24 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de mai 2013 – configuration « sols saturés ».	102
Tableau 25 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement de février 2017 – configuration par défaut.	103
Tableau 26 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de février 2017 – configuration par défaut.	103
Tableau 27 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de février 2017 – configuration « sols saturés ».	104
Tableau 28 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement d’octobre 2018 – configuration par défaut.	105
Tableau 29 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement d’octobre 2018 – configuration par défaut.	105
Tableau 30 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement de mai 2020 – configuration par défaut.	106
Tableau 31 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de mai 2020 – configuration par défaut.	106
Tableau 32 : niveaux d’alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l’événement de février 2021 – configuration par défaut.	108
Tableau 33 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de février 2021 – configuration par défaut.	108

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 : Localisation du bassin versant.	11
Illustration 2 : Localisation des sous bassins faisant l'objet de l'étude.	12
Illustration 3 : Définition des seuils d'alerte et de pré-alerte (Hydro-m, 2005).	15
Illustration 4 : Réseau hydrographique.	16
Illustration 5 : Types d'organisation du réseau hydrographique.	17
Illustration 6 : Reliefs remarquables.	18
Illustration 7 : Profils en long.	19
Illustration 8 : Mise en évidence des pentes sur le territoire.	19
Illustration 9 : Profils en travers sur le Thoré.	20
Illustration 10 : Profils en travers sur l'Arnette.	20
Illustration 11 : Profils en travers sur l'Arn.	21
Illustration 12 : Profils en travers sur la Durenque.	21
Illustration 13 : Occupation du sol (CORINE Land Cover 2018).	22
Illustration 14 : Occupation du sol (CORINE Land Cover, évolutions entre 1990 et 2018).	23
Illustration 15 : Formations géologiques rencontrées sur le territoire.	24
Illustration 16 : Principaux barrages sur les bassins versants étudiés.	26
Illustration 17 : Localisation des postes pluviométriques disponibles.	27
Illustration 18 : Stations pouvant faire l'objet de coefficients de Montana.	28
Illustration 19 : Cumuls statistiques à Labastide-Rouairoux.	29
Illustration 20 : Point de données SHYREG utilisé.	30
Illustration 21 : Comparaison entre cumuls SHYREG et cumuls statistiques au poste de Labastide-Rouairoux.	31
Illustration 22 : Comparaison entre cumuls SHYREG et cumuls statistiques au poste de Narbonne.	31
Illustration 23 : Comparaison entre cumuls SHYREG et cumuls statistiques au poste de Carcassonne.	32
Illustration 24 : Cumuls enregistrés du 14 au 18 mars 2011.	35
Illustration 25 : Cumul de pluie de l'événement de 2011 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).	36
Illustration 26 : Cumuls enregistrés du 27 mai au 2 juin 2013.	38
Illustration 27 : Cumul de pluie de l'événement de 2013 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).	38
Illustration 28 : Cumuls enregistrés du 11 au 16 février 2017.	40
Illustration 29 : Cumul de pluie de l'événement de 2017 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).	40
Illustration 30 : Pluie radar et pluviomètres analysés pour l'événement d'octobre 2018.	41
Illustration 31 : indicateur de qualité moyenne sur l'événement de 2018 (source : Météo France).	42
Illustration 32 : Coefficients correctif pour la pluie radar de 2018 (source : Météo France).	45
Illustration 33 : Cumul de pluie radar total lors de l'événement de 2018 (mm).	46
Illustration 34 : Comparaison du cumul de la pluie radar brute de 2018 aux cumuls statistiques.	46
Illustration 35 : Comparaison des cumuls de pluie 2018 aux stations avec les cumuls statistiques.	47
Illustration 36 : Cumuls enregistrés du 9 au 15 mai 2020.	48
Illustration 37 : Cumul de pluie de l'événement de 2020 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).	49
Illustration 38 : Cumuls enregistrés du 29 janvier au 5 février 2021.	50

Illustration 39 : Cumul de pluie de l'événement de 2021 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).	51
Illustration 40 : Stations hydrométriques sur le bassin versant.	53
Illustration 41 : Débits spécifiques mensuels aux deux stations hydrométriques.	54
Illustration 42 : temps de propagation issus de l'étude d'Hydro-m ayant mis en œuvre le système d'alerte.	55
Illustration 43 : Localisation des enjeux.	57
Illustration 44 : Disponibilité de la cartographie ZIP sur le site Vigicrue.	58
Illustration 45 : Disponibilité de la cartographie ZIP.	58
Illustration 46 : Enjeux concernés par la cartographie ZIP.	59
Illustration 47 : Unités spatiales dans un modèle OpenFLUID.	61
Illustration 48 : Méthodologie et déroulement des phases de travail avec le modèle COGERE.....	63
Illustration 49 : Entités spatiales modélisées pour représenter le bassin versant sous COGERE.....	64
Illustration 50 : Exemple d'une pluie de projet de type Keifer.	66
Illustration 51 : Exemple d'une pluie de projet de type Desbordes.....	66
Illustration 52 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – mars 2011.	69
Illustration 53 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – mars 2011.....	69
Illustration 54 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide – mars 2011.....	70
Illustration 55 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans – mars 2011.....	70
Illustration 56 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine – mars 2011.....	71
Illustration 57 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – mai 2013.....	71
Illustration 58 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – mai 2013.....	72
Illustration 59 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide – mai 2013.....	72
Illustration 60 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans – mai 2013.....	73
Illustration 61 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine – mai 2013.....	73
Illustration 62 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – février 2017.....	74
Illustration 63 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – février 2017.....	74
Illustration 64 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –février 2017.....	75
Illustration 65 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –février 2017.....	75
Illustration 66 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –février 2017.....	76
Illustration 67 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – octobre 2018.....	76
Illustration 68 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – octobre 2018.....	77
Illustration 69 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –octobre 2018.....	77
Illustration 70 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –octobre 2018.....	78
Illustration 71 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –octobre 2018.....	78
Illustration 72 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – mai 2020.....	79
Illustration 73 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – mai 2020.....	79
Illustration 74 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –mai 2020.....	80
Illustration 75 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –mai 2020.....	80
Illustration 76 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –mai 2020.....	81
Illustration 77 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – janvier 2021.....	81
Illustration 78 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – janvier 2021.....	82

Illustration 79 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –janvier 2021.....	82
Illustration 80 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –janvier 2021.....	83
Illustration 81 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –janvier 2021.....	83
Illustration 82 : Abattement spatial de la pluie.....	85
Illustration 83 : Comparaison des seuils d'alerte de pluie aux cumuls statistiques disponibles.....	89
Illustration 84 : Comparaison des seuils proposés aux anciens cumuls.....	91
Illustration 85 : Fiches stations du SDAL initial (source : Hydro-m).....	92
Illustration 86 : Localisation des nouvelles stations de mesure.....	93
Illustration 87 : Principe de définition des seuils de pré-alerte et d'alerte sur les hauteurs d'eau (source : Hydro-m dans le SDAL initial).	93
Illustration 88 : Localisation et contexte de la station de Castaunouze.....	94
Illustration 89 : Profil en travers au droit de la station de Castaunouze (source : RGE 5m).	94
Illustration 90 : Localisation et contexte de la station de Boissezon.....	95
Illustration 91 : Profil en travers au droit de la station de Boissezon (source : RGE 5m).....	95
Illustration 92 : Localisation et contexte de la station de Castres.....	96
Illustration 93 : Profil en travers au droit de la station de Castres (source : RGE 5m).	96
Illustration 94 : Mars 2011 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.....	99
Illustration 95 : Mars 2011 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.....	99
Illustration 96 : Mars 2011 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration « sols saturés ».	100
Illustration 97 : Mai 2013 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.....	101
Illustration 98 : Mai 2013 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.....	102
Illustration 99 : Mai 2013 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration « sols saturés ».	102
Illustration 100 : Février 2017 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.....	103
Illustration 101 : Février 2017 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.....	104
Illustration 102 : Février 2017 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration « sols saturés ».	104
Illustration 103 : Octobre 2018 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.....	105
Illustration 104 : Octobre 2018 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.....	106
Illustration 105 : Mai 2020 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.....	107
Illustration 106 : Mai 2020 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.....	107
Illustration 107 : Février 2021 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.....	108
Illustration 108 : Février 2021 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.....	109

PREAMBULE

En France, les inondations constituent le premier risque majeur : la moitié des communes présentent une zone inondable et l'urbanisation à proximité des axes d'écoulement a augmenté le nombre d'habitants exposés à ce risque. Ainsi, les estimations indiquent que près de 11% de la population française est concernée par les inondations par débordement de cours d'eau.

Le bassin versant de l'Agout est fortement exposé à ce risque en raison des influences océaniques et méditerranéennes pouvant provoquer de très fortes précipitations.

Les principaux cours d'eau du bassin versant sont couverts par les réseaux de surveillance nationaux, notamment le Service de Prévision des Crues (SPC) géré par la DREAL.

Toutefois, certains secteurs sensibles se trouvent hors du périmètre de ce réseau de surveillance car localisés en amont du bassin ou sur de petits affluents favorables aux crues torrentielles. En conséquence, le Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout (SMBA) avait installé en 2006 un système d'alerte sur la haute vallée du Thoré.

Près de 15 ans plus tard, le dispositif nécessite de réaliser un retour d'expérience et une modernisation doit être envisagée. Les retours d'expérience sur la mise en œuvre de ce système d'alerte montre qu'il serait pertinent d'étendre son périmètre aux sous bassins de la Durenque et de l'Arnette.

L'extension et la modernisation de ce système d'alerte de crue est menée dans le cadre du Programme d'Etude Préalable au PAPI Agout.

L'étude comprend deux missions :

- **Mission 1** : étude hydrologique et hydraulique préalable.
- **Mission 2** : développement, paramétrage et mise en service de l'outil de diagnostic.

A. ELEMENTS DE CONTEXTE



Le bassin versant de l'Agout se trouve principalement sur le département du Tarn (81) avec quelques apparitions ponctuelles sur les départements de la Haute-Garonne (31), de l'Aude (11) et de l'Hérault (34). Il s'agit d'un affluent en rive gauche du Tarn qui draine une superficie de 3 500 km².

L'Agout prend naissance au niveau de la commune de Cambon-et-Salvergues, sur le massif de l'Espinouse. Le cours d'eau parcourt environ 190 km avant de se jeter dans le Tarn à Saint-Sulpice.

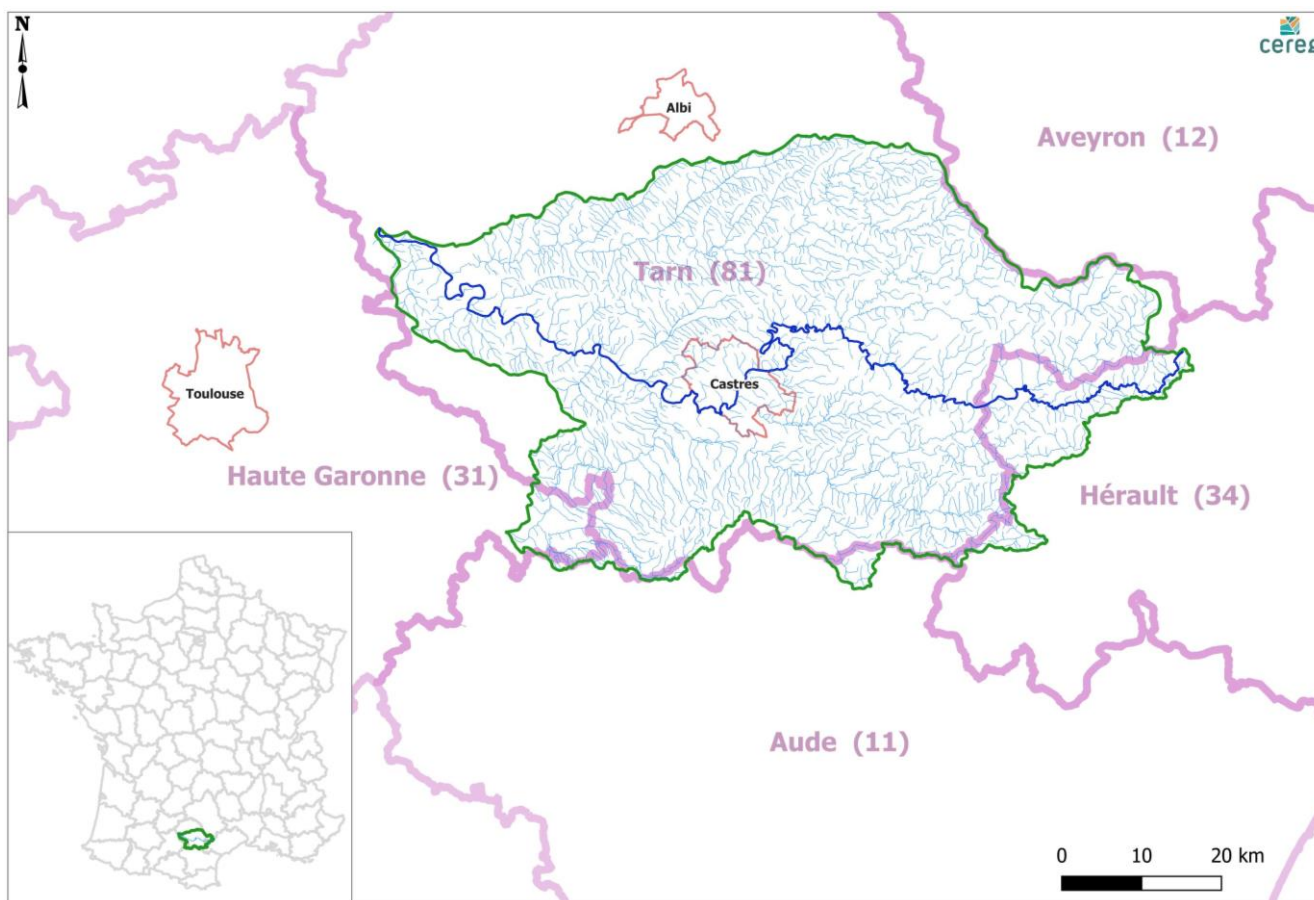


Illustration 1 : Localisation du bassin versant.

La mission s'intéresse particulièrement à trois sous bassins versants :

- Bassin du Thoré ;
- Bassin de la Durenque ;
- Bassin de l'Arnette.

Ces bassins versants sont représentés sur la carte suivante.

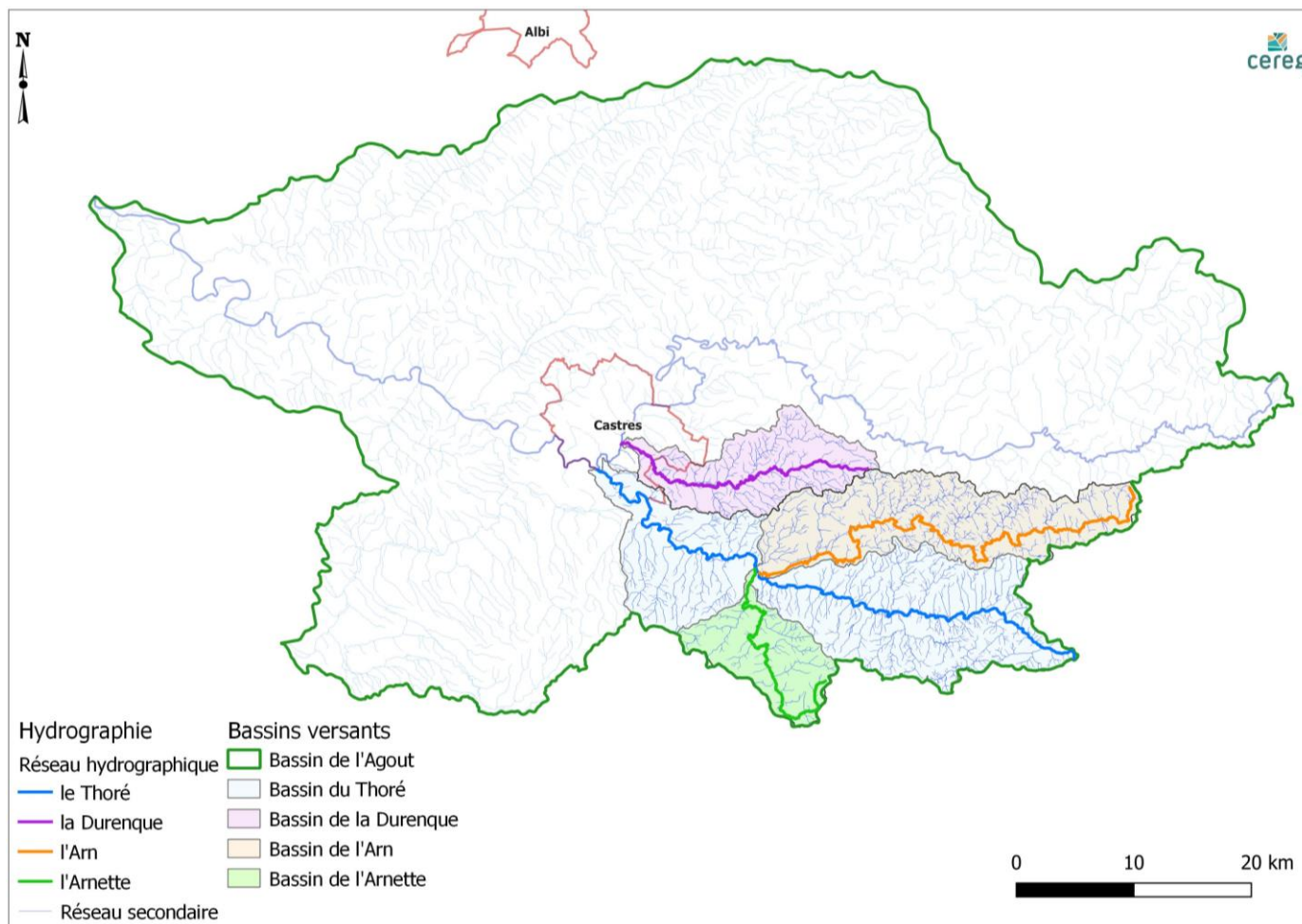


Illustration 2 : Localisation des sous bassins faisant l'objet de l'étude.

B. MISSION 1 : ETUDE HYDROLOGIQUE PREALABLE



B.I. ETUDES ANTERIEURES

La liste des études antérieures disponible est indiquée dans le tableau suivant.

Titre	Auteur	Date	Contenu
Etude sur la mise en place d'un système d'alerte sur le Thoré amont – Eléments de guide méthodologique	Olivier HERRMANN – DIREN Midi-Pyrénées	Juin 2004	Etat des lieux et aide au choix de la solution la plus adaptée au bassin du Thoré pour la prévention des inondations
Analyse hydrologique pour la mise en place d'un tableau indicateur pour l'évaluation et l'anticipation de la gravité d'une crue dans la vallée du Thoré	Hydro-m	Octobre 2005	Etude pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un système d'alerte sur le Thoré.
Etude de protection contre les crues de l'Arnette et des ruisseaux affluents du Thoré	SIEE	Février 2006	Note de synthèse du diagnostic visant à identifier et chiffrer les actions de prévention et de protection contre les inondations.
Risques d'inondation et occupation des sols en vallée du Thoré	Abdellah BOUBCHIR – Master I Geode	Juillet 2007	Analyse de l'évolution de l'occupation du sol par images aériennes, peu d'intérêt pour la présente étude.

Tableau 1 : Liste des études antérieures disponibles.

■ Etude sur la mise en place d'un système d'alerte sur le Thoré amont – Eléments de guide méthodologique – DIREN Midi-Pyrénées, juin 2004

A la suite de l'événement de novembre 1999, cette étude fait le constat qu'aucun système d'alerte n'était en place sur le bassin du Thoré.

Il est proposé un état des lieux et l'identification des problèmes pouvant être résolus par la mise en place d'un système d'alerte. Le rapport fait office de guide méthodologique de manière à aider dans le choix de la solution technique la plus adaptée au bassin du Thoré.

Cette étude propose l'analyse de la vitesse de montée des eaux et des temps de propagation pour 12 crues observées ainsi que pour l'événement de novembre 1999.

TEMPS DE PROPAGATION ET VITESSES MOYENNES SUR LE THORE

Sites	Distance (en km)	Temps de propagation (en h)	Vitesse moyenne (en m/s)
Labastide - Mazamet	24	4 36 20	1,66
Labastide - St Amans	14	2	1,95
St Amans - Mazamet	10	2	1,39

Cette étude a le mérite de dresser un premier état des lieux des connaissances hydrologiques sur le bassin versant. Elle s'intéresse également aux enjeux vulnérables à alerter en priorité en cas d'inondation.

Enfin, des propositions sur les différents systèmes d'alerte et équipements sont effectuées.

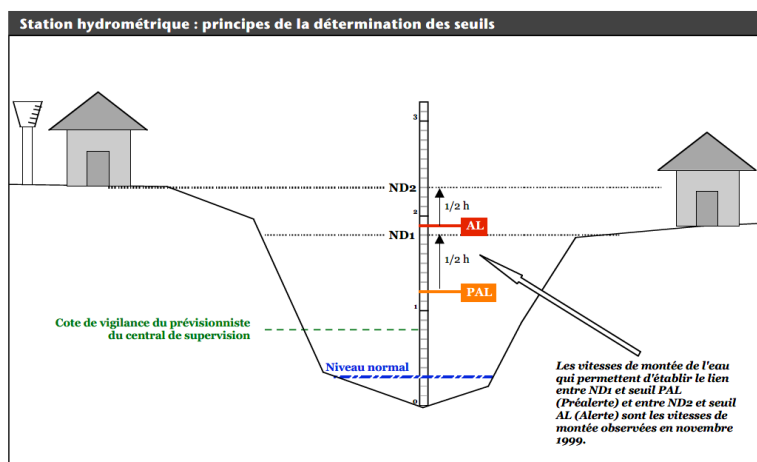
Après discussion, l'intérêt de la collecte des données (capitalisation) fut bien perçu. Les maires comme le Syndicat ont accepté de poursuivre l'étude avec les propositions 4 et 3 (collecte des données en temps réel – collecte en temps différé) car elles offrent l'anticipation la plus approfondie.

Analyse hydrologique pour la mise en place d'un tableau indicateur pour l'évaluation et l'anticipation de la gravité d'une crue dans la vallée du Thoré – Hydro-m, Octobre 2005

Cette étude est le rapport technique ayant conduit à l'élaboration du système de vigilance et d'annonce des crues sur le bassin du Thoré.

L'état des lieux reprend les éléments de connaissance de l'étude de la DIREN (2004) mais propose des compléments d'analyse, notamment en ce qui concerne les temps de propagation.

L'objectif étant d'aboutir à une phase opérationnelle avec la définition de seuils de pré-alerte et d'alerte au droit de chaque station.



Comme le montre la Fig.40 ci-dessous, les seuils de PAL et AL sont fixés en dessous des niveaux de débordement associés (ND1 et ND2). Ainsi, ce positionnement intègre une marge de sécurité par rapport aux niveaux de débordement. Cette marge correspond, en période de montée rapide des eaux d'une crue violente, au temps nécessaire pour prévenir les riverains concernés et pour qu'ils puissent se mettre en sécurité et mettre leurs biens à l'abri.

Illustration 3 : Définition des seuils d'alerte et de pré-alerte (Hydro-m, 2005).

B.II. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS

Le comportement hydrologique d'un bassin versant s'explique par les caractéristiques physiques qui lui sont propres (occupation du sol, pentes, géologie...) ainsi que par la climatologie locale à laquelle il est soumis.

Les paragraphes qui suivent constituent l'analyse des différents éléments du bassin versant qui jouent un rôle dans la production et la propagation des écoulements.

B.II.1. Surfaces drainées et réseau hydrographique

Les principaux bassins versants étudiés ici sont le Thoré, la Durenque, l'Arn et l'Arnette (voir carte suivante).

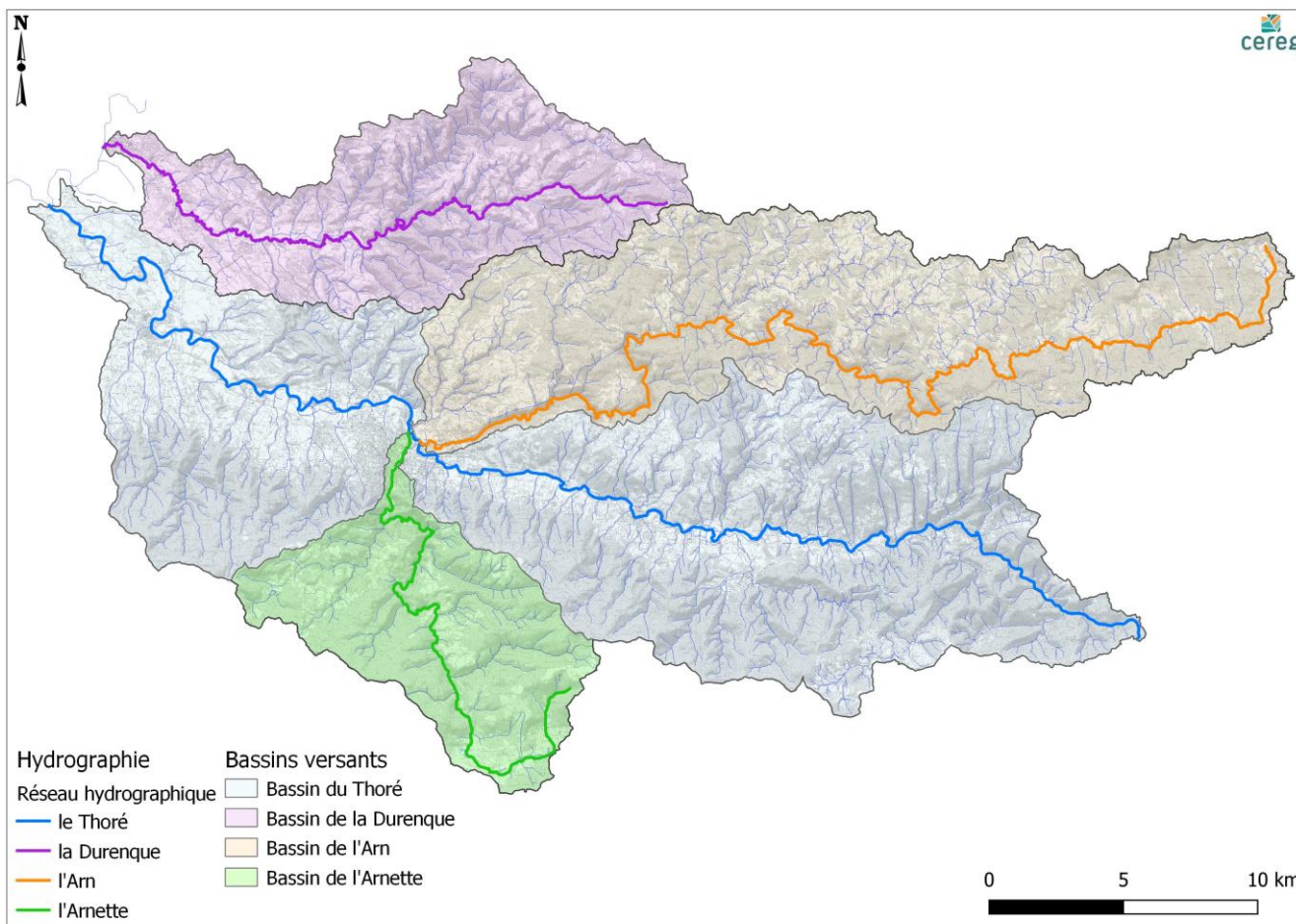


Illustration 4 : Réseau hydrographique.

Les longueurs d'écoulement ainsi que les surfaces drainées sont précisées dans le tableau suivant.

Au total, la zone d'étude couvre un périmètre de 691 km² et le réseau hydrographique principal représente 180 km linéaires.

Cours d'eau	Linéaire (km)	Superficie du bassin versant (km ²)	Proportion par rapport à l'ensemble de la zone d'étude
Thoré	62.3	585 km ² (dont Arn et Arnette)	85%
Durenque	32.7	106 km ²	15%
Arn	58.2	187 km ²	27%
Arnette	26.9	78 km ²	11%
Total étudié	180.1	691 km²	

Tableau 2 : Linéaire des principaux affluents et superficie drainée.

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant.

Le tracé de ce réseau est la conséquence de nombreux facteurs, notamment la géologie, le climat, la pente du terrain, l'occupation des sols, la présence d'activités humaines... Son organisation aura une grande influence sur la propagation des écoulements et donc sur la réponse hydrologique du bassin versant, que ce soit en crue ou à l'étiage.

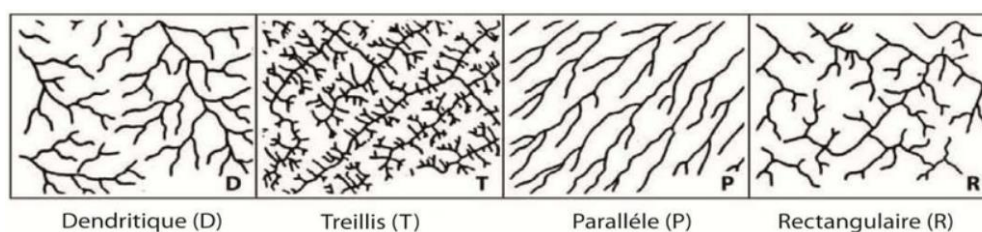


Illustration 5 : Types d'organisation du réseau hydrographique.

Dans le cas de ce secteur d'étude, l'organisation du réseau hydrographique est de type dendritique.

B.II.2. Pentes, profil en long et profils en travers

Le relief d'un bassin versant a toute son importance lorsqu'on s'intéresse à l'hydrologie du territoire car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. Les reliefs ont un effet notable sur les précipitations (phénomène orographique) en termes d'intensités, de cumuls et de répartition spatiale.

▲ Analyse du contexte orographique

Les bassins versants étudiés présentent un contexte orographique particulier puisqu'ils sont cernés par trois massifs montagneux notables :

- Les **monts de Lacaune** au Nord dont l'altitude maximale est de 1270 mNGF au Puech de Rascas.
- Les **monts du Somail** à l'Est qui atteignent une altitude de 1100 mNGF.
- Les reliefs de la **Montagne Noire** au Sud dont le sommet culmine à 1200 mNGF.
- On peut également noter au Nord-Est la présence de **l'Espinouse et du Caroux** qui peuvent avoir une influence sur la climatologie du secteur (altitudes maximales respectives : 1200 et 1100 mNGF).

Ces reliefs semblent avoir un effet sur les précipitations océaniques en provenance de l'Ouest qui se retrouvent bloquées par cette barrière montagneuse.

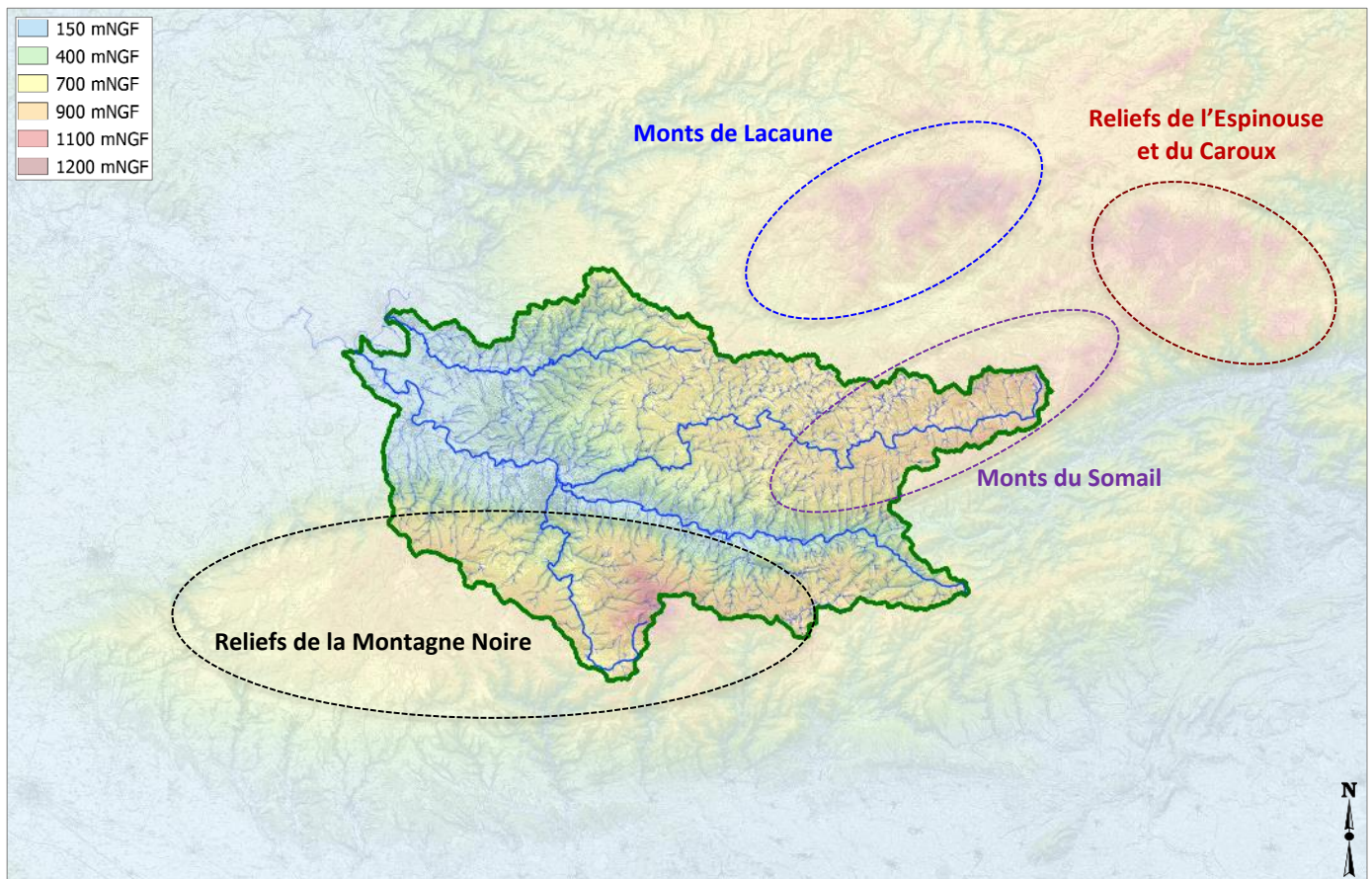


Illustration 6 : Reliefs remarquables.

Par ailleurs, la pente des terrains imposée par les différents reliefs pilote la vitesse d'écoulement sur les versants et dans le réseau hydrographique. Le relief se caractérise généralement à partir de différents indicateurs comme les altitudes minimales et maximales, les pentes moyennes...

L'analyse du modèle numérique de terrain (RGE alti 5m) a permis de déterminer les principales caractéristiques altimétriques des bassins versants étudiés.

Analyse des profils en long

Les profils en long montrent que les pentes du lit des cours d'eau sont très hétérogènes d'un affluent à l'autre. Sur le profil d'un même cours d'eau, les courbes présentent également des ruptures de pente présageant d'un relief très spécifique.

Le graphique ci-dessous représente le profil en long du Thoré et des différents affluents étudiés.

L'**Arnette** qui se trouve sur les versants de la Montagne Noire présente les pentes les plus élevées et il faut donc s'attendre à un comportement hydrologique très réactif.

Le **Thoré** présente le profil en long le plus régulier avec une pente relativement homogène sur la majeure partie de son linéaire. Seuls les derniers kilomètres à flanc de montagne sont très escarpés avec des pentes dépassant 10%.

Sur l'**Arn** on remarque nettement la présence du Lac de St Peyres. Les pentes sont très différentes de part et d'autre de l'ouvrage : moins de 1% à l'amont contre 2.5% à l'aval.

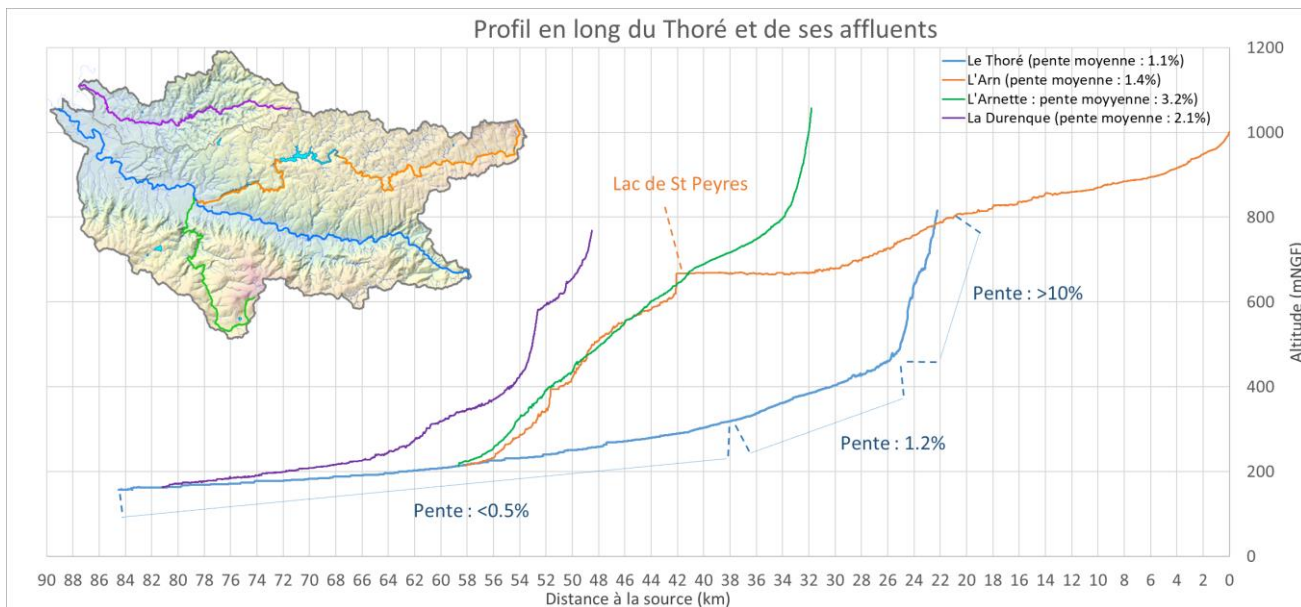


Illustration 7 : Profils en long.

La carte suivante présente la spatialisation des pentes sur le bassin versant. Trois particularités peuvent être identifiées :

- Tout d’abord les fortes pentes sur l’intégralité de la partie amont du bassin de la Durenque.
- Ensuite le plateau et le secteur de gorges sur la partie aval du bassin de l’Arn.
- Enfin, la rupture de pente sur le versant Nord de la Montagne Noire qui confère aux petits ruisseaux un caractère très réactif.

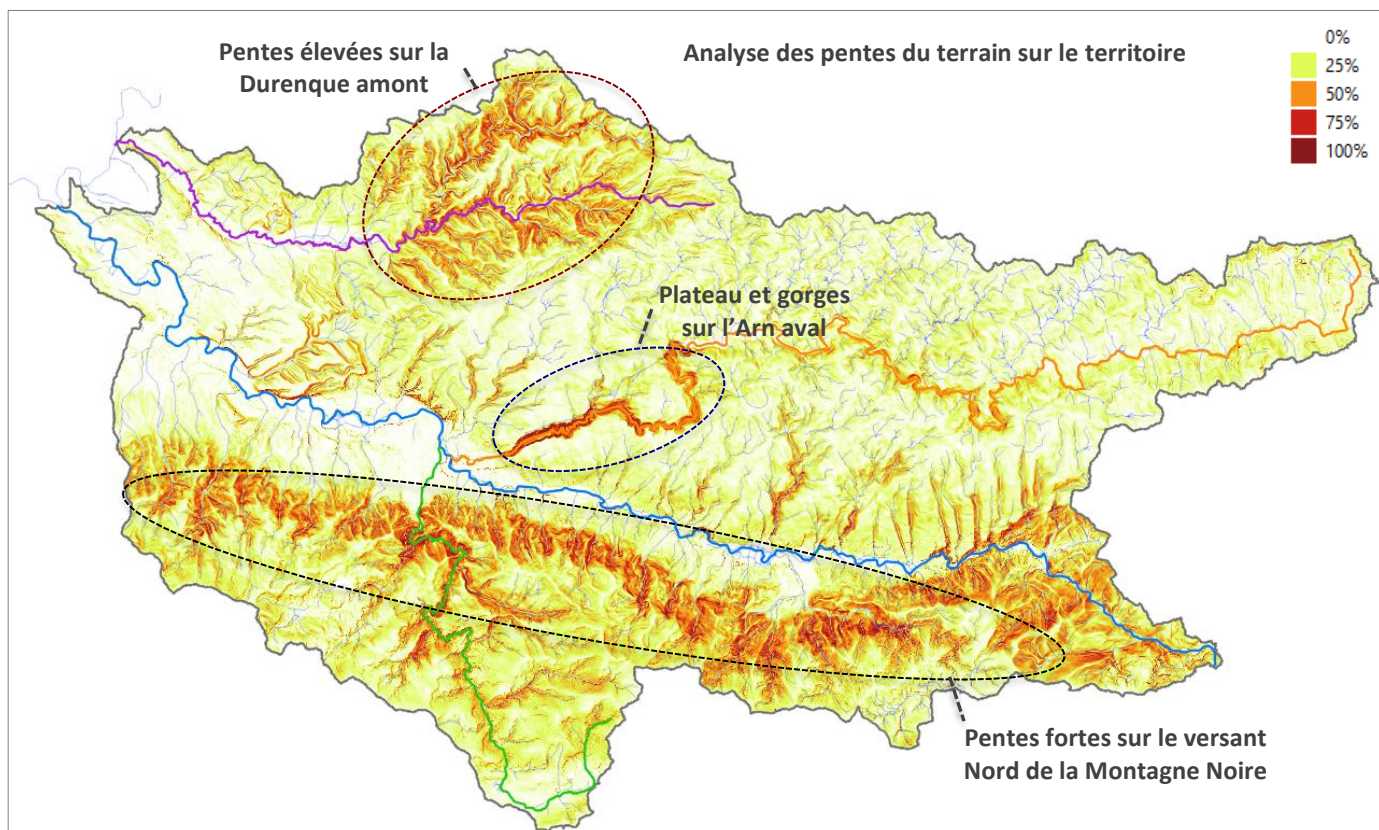


Illustration 8 : Mise en évidence des pentes sur le territoire.

En termes de réaction hydrologique, cette configuration avec une forte hétérogénéité de profils et de pentes devrait donner lieu à des comportements différents d’un bassin à l’autre.

Analyse des profils en travers

Sur le Thoré, le cours d'eau est relativement encaissé sur sa partie amont mais la vallée s'évase rapidement pour donner lieu à une large plaine alluviale (plus de 200 m dès le profil n°2).

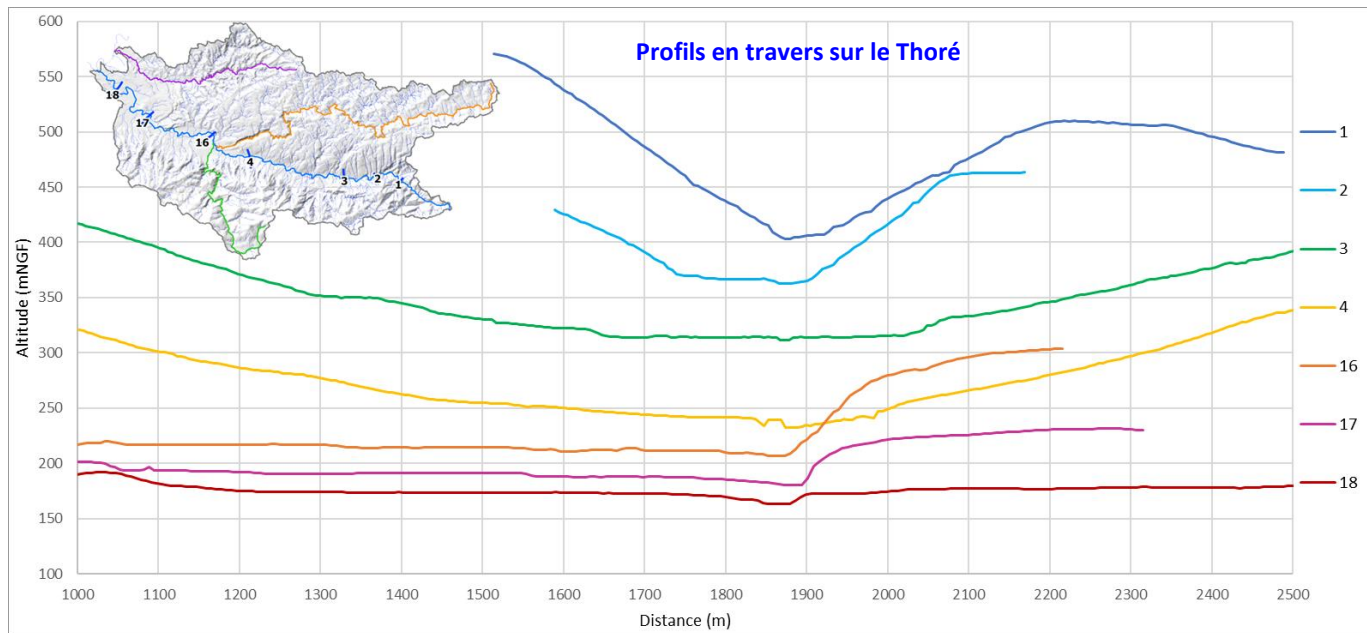


Illustration 9 : Profils en travers sur le Thoré.

L'Arnette présente des profils très particuliers : sur le secteur amont le cours d'eau est dans un premier temps très encaissé (profil 9a) puis s'élargit au niveau du « champ de la plaine » (profil 9b) avant de retrouver un profil de torrent de montagne cerné par des versants très pentus. Ce n'est qu'à son entrée dans la ville de Mazamet, à quelques centaines de mètres de la confluence avec le Thoré (profil 6) que l'on peut identifier l'apparition d'un lit majeur avec un élargissement de la vallée.

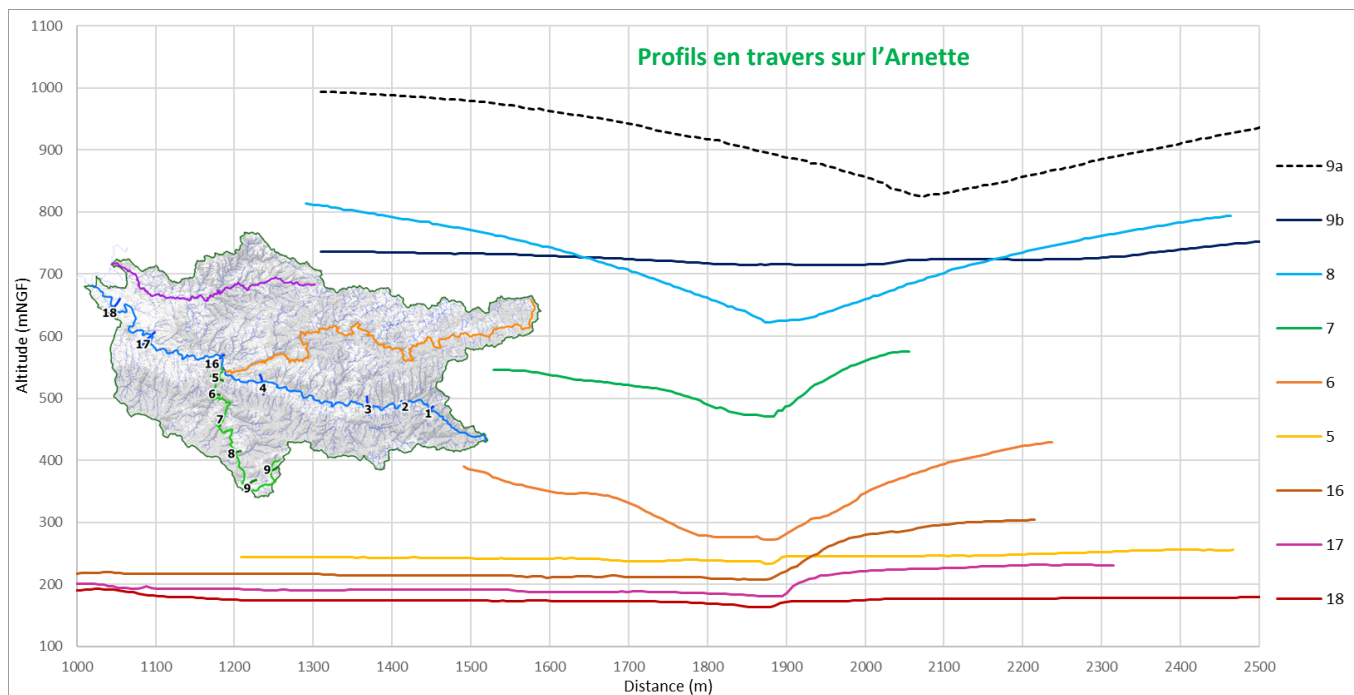


Illustration 10 : Profils en travers sur l'Arnette.

L'Arn présente un profil encaissé sur l'intégralité de son linéaire. Son espace de mobilité est limité par les reliefs, en certains points les profils en travers sont comparables à des gorges.

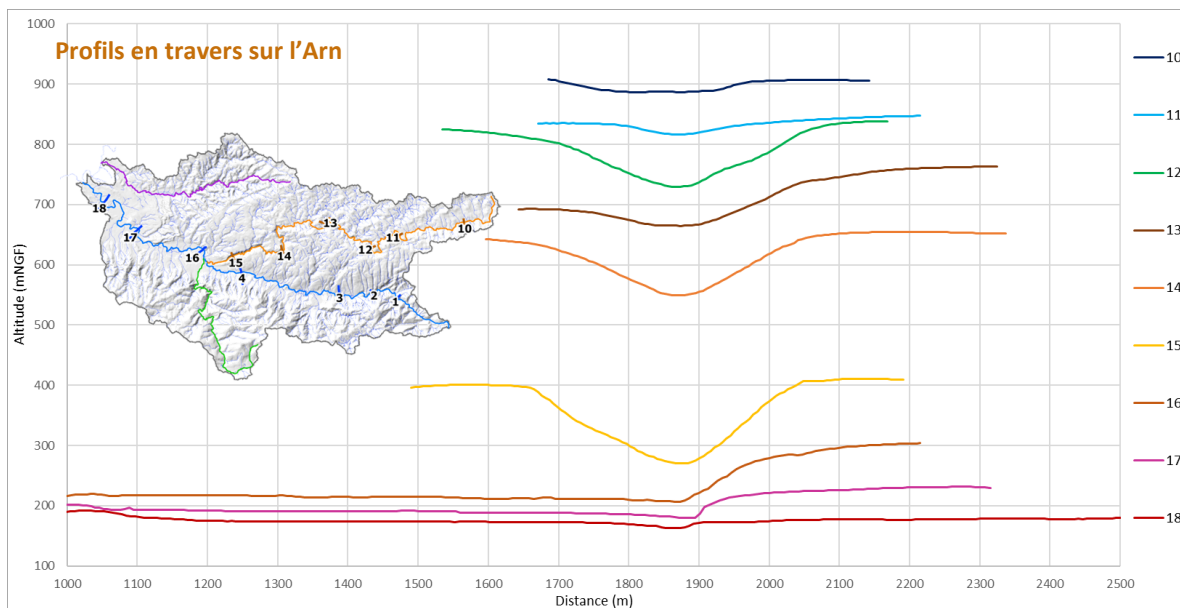


Illustration 11 : Profils en travers sur l'Arn.

Les profils en travers sur la Durenque présentent eux aussi un caractère très encaissé sur la majeure partie du linéaire du cours d'eau. Le relief s'évase sur la partie aval (profil 22) et présente une large plaine alluviale sur près de 12 kilomètres avant de se jeter dans l'Agout à Castres.

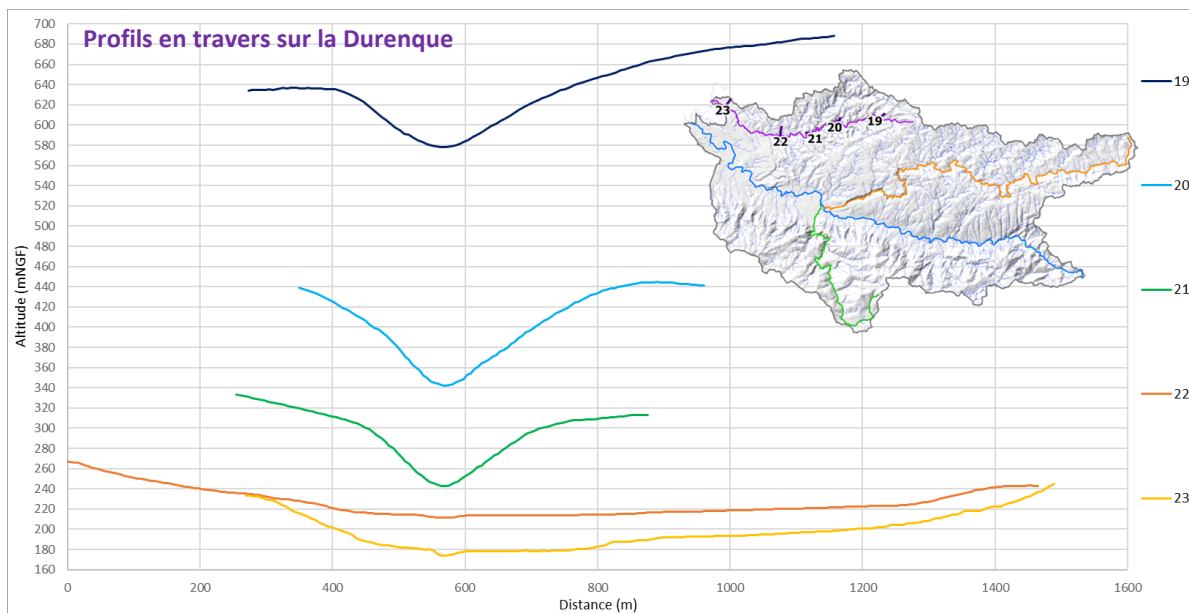


Illustration 12 : Profils en travers sur la Durenque.

Les versants et le réseau hydrographique étudié présentent une multitude de singularités : on trouve des secteurs encaissés à très forte pente auxquels se succèdent des élargissements de l'espace de mobilité des cours d'eau au gré des ruptures de pentes.

De manière générale, les secteurs amont sont composés de petits torrents de montagne encaissés avec de fortes pentes. Ces secteurs seront donc très réactifs aux précipitations et les ruissellements vont rapidement de canaliser et se propager vers l'aval.

A l'inverse, sur les secteurs où les plaines alluviales s'élargissent et où les pentes sont plus faibles, les écoulements vont avoir tendance à transiter de façon plus lente et potentiellement générer des débordements dans le lit majeur.

B.II.3. Occupation des sols

La base de données géographique CORINE Land Cover est produite dans le cadre du programme européen CORINE de coordination de l'information sur l'environnement. En France, c'est le Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du commissariat général au développement durable qui est chargé d'en assurer la production, la maintenance et la diffusion.

Cet inventaire biophysique est produit par photo-interprétation humaine d'images satellite.

L'unité spatiale au sens de CORINE Land Cover est une zone dont la couverture peut être considérée comme homogène. La surface de la plus petite unité cartographiée est de 25 hectares.

L'existence de ce seuil de description de 25 hectares et l'échelle d'interprétation font que l'exploitation de la base est pertinente à l'échelle nationale, départementale et cantonale, ce qui convient bien au cadre de la présente étude.

Quatre versions ont été produites (1990, 2000, 2006, 2012 et 2018) et ont été analysées.

Le territoire étudié est majoritairement naturel (64% de l'espace est composé de forêts et de végétation naturelle, soit les deux tiers du bassin versant). Les espaces cultivés représentent près d'un tiers du territoire (31% du bassin composé de parcelles agricoles). Les espaces urbanisés sont très restreints (environ 5% du territoire).

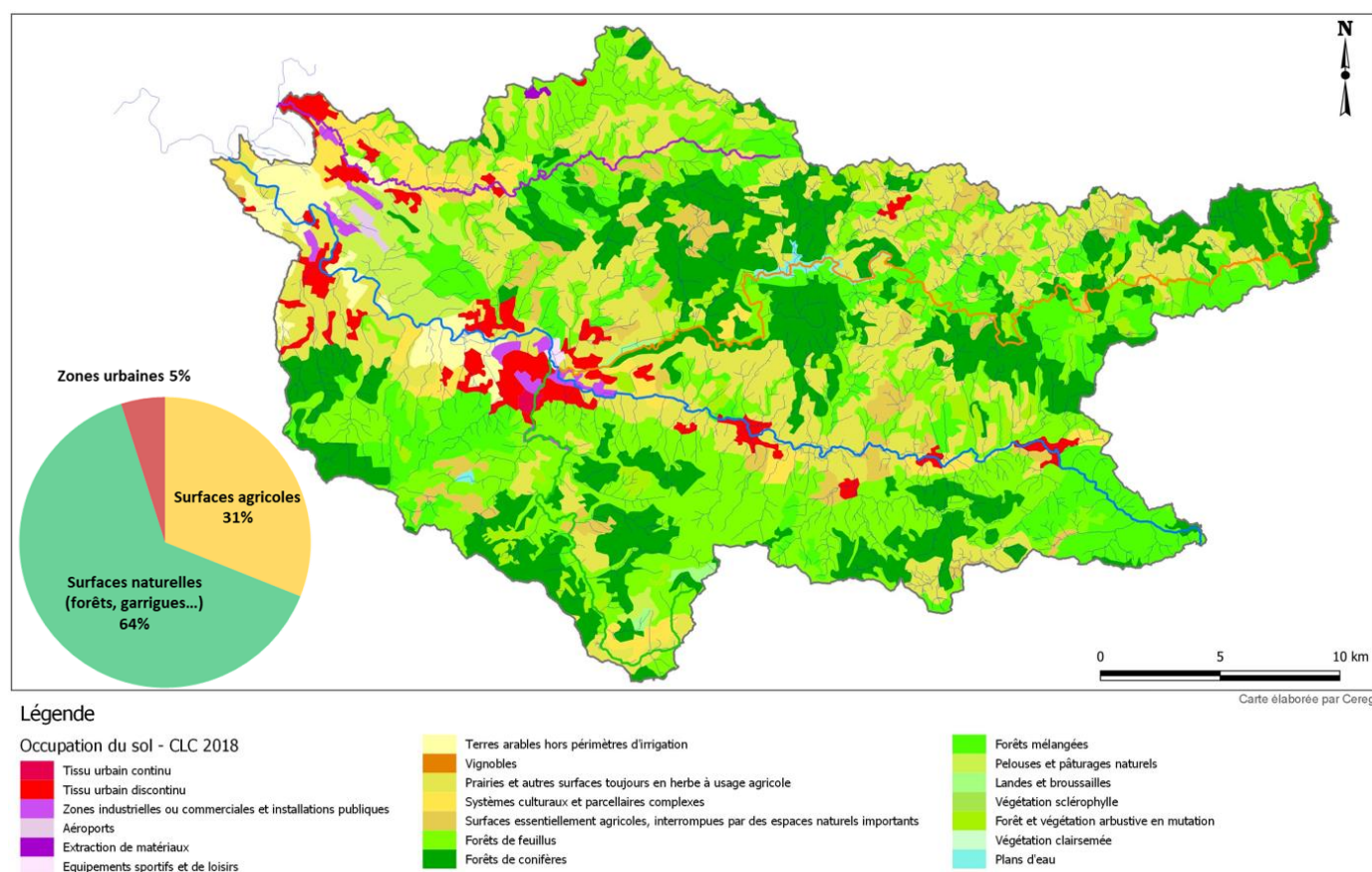


Illustration 13 : Occupation du sol (CORINE Land Cover 2018).

Remarque : il n'y a pas de différence significative entre les bassins du Thoré et de la Durenque, les proportions entre les différents types d'occupation du sol sont similaires.

Code CLC	Occupation du sol	Superficie (km ²)	Pourcentage sur le bassin versant
111	Tissu urbain continu	0.7	0%
112	Tissu urbain discontinu	25.8	4%
121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	5.1	1%
124	Aéroports	1.0	0%
131	Extraction de matériaux	0.4	0%
142	Equipements sportifs et de loisirs	0.7	0%
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	18.3	3%
231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	144.1	21%
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	25.6	4%
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	26.4	4%
311	Forêts de feuillus	162.6	24%
312	Forêts de conifères	144.5	21%
313	Forêts mélangées	93.0	13%
321	Pelouses et pâturages naturels	18.7	3%
322	Landes et broussailles	1.9	0%
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	19.2	3%
512	Plans d'eau	2.5	0%
Total	Total	691	100%

Tableau 3 : Répartition des différentes occupations du sol.

Le bassin versant a peu évolué depuis les années 1990. Les principaux changements sont liés à une légère augmentation des zones urbaines (+2%) au détriment des superficies agricoles (-1%) et naturelles (-1%).

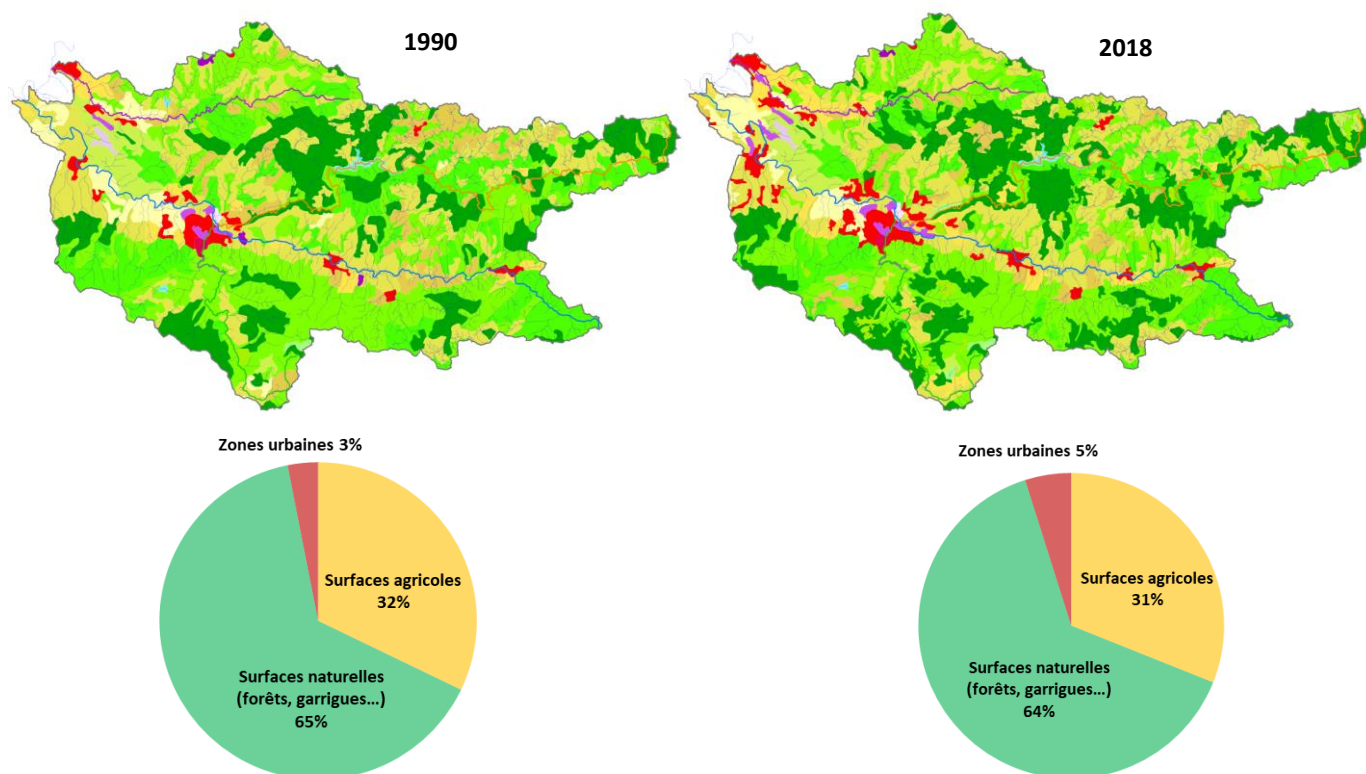


Illustration 14 : Occupation du sol (CORINE Land Cover, évolutions entre 1990 et 2018).

L'occupation du sol du territoire étudié est majoritairement représentée par des surfaces naturelles (près des deux tiers) et agricoles (près d'un tiers). Les zones urbaines sont marginales à l'échelles du bassin versant (de l'ordre de 5%).

Le territoire n'a pas connu d'évolutions majeures dans la répartition des différents types d'occupation du sol depuis les années 1990. Seule une légère augmentation des zones urbaines est identifiée (+2%). Ce changement marginal n'est pas susceptible de modifier significativement la réponse hydrologique du bassin versant.

B.II.4. Géologie

La connaissance de la géologie d'un bassin versant est essentielle pour la compréhension de son fonctionnement hydrologique : non seulement la géologie influence les ruissellements de surface par le caractère perméable/imperméable des roches, mais elle conditionne également les écoulements souterrains qui peuvent générer des apports conséquents.

Les bassins étudiés se trouvent sur les versants Nord de la Montagne Noire et les monts du Somail qui sont caractérisés par un substratum imperméable (formations géologiques cristallines).

L'organisation générale des formations rocheuse sur le territoire est la suivante :

- Sur la partie Sud du bassin qui correspond à la rive gauche du Thoré et au bassin de l'Arnette, on se trouve sur les versants Nord de la Montagne Noire qui sont essentiellement composés de roches imperméables (Gneiss, granites et autres formations cristallines).
- Sur l'Arn et l'amont du Thoré (rive droite), on rencontre les formations géologiques des monts du Somail qui sont également cristallines et donc de nature imperméable.
- Sur la Durenque et la partie aval du Thoré, on rencontre des substrats géologiques très diversifiés mais majoritairement représentés par des alluvions.

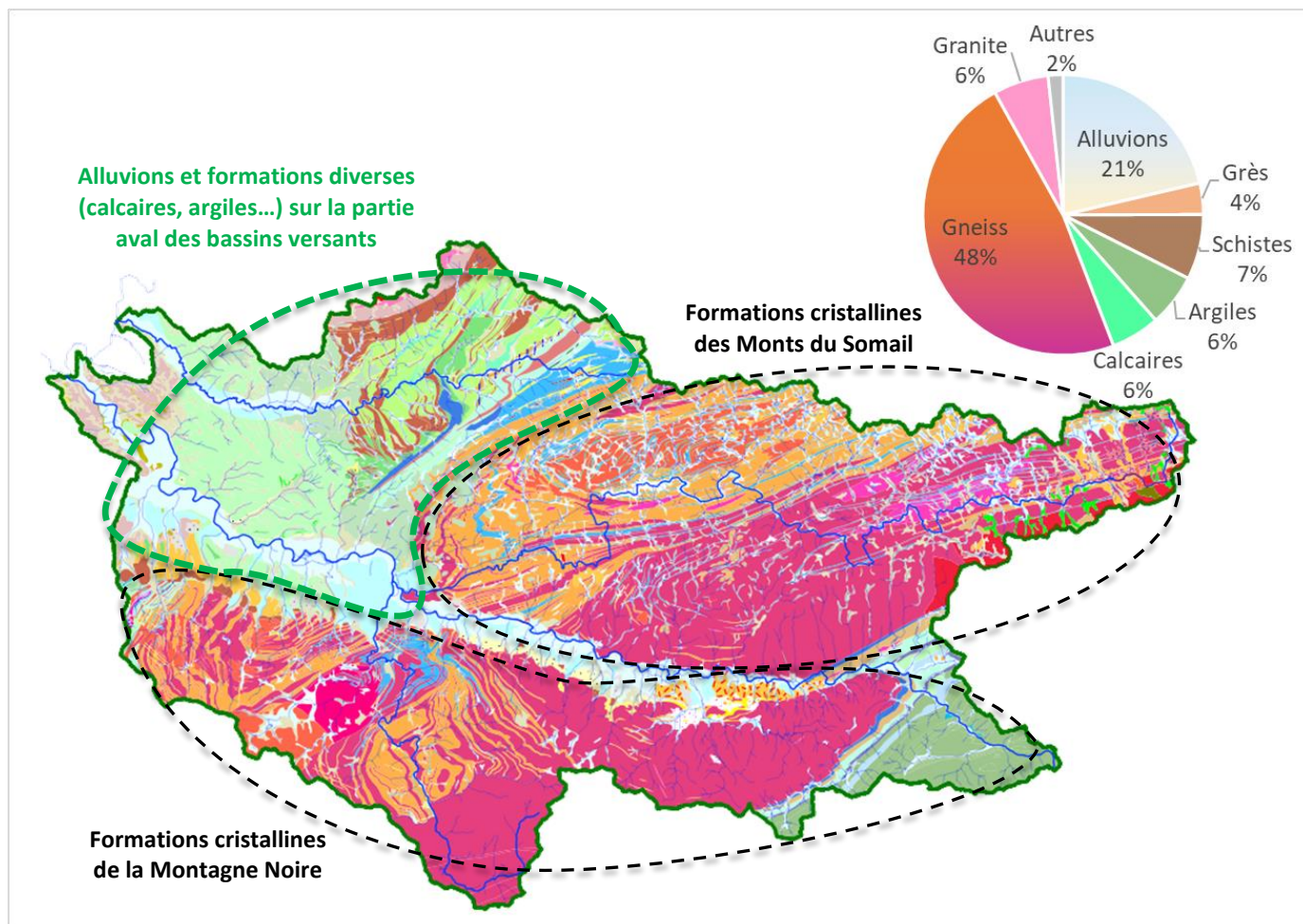


Illustration 15 : Formations géologiques rencontrées sur le territoire.

La majorité du territoire est représenté par des couches géologiques de nature imperméable (gneiss, granites et autres roches cristallines). Ces formations géologiques sont identifiées sur les secteurs présentant les pentes les plus élevées ce qui confère au réseau hydrographique un caractère très réactif avec des ruissellements abondants pouvant se canaliser dans les talwegs comme des torrents de montagne.

Sur la partie aval et dans les fonds de vallée à faible pente, on retrouve principalement des alluvions et d'autres formations plus propices à l'infiltration des eaux de pluie. Ces secteurs seront donc moins réactifs : les apports au réseau hydrographique principal ne devraient pas être significatifs comparés aux volumes et débits générés par les secteurs amont.

B.II.5. Temps de concentration

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant. Cela correspond donc au temps nécessaire pour permettre à l'eau de parcourir le plus long chemin hydraulique sur le bassin avant d'atteindre l'exutoire.

Différents auteurs ont présenté des formules pour calculer le temps de concentration des bassins versants en fonction de leurs caractéristiques (superficie, chemin hydraulique, pente, occupation du sol, intensité de pluie...).

De nombreuses méthodes de calcul sont possibles, chacune généralement adaptée à certaines caractéristiques du bassin versant (notamment la superficie). Pour les bassins versants étudiés, les superficies mises en jeu limitent les possibilités aux formules suivantes :

- Méthode de **Ventura** ;
- Méthode de **Passini** ;
- Méthode de **Richards** ;
- Méthode de **Giandotti**.

La formule de Richards est intéressante dans le sens où le temps de concentration dépend de la période de retour considérée. On comprend bien que pour des occurrences rares les lames d'eau ruisselées sont plus importantes et présentent une vitesse de propagation plus élevée (donc un temps de concentration plus court). En revanche, cette formule a tendance à surestimer les temps de concentration pour les faibles périodes de retour.

Les références bibliographiques indiquent que la formule de Giandotti est plutôt adaptée aux bassins montagneux (Bennis, 2004), présentant donc une pente élevée, ce qui est le cas du Thoré.

Il est important de comparer plusieurs méthodes de calculs car les résultats peuvent être très hétérogènes d'une formule à l'autre. Les résultats des calculs sont indiqués dans le tableau suivant.

Les formules de Ventura et Passini donnent des temps de concentration présentant généralement les mêmes ordres de grandeur.

Pour le Thoré, la formule de Giandotti donne un résultat (9h) très éloigné des valeurs calculées par les formules de Ventura et Passini (30 à 35h).

Bassin versant	Ventura	Passini	Richards	Giandotti	Tc retenu
Arn	15h	20h	15 – 45h		15 à 20h
Arnette	6h	8h	7 – 18h		6 à 8h
Thoré amont Arnette	18h	19h	11 – 29h		10 à 20h
Thoré	30h	35h	-	9h	24 à 35h
Durenque	9h	12h	9 – 24h		9 à 12h

Tableau 4 : Temps de concentration des bassins versants calculés par différentes méthodes.

Remarques

Ces calculs donnent une estimation du temps de concentration à l'aide de formules empiriques et ne représentent que des ordres de grandeur du Tc.

Les résultats sont présentés à titre indicatif et les calculs n'ont été réalisés que pour s'assurer de la bonne construction des pluies de projet (afin que leurs durées soient cohérentes avec la dynamique du bassin versant).

En effet, le temps de concentration n'est pas un paramètre qui interviendra dans la modélisation hydrologique utilisée pour l'étude. Le modèle fait intervenir une fonction de transfert dont les paramètres sont notamment la vitesse d'écoulement et des coefficients de vidange.

Les paramètres seront calés sur un événement réel et leurs valeurs devront permettre de bien reproduire la dynamique du bassin versant, indépendamment des calculs effectués plus haut.

Ces mêmes paramètres seront ensuite utilisés pour modéliser les pluies de projet, en conservant donc la dynamique observée sur l'événement de calage.

B.II.6. Ouvrages et aménagements hydrauliques

Plusieurs ouvrages sont identifiés sur le réseau hydrographique et les versants du territoire étudié.

Ces barrages présentent des caractéristiques diverses, les plus importants ont une vocation de production d'hydroélectricité.

Ils sont susceptibles d'introduire un effet sur les crues en fonction du niveau de remplissage au début de l'événement pluvieux. S'ils sont pleins, ils se comportent de façon transparente mais pour des niveaux inférieurs ils peuvent participer à stocker des volumes d'eau conséquents et générer un phénomène d'écèlement des crues.

Il est donc nécessaire de connaître les caractéristiques (courbe hauteur volume, hauteur de surverse...) pour bien appréhender leur rôle sur l'hydrologie du bassin versant.

A l'heure actuelle, les caractéristiques précises des ouvrages ne nous sont pas parvenues (on connaît uniquement le volume de stockage du lac de Saint Peyres évalué à 34 millions de m³). En première approche il conviendra donc de considérer que les retenues sont pleines lors des crues et qu'elles n'introduisent aucun écèlement (hypothèse maximaliste).

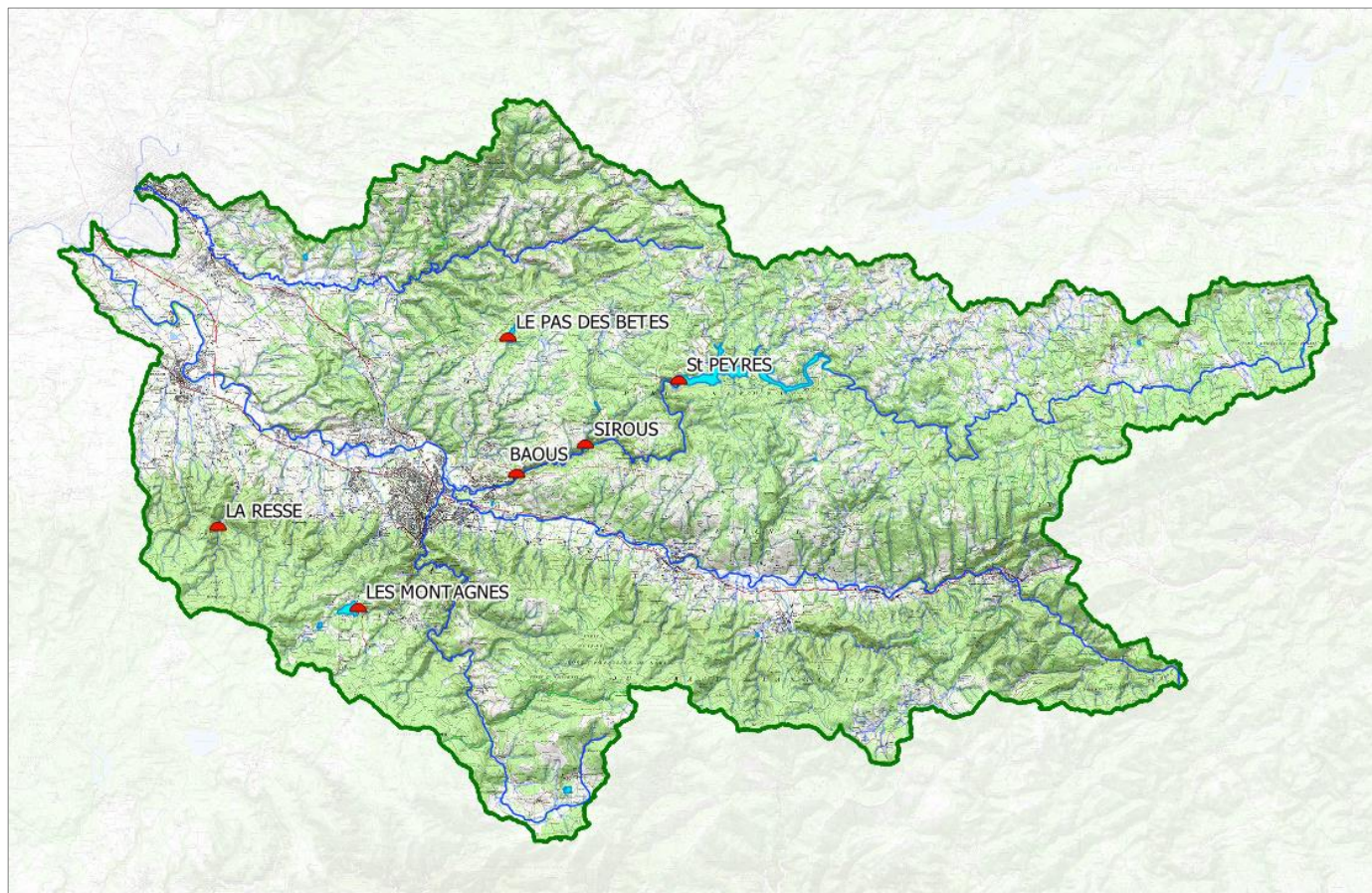


Illustration 16 : Principaux barrages sur les bassins versants étudiés.

B.III.ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE

Le climat sur le bassin de l'Agout est particulier car il subit des influences climatiques à la fois océaniques et méditerranéennes :

- L'influence du climat méditerranéen se caractérise par une longue période sèche en été mais des phénomènes pluvieux de type orageux où l'on observe de fortes intensités et des cumuls très importants générant des ruissellements rapides et abondants.
- Le climat océanique se fait surtout ressentir sur la partie Ouest du territoire.

B.III.1. Postes météorologiques

Du fait de l'historique des inondations qu'a connu le bassin versant, les acteurs du territoire ont mis en place des stations de mesure hydrométriques et des pluviomètres.

Trois sources de données sont identifiées :

- Les données des stations du **Syndicat**.
- Les pluviomètres de **Météo France**.
- Des stations de particuliers disponibles sur **Infoclimat**.

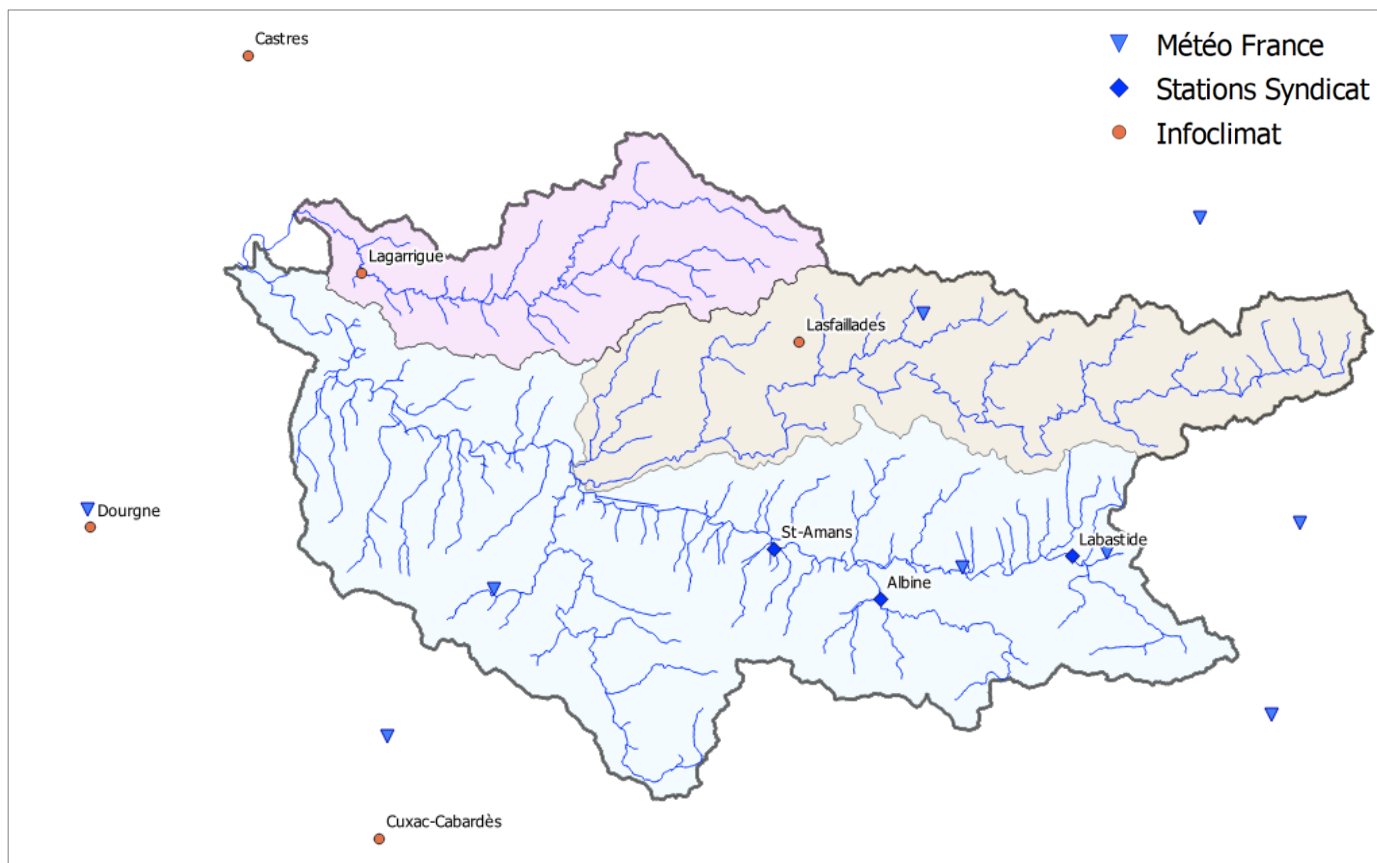


Illustration 17 : Localisation des postes pluviométriques disponibles.

B.III.2. Pluviométrie statistique de référence

B.III.2.1.Coefficients de Montana

Les coefficients de Montana peuvent être calculés au droit de tout pluviographe présentant un historique suffisant d'enregistrement de donnée au pas de temps infra-horaire.

Dans le cas présent, peu de postes à proximité immédiate du bassin versant du Thoré sont disponibles :

- **Toulouse** : représentatif du Thoré pour la climatologie de type océanique mais trop éloignée du bassin versant pour bien caractériser les phénomènes méditerranéens.
- **Carcassonne** : peu représentatif car situé au Sud du massif de la Montagne Noire.
- **Narbonne** : trop éloigné du bassin versant, station plutôt représentative du littoral.
- **Bédarieux** : coefficients à disposition limités (1993-2012) et station éloignée du bassin du Thoré.
- **Millau** : station beaucoup trop éloignée et peu représentative du bassin versant étudié.
- **Labastide-Rouairoux** : poste situé sur le bassin versant mais historique très limité (2004-2018).

Malgré le faible historique, nous avons fait le choix de retenir le poste de Labastide-Rouairoux situé sur le bassin versant.



Illustration 18 : Stations pouvant faire l'objet de coefficients de Montana.

Les cumuls sont donnés dans le tableau suivant et une représentation graphique est proposée plus bas.

durée (h)	0.25	0.5	1	2	3	4	6	8	10	12	18	24	72
5 ans	17	25	36	48	58	66	81	91	101	109	130	148	216
10 ans	20	30	44	60	72	82	99	112	124	134	160	182	265
20 ans	24	36	53	73	88	99	119	135	149	162	194	221	317
30 ans	26	39	59	82	97	110	130	148	164	178	213	243	348
50 ans	28	43	66	95	111	125	147	168	185	201	242	276	392
100 ans	31	49	78	114	132	147	171	195	216	235	283	322	453

Tableau 5 : Cumuls statistiques obtenus par les coefficients de Montana à la station de Labastide-Rouairoux.

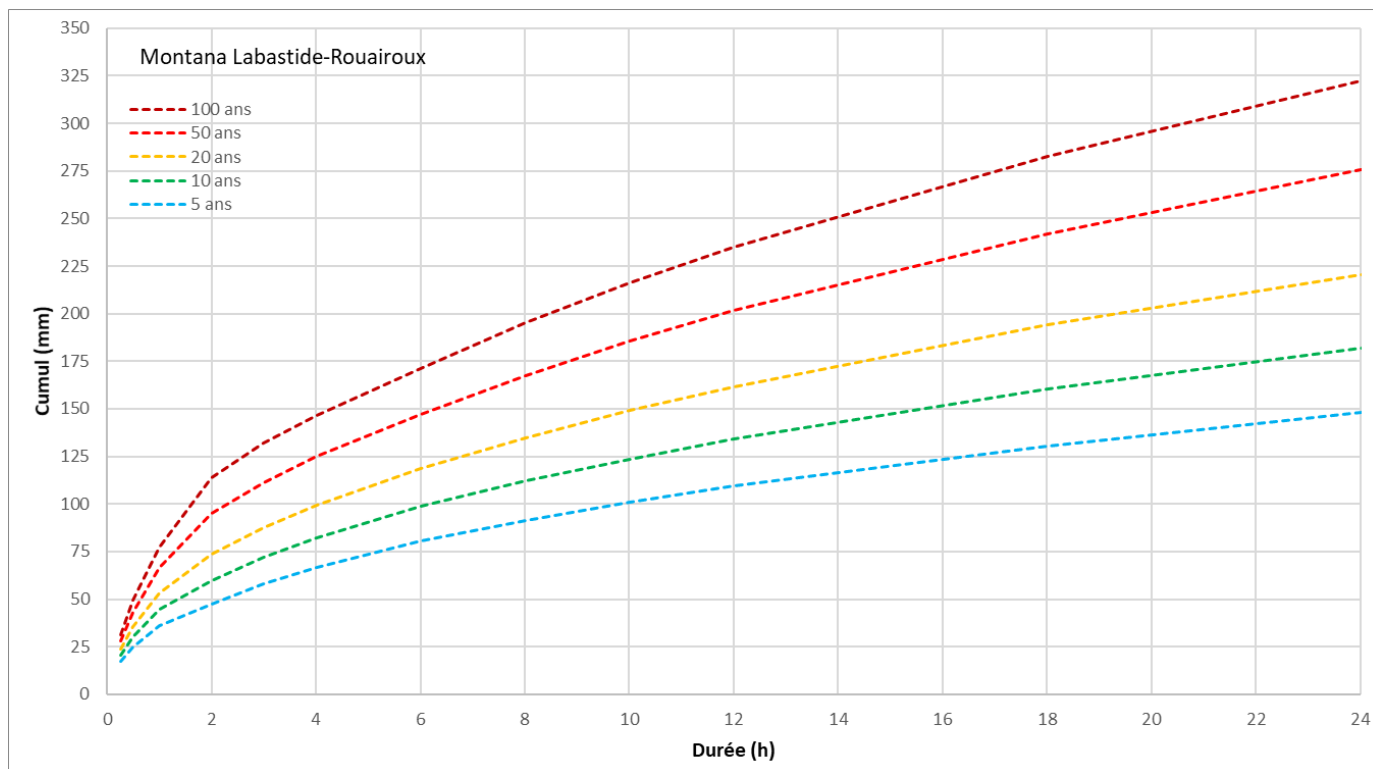


Illustration 19 : Cumuls statistiques à Labastide-Rouairoux.

B.III.2.2. Données SHYREG

B.III.2.2.1. Nature de la donnée

Les données SHYREG sont issues d'un modèle développé par l'IRSTEA permettant une approche spatialisée de la pluviométrie. Elle se base sur les chroniques de pluie journalières disponibles sur près de 2800 stations du réseau météorologique en France, avec un historique de 30 à 40 années (avec une période commune entre postes de 30 ans minimum).

Ces chroniques sont ensuite discrétisées à pas de temps plus fin avec un générateur de pluie horaire. Puis, un modèle stochastique et une méthode de régionalisation interpole les résultats sur des mailles de 1 km² couvrant l'ensemble de la France. La régionalisation fait également intervenir diverses variables géographiques (altitude, relief) influençant la répartition spatiale des pluies.

Avec une analyse statistique, ce modèle permet ainsi d'obtenir des hauteurs de précipitations horaires sur des durées comprises entre 15 minutes et 72h pour différentes périodes de retour (de 2 à 1000 ans) à l'échelle de mailles de 1 km².

Les données analysées ici correspondent à celles issues d'un pixel SHYREG localisé au droit de la ville de Mazamet (figure suivante).

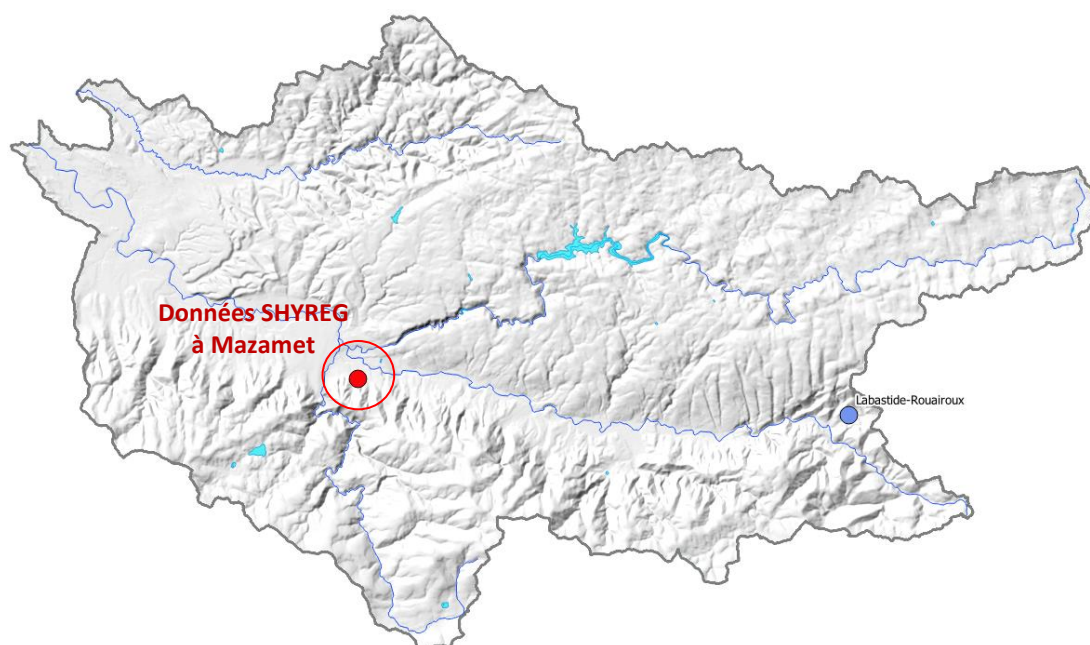


Illustration 20 : Point de données SHYREG utilisé.

B.III.2.2.2. Cumuls statistiques

Les cumuls de pluie fournis par la donnée SHYREG sont indiqués dans le tableau suivant :

Durée (h)	0.25	0.5	1	2	3	4	6	8	10	12	18	24	72
2 ans	10	14	19	26	31	36	42	46	50	52	59	65	91
5 ans	20	25	31	39	44	48	56	61	65	69	77	84	116
10 ans	24	30	36	45	50	55	64	69	74	78	87	94	128
20 ans	28	35	42	51	57	62	72	78	83	87	98	105	142
50 ans	34	41	50	60	67	72	84	91	96	101	113	122	163
100 ans	39	47	56	66	74	79	93	100	107	112	125	136	184

Tableau 6 : Cumuls de pluie par la méthode SHYREG à Mazamet.

B.III.2.2.3. Comparaison avec les coefficients de Montana disponibles

Les données SHYREG ont été comparées aux cumuls calculés par la formule de Montana au droit des postes où nous disposons des coefficients

- **Labastide-Rouairoux**

Les cumuls statistiques à Labastide-Rouairoux sont nettement plus élevés que ceux donnés par la méthode SHYREG. Pour une durée de 24h, le cumul de période de retour 5 ans à Labastide-Rouairoux est supérieur au cumul centennal de la donnée SHYREG !

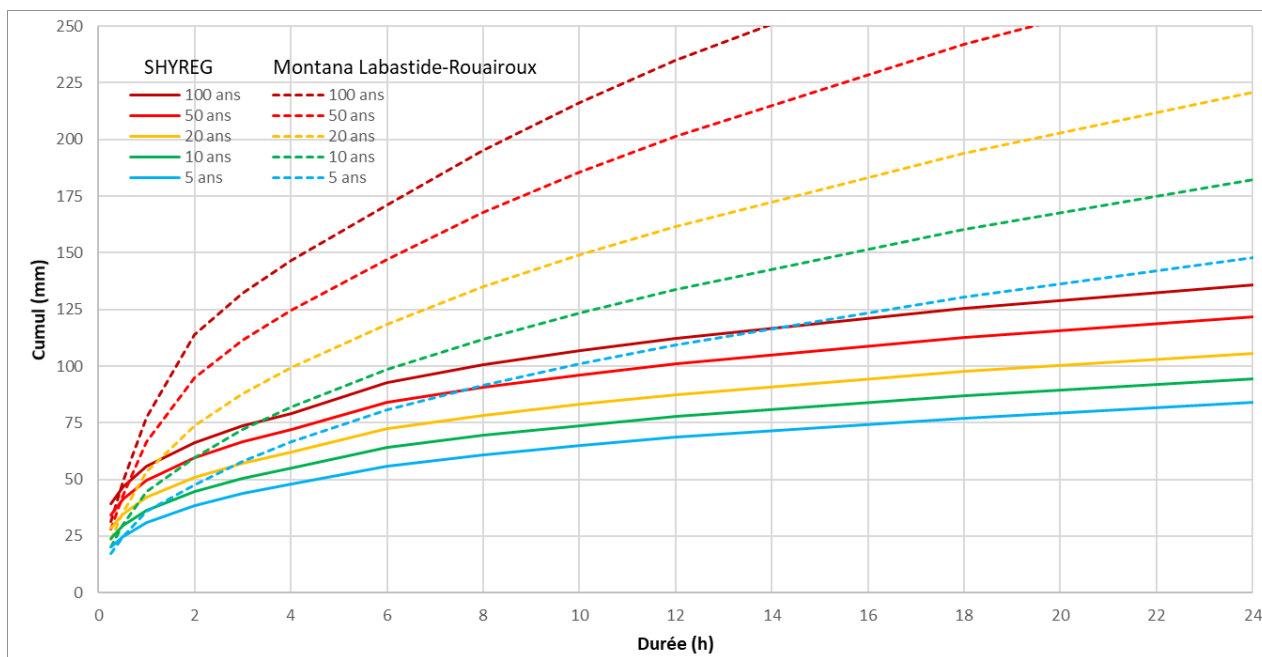


Illustration 21 : Comparaison entre cumuls SHYREG et cumuls statistiques au poste de Labastide-Rouairoux.

- **Narbonne**

La station de Narbonne est relativement éloignée du bassin versant mais le constat est similaire qu'à Labastide-Rouairoux : les cumuls sont nettement plus élevés que ceux donnés par la méthode SHYREG. Pour une durée de 24h, le cumul de période de retour 5 ans à Narbonne est égal au cumul cinquantennal de la donnée SHYREG !

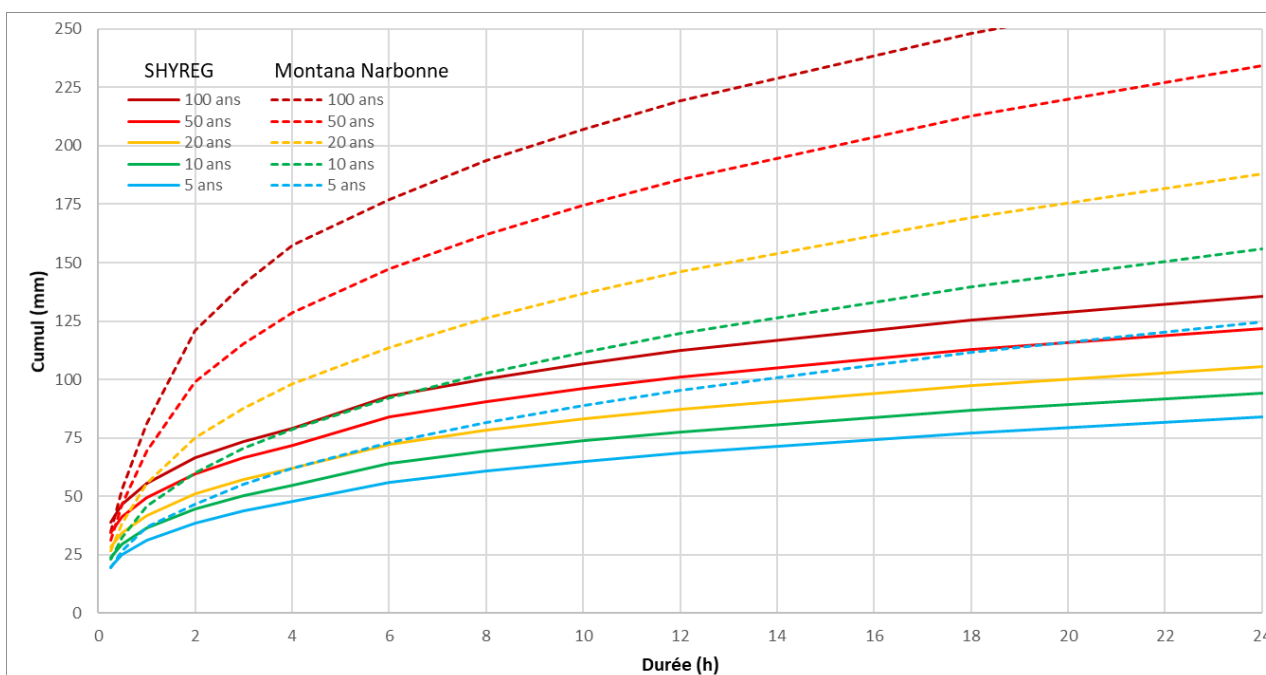


Illustration 22 : Comparaison entre cumuls SHYREG et cumuls statistiques au poste de Narbonne.

- **Carcassonne**

Carcassonne ne présente pas les mêmes influences climatologiques et les écarts avec la donnée SHYREG sont moins marqués que pour les deux stations précédentes.

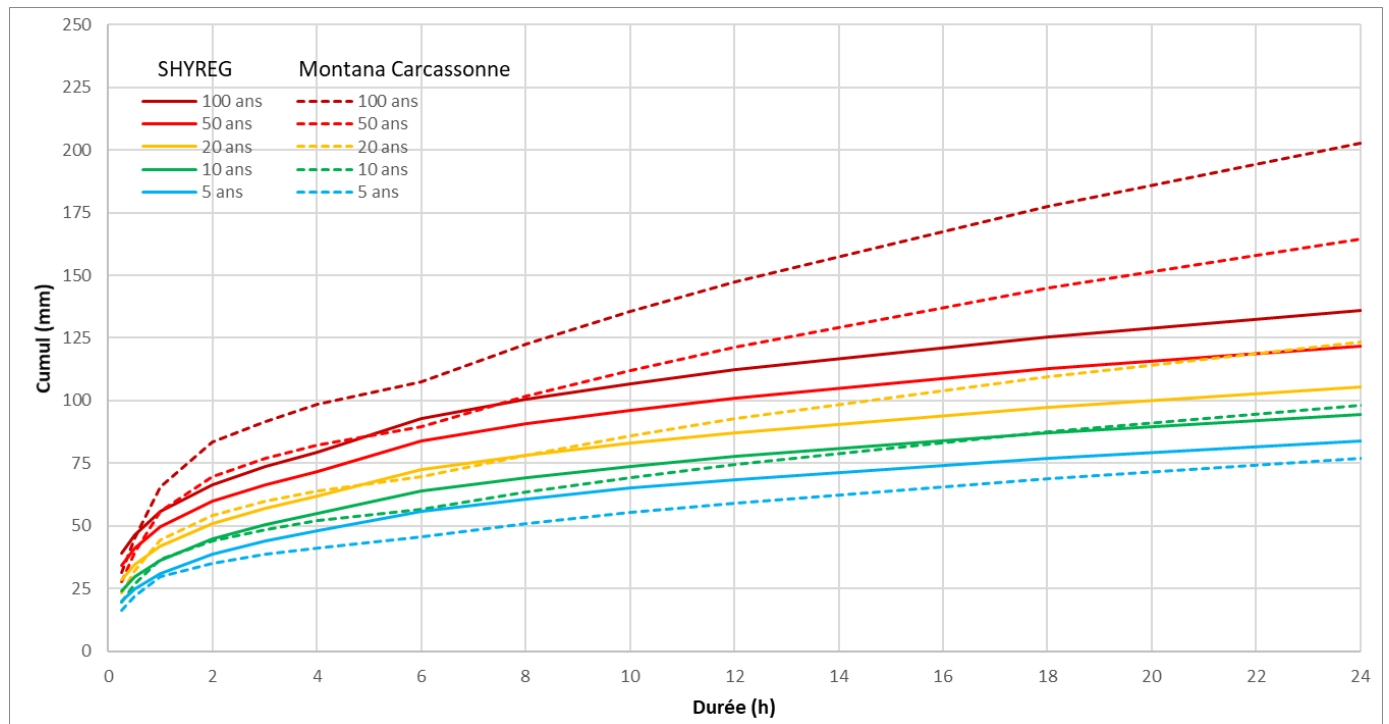


Illustration 23 : Comparaison entre cumuls SHYREG et cumuls statistiques au poste de Carcassonne.

Compte tenu de ces analyses, les données SHYREG ne nous semblent pas représentatives de la pluviométrie du bassin du Thoré.

Par la suite nous nous baserons donc les cumuls de précipitations donnés par les coefficients de Montana à la station de Labastide-Rouairoux.

B.III.3. Événements majeurs

Dans le cadre de l'étude du Thoré, on se propose de retenir plusieurs événements importants pour caler le modèle hydrologique. On cherche en priorité les événements répondant aux critères suivants :

- Ils doivent être suffisamment importants pour avoir généré des hydrogrammes nettement visibles aux stations hydrométriques, des débordements significatifs ainsi que l'observation et l'archivage de Plus Hautes Eaux (PHE) ;
- Ils doivent s'être produits sur l'intégralité du bassin versant de manière à pouvoir qualifier la bonne représentativité des modèles sur l'ensemble du bassin versant et du réseau hydrographique.
- Ils doivent être suffisamment récents pour disposer d'informations pluviométriques fines (pluie radar ou à défaut hyétogrammes ponctuels au pas de temps infra-horaire). La disponibilité des données pluviométriques d'autant plus importante du fait de l'étendue du bassin versant : les pluies radar ou un maillage fin des stations de mesures permettent de prendre en compte les déplacements des cellules orageuses par exemple.

L'analyse des chroniques passées et les échanges avec le Syndicat nous ont conduit à la sélection de 6 événements d'intérêt :

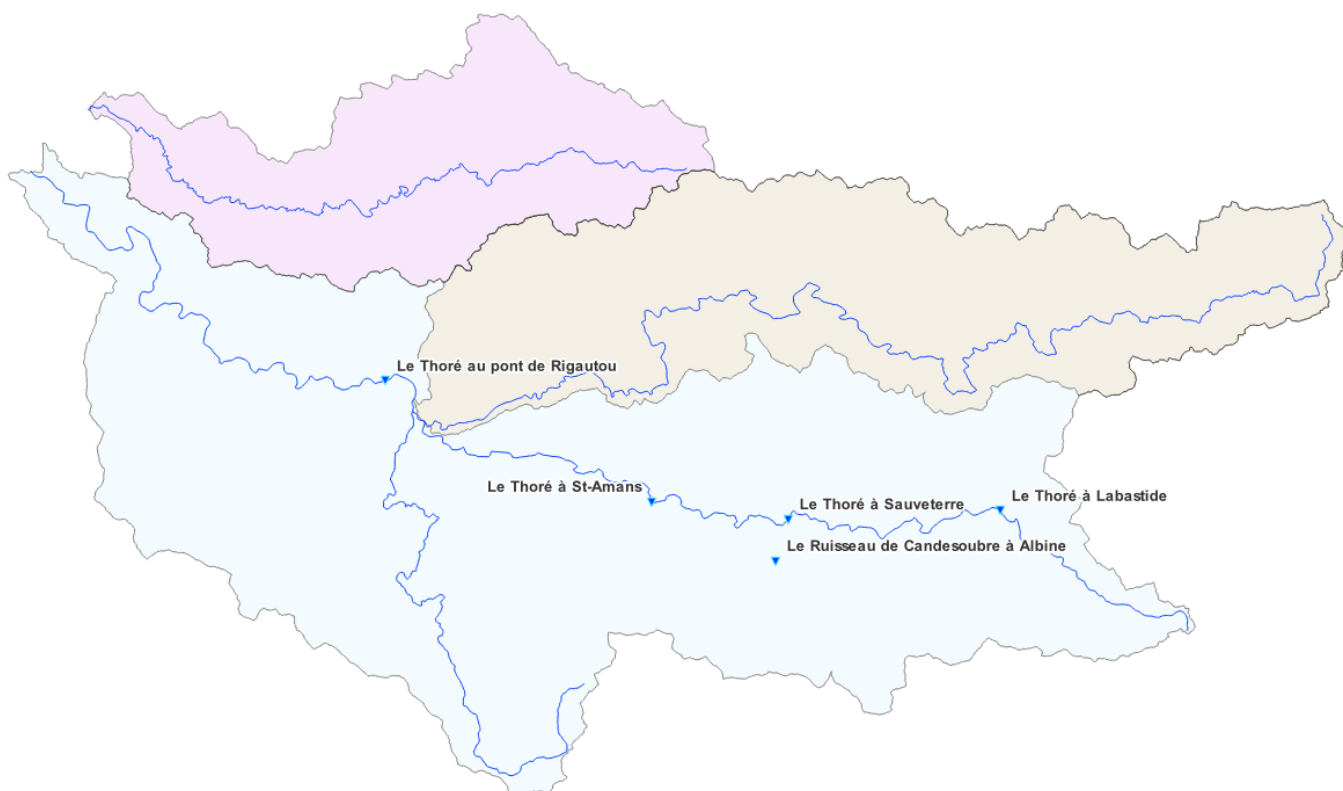
- **Mars 2011**
- **Mai 2013**
- **Février 2017**
- **Octobre 2018**
- **Mai 2020**
- **Janvier 2021**

B.III.3.1. Analyse de la pluie de mars 2011

Pluviomètres disponibles

Les données pluviométriques sont disponibles au droit de 5 stations :

- Albine
- Labastide
- St-Amans
- Sauveterre
- Rigautou



Remarque - pour les stations d'Albine, Labastide et St-Amans, les cumuls en début d'événement ne sont pas disponibles.

Analyse des lames d'eau

Les cumuls enregistrés du 14 au 18 janvier 2011 sont variables sur le bassin versant : ils sont supérieurs à 250 mm au niveau de Labastide alors qu'ils atteignent tout juste 100 mm au pont de Rigautou. L'événement semble donc avoir surtout concerné l'amont du bassin versant car les cumuls maximaux sont identifiés à Labastide, Sauveterre et Albine.

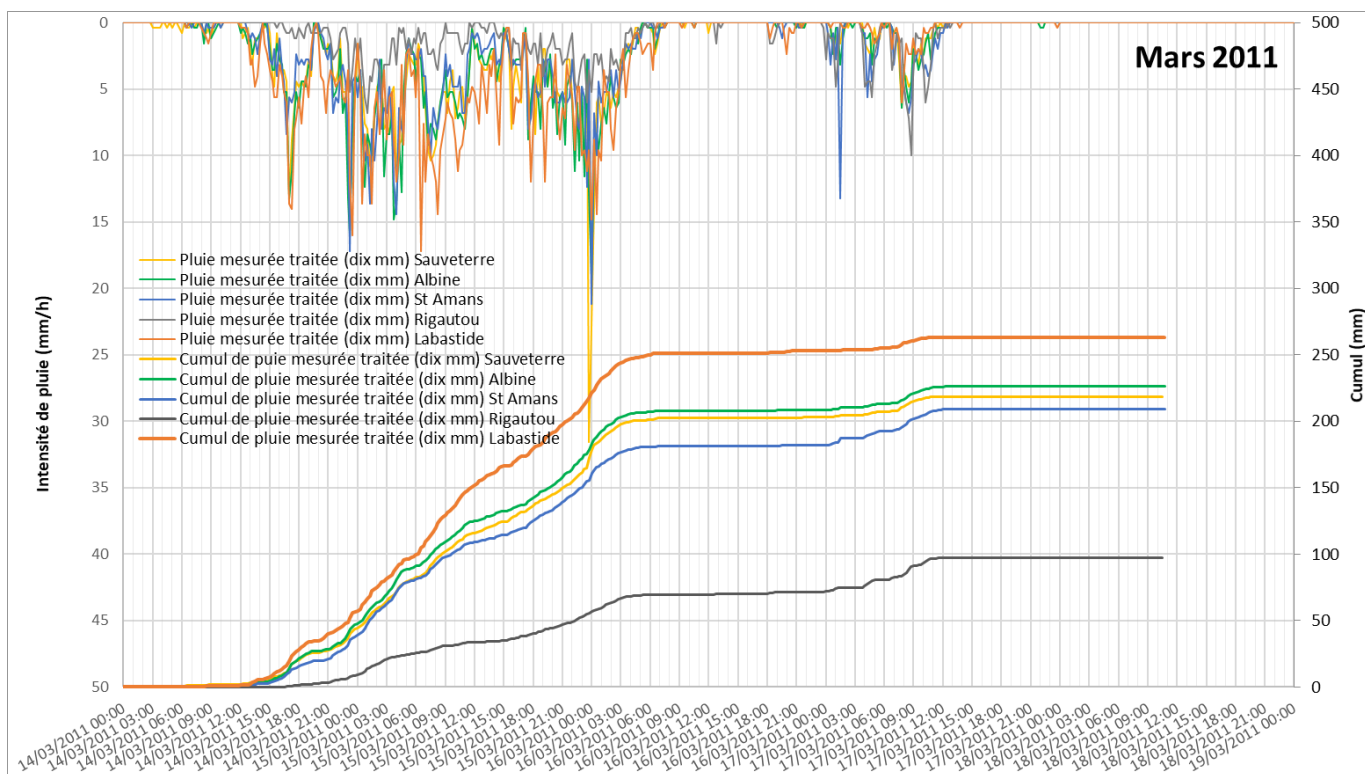


Illustration 24 : Cumuls enregistrés du 14 au 18 mars 2011.

La répartition temporelle des cumuls montre que les précipitations se sont produites sur une durée relativement longue et se sont produites de façon continue.

■ Comparaison aux cumuls statistiques

Les cumuls enregistrés aux différents postes pluviométriques ont été comparés aux cumuls statistiques de la station de Labastide Rouairoux (graphique suivant).

Sur la plupart des postes les cumuls présentent une période de retour inférieure à 5 ans. Seul le poste de Labastide présente une période de retour comprise entre 5 et 10 ans.

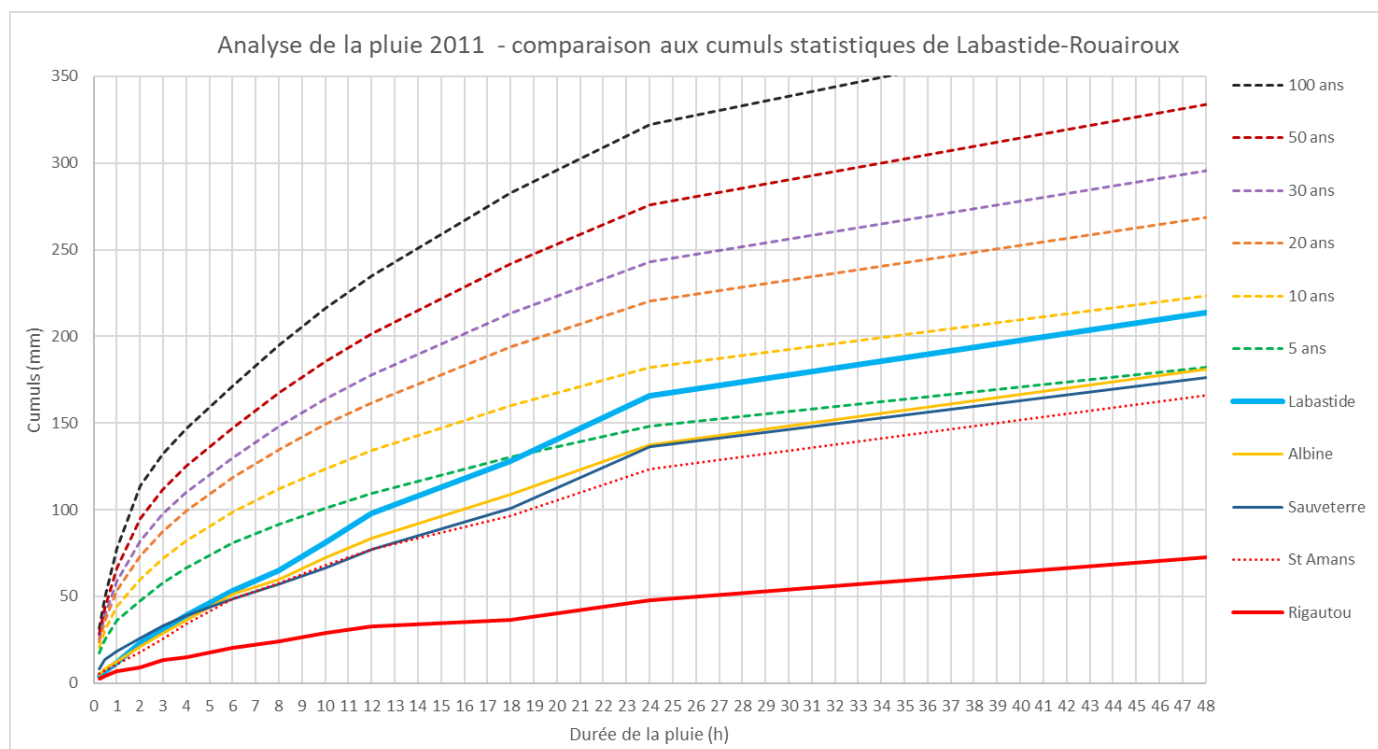


Illustration 25 : Cumul de pluie de l'événement de 2011 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).

L'événement de mars 2011 présente des cumuls relativement modestes (inférieurs à la période de retour 10 ans et moins de 5 ans sur la plupart des pluviomètres). L'état de saturation des sols en période hivernale a pu favoriser l'apparition du ruissellement et la genèse de débits élevés.

B.III.3.2. Analyse de la pluie de mai 2013

Pluviomètres disponibles

Les données pluviométriques sont disponibles au droit de 5 stations :

- Albine
- Labastide
- St-Amans
- Sauveterre
- Rigautou



Analyse des lames d'eau

Les cumuls enregistrés du 27 mai au 2 juin 2013 sont variables sur le bassin versant : au maximum ils sont atteints 130 mm au niveau de St-Amans et sont de 50 mm à Labastide.

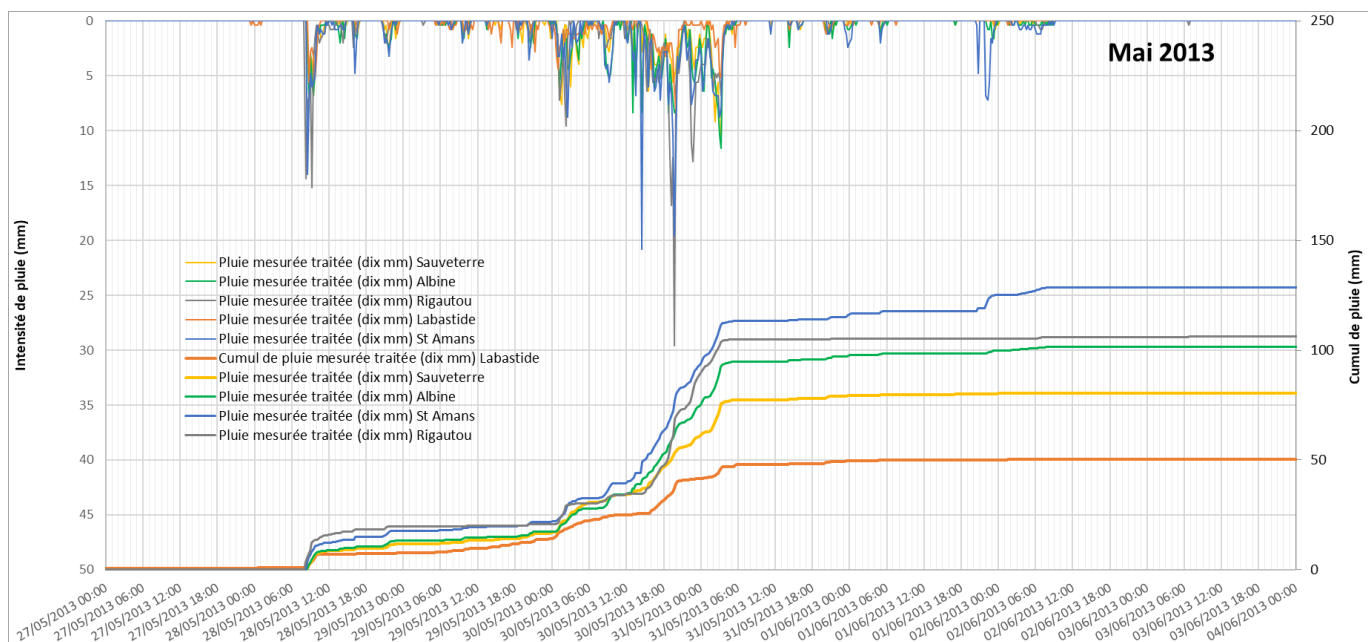


Illustration 26 : Cumuls enregistrés du 27 mai au 2 juin 2013.

La répartition temporelle des cumuls montre que les précipitations se sont produites sur une durée relativement longue avec une succession d’averses.

■ Comparaison aux cumuls statistiques

Les cumuls enregistrés aux différents postes pluviométriques ont été comparés aux cumuls statistiques de la station de Labastide Rouairoux (graphique suivant).

Sur la totalité des postes les cumuls présentent une période de retour inférieure à 5 ans.

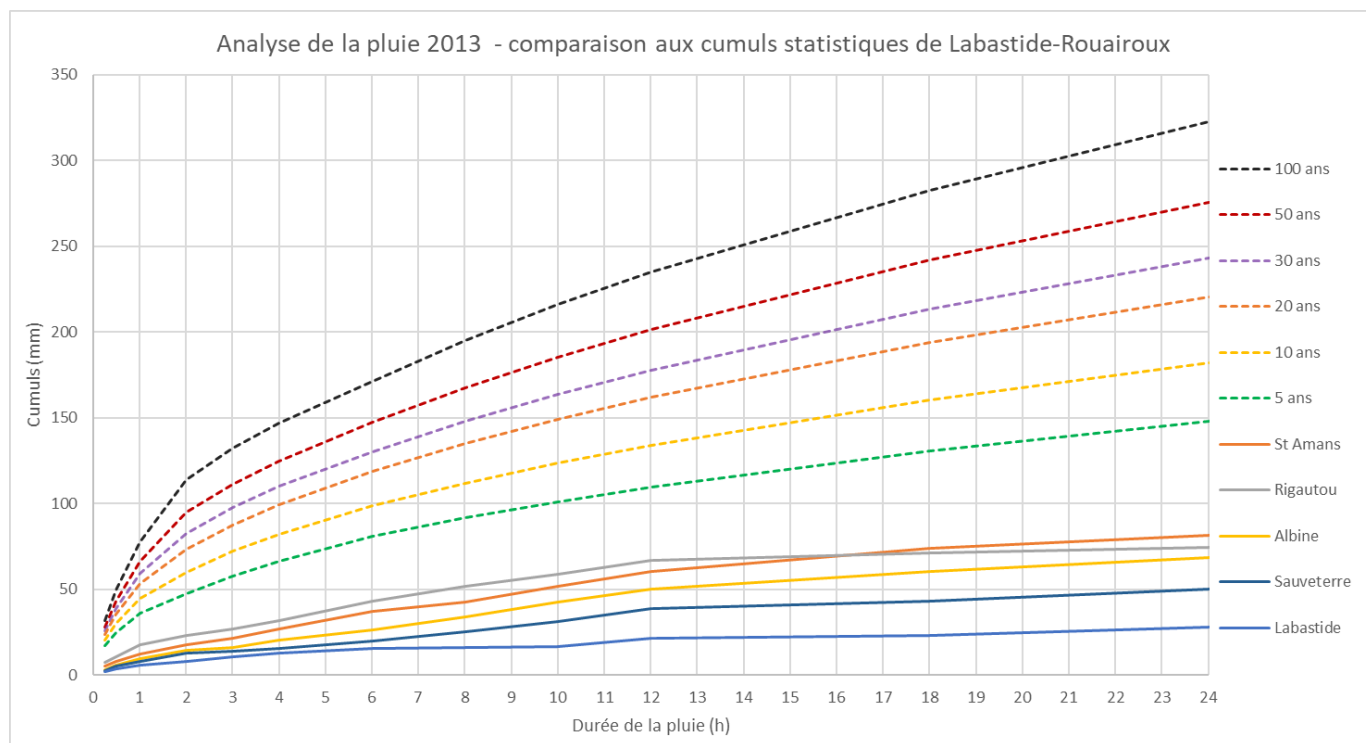


Illustration 27 : Cumul de pluie de l’événement de 2013 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).

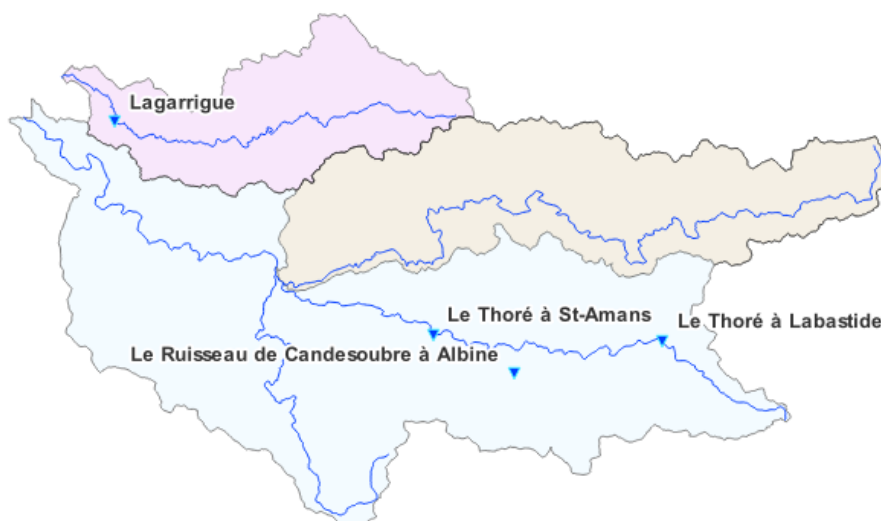
L'événement de mai 2013 présente des cumuls relativement modestes (inférieurs à la période de retour 5 ans sur la totalité des pluviomètres). L'état de saturation des sols en fin de période hivernale a pu favoriser l'apparition du ruissellement et la genèse de débits élevés dans le réseau hydrographique.

B.III.3.3. Analyse de la pluie de février 2017

Pluviomètres disponibles

Les données pluviométriques sont disponibles au droit de 5 stations :

- Albine
- Labastide
- St-Amans
- Lagarrigue (station disponible sur Infoclimat)



Analyse des lames d'eau

Les cumuls enregistrés du 11 au 16 février 2017 sont variables sur le bassin versant : au maximum ils atteignent 350 mm au niveau de Labastide et sont d'environ 180 mm à St-Amans et Albine.

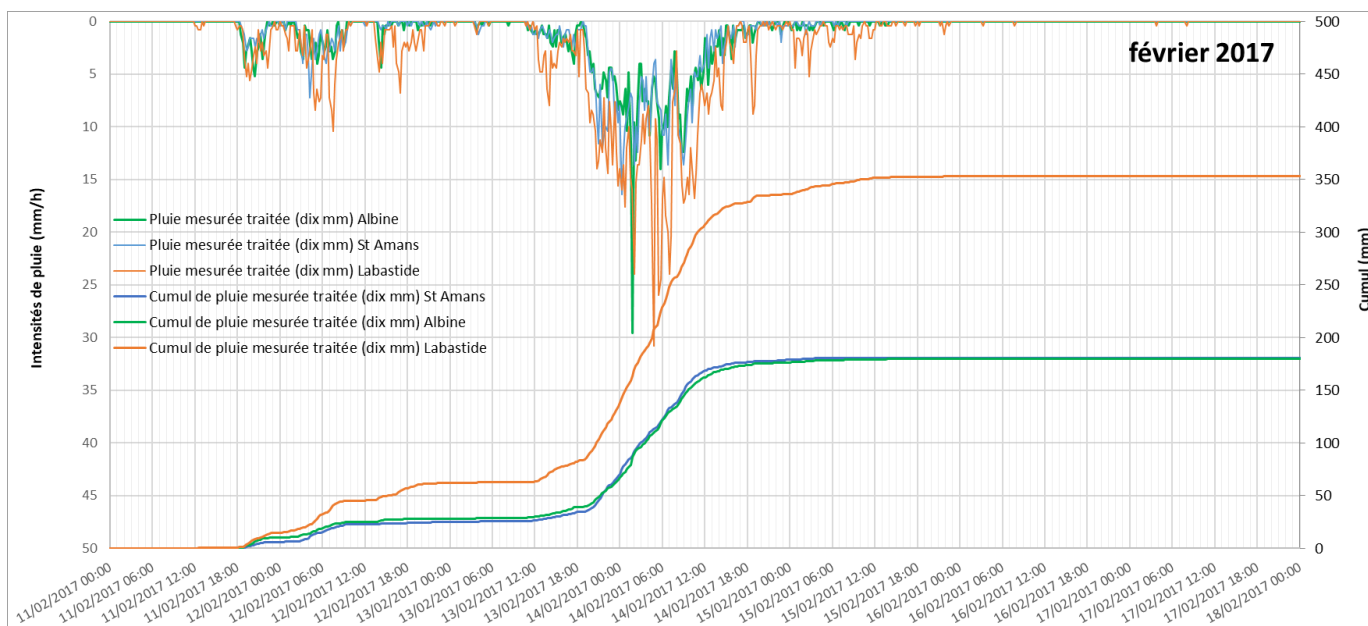


Illustration 28 : Cumuls enregistrés du 11 au 16 février 2017.

La répartition temporelle des cumuls montre que les précipitations se sont produites sur une durée relativement longue avec une succession d’averses.

■ Comparaison aux cumuls statistiques

Les cumuls enregistrés aux différents postes pluviométriques ont été comparés aux cumuls statistiques de la station de Labastide Rouairoux (graphique suivant).

Sur la plupart des postes les cumuls présentent au maximum une période de retour de 5 ans. Seul le pluviomètre de Labastide se démarque avec une période de retour de la pluie atteignant une valeur de l’ordre de 30 à 50 ans.

L’événement était donc très hétérogène dans l’espace sur le bassin versant.

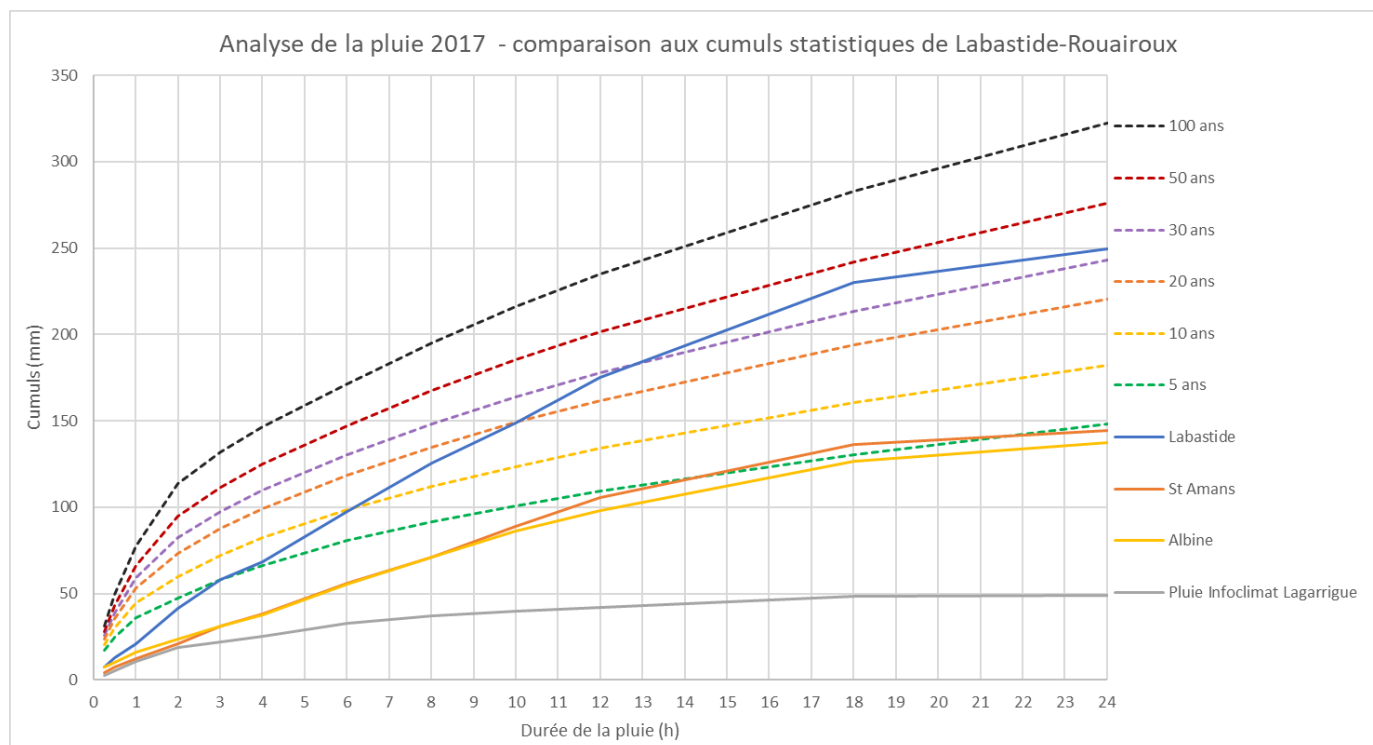


Illustration 29 : Cumul de pluie de l’événement de 2017 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).

L'événement de février 2017 présente des cumuls relativement modestes (période de retour 5 ans sur la plupart des pluviomètres). Localement, les précipitations ont été bien plus élevées, en particulier au droit de Labastide-Rouairoux où les cumuls peuvent présenter une période de retour de 30 à 50 ans. L'état de saturation des sols en période hivernale a pu favoriser l'apparition du ruissellement et la genèse de débits élevés dans le réseau hydrographique.

B.III.3.4. Analyse de la pluie d'octobre 2018

Données disponibles

Dans le cadre de son activité, Cereg avait commandé la donnée radar Panthere auprès de Météo France, celle-ci était donc disponible pour analyse.

Par ailleurs, les données de 3 pluviomètres ont pu être récupérées (St-Amans, Labastide et Albine). Le pluviomètre de Lagarrigue disponible sur Infoclimat a également été récupéré.

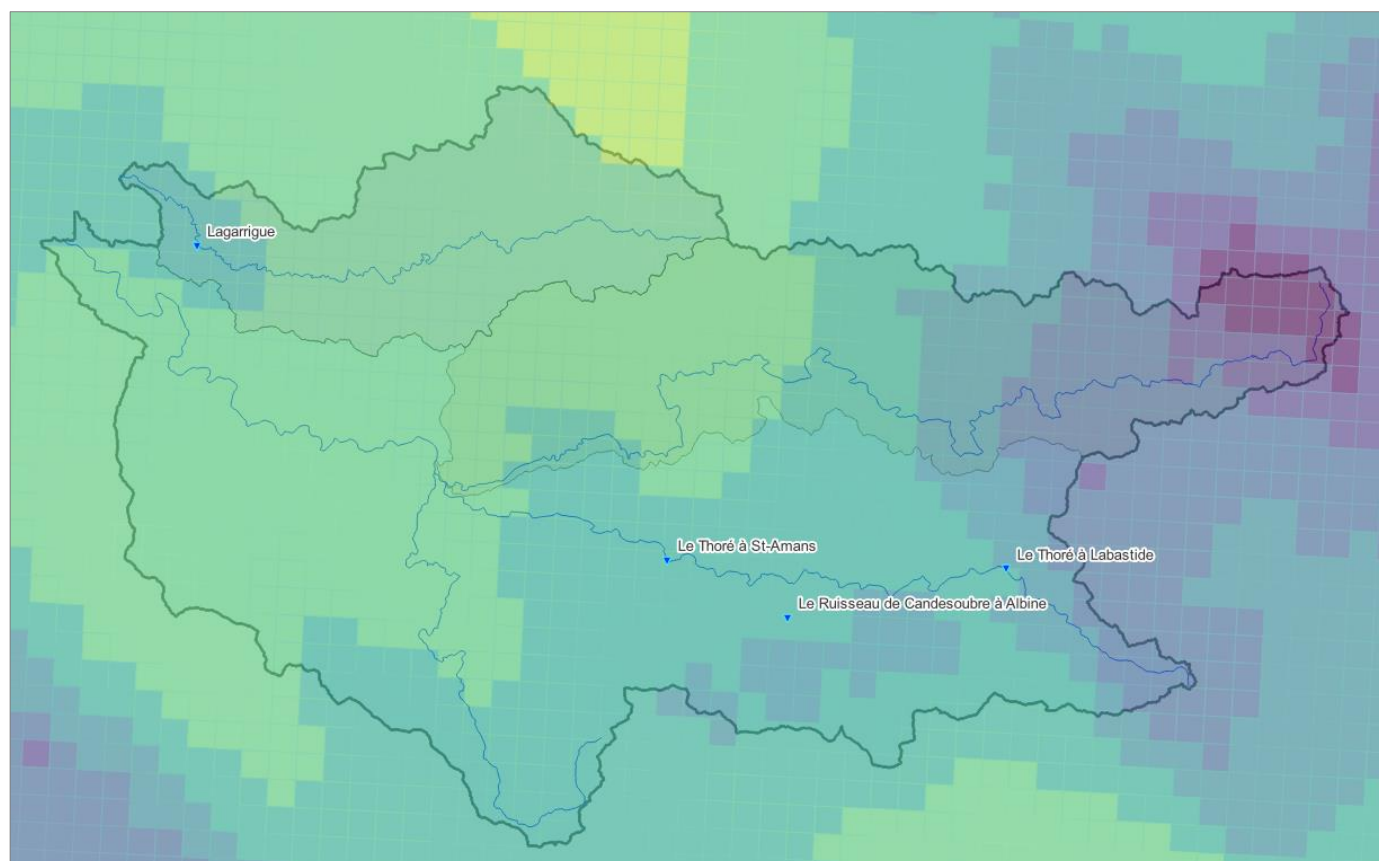


Illustration 30 : Pluie radar et pluviomètres analysés pour l'événement d'octobre 2018.

Qualité de la donnée radar

La donnée radar utilisée est la donnée PANTHERE de Météo France. Toutefois, ces lames d'eau sont obtenues sans effectuer un recalibrage en temps réel avec les pluviomètres au sol. Cela conduit régulièrement à des écarts importants entre les cumuls observés aux stations météorologiques et les lames d'eau radar.

Par ailleurs, certains phénomènes de masques, d'échos de sol ou de dérivation de la donnée radar ne sont pas parfaitement corrigés lors de l'acquisition de la lame d'eau PANTHERE.

Pour juger de la fiabilité de cette donnée, Météo France propose donc de fournir la « donnée de qualité » pour les images radar de l'événement à modéliser.

Ces images de qualité donnent en tout point de l'emprise d'acquisition du radar un code compris entre 0 et 100 :

- **Si le code qualité est supérieur à 80**, la donnée est jugée suffisamment fiable pour l'exploitation hydrologique ;
- **Si le code qualité est inférieur à 80**, la donnée présente trop d'incertitudes et n'est pas exploitable pour l'hydrologie.

Sur le bassin versant du Thoré, la qualité des images a été analysée et elle est suffisante pour pouvoir utiliser la donnée PANTHERE dans le cadre du calage du modèle hydrologique (code qualité supérieur à 80/100 tout au long de l'événement).

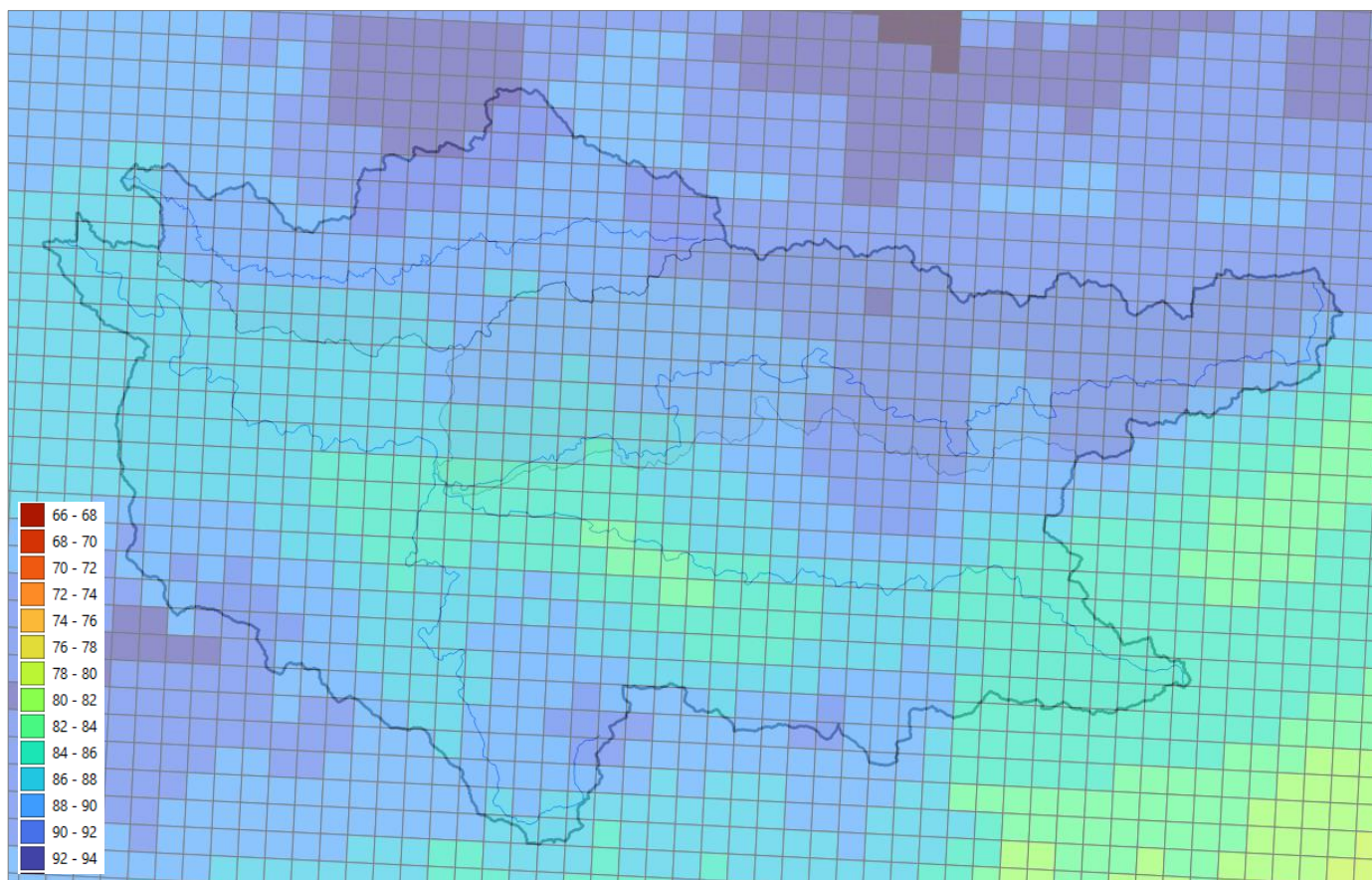


Illustration 31 : indicateur de qualité moyenne sur l'événement de 2018 (source : Météo France).

Comparison aux pluviomètres au sol

Le tableau suivant synthétise les écarts observés entre lames d'eau radar et pluviomètres au sol. La comparaison est effectuée pour les cinq pluviomètres disponibles (Castres (infoclimat), Lagarrigue (infoclimat), Albine, St-Amans et Labastide).

Station	Cumul total pluviomètre	Cumul pixel radar correspondant	Pluies horaires et cumuls sur l'événement d'octobre 2018 – représentation graphique
Castres	101 mm	119 mm (+18%)	
Lagarrigue	114.4 mm	132 mm (+16%)	
Labastide	246.4 mm	154.9 mm (-37%)	

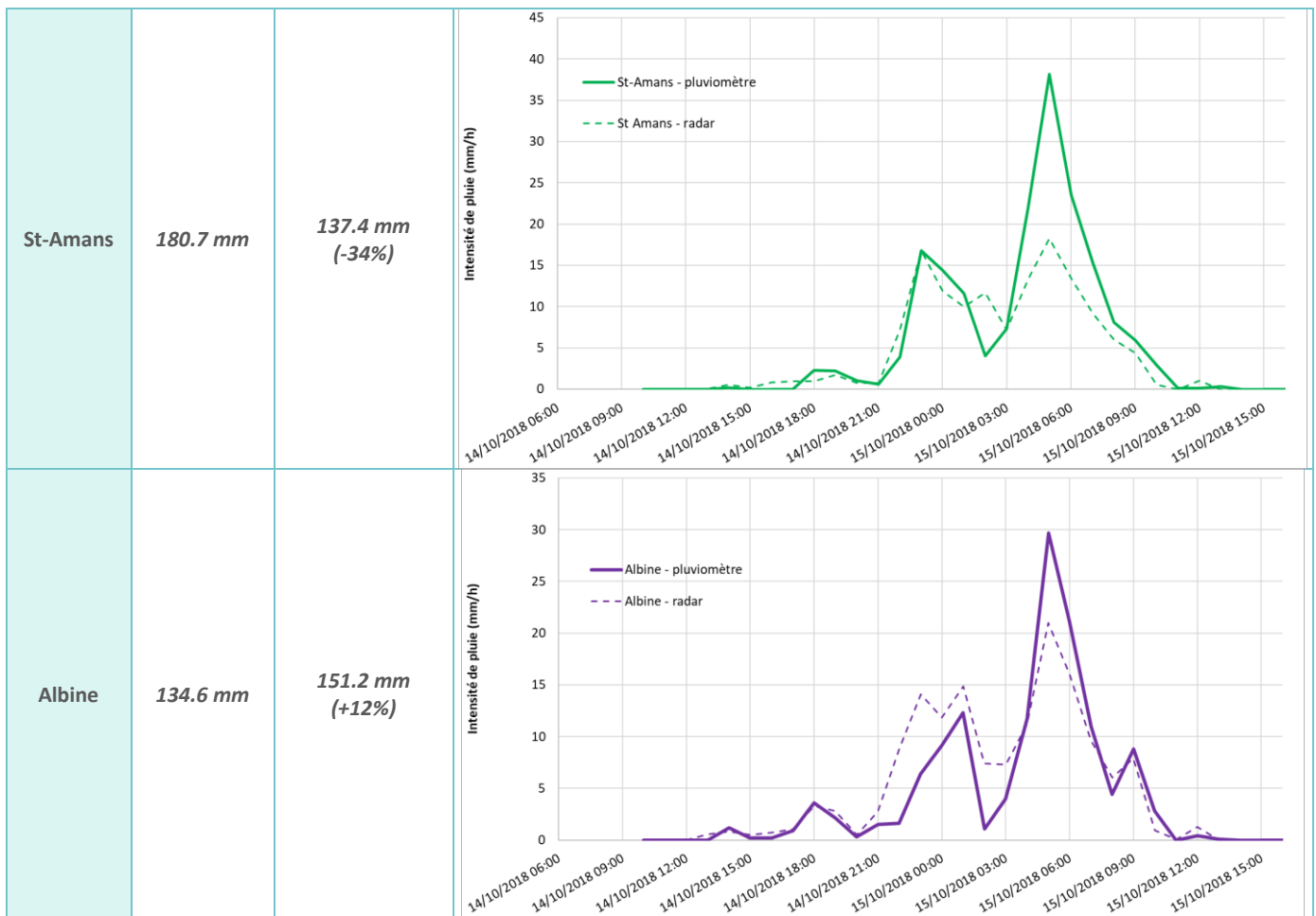


Tableau 7 : écarts identifiés entre pluviomètres et lames d'eau radar.

La pluie radar, malgré la qualité indiquée par Météo France, présente des écarts significatifs avec les pluviomètres au sol et est soumise à des incertitudes comprises entre 15 et 30% environ.

On observe des écarts pouvant atteindre 37%, cela peut être dû par un effet de masque causé par le rideau de pluie.

Compte tenu des écarts constatés, des coefficients correctifs interpolés spatialement par un algorithme d'inverse-distance seront mis en œuvre pour corriger la pluie radar avant injection dans le modèle hydrologique.

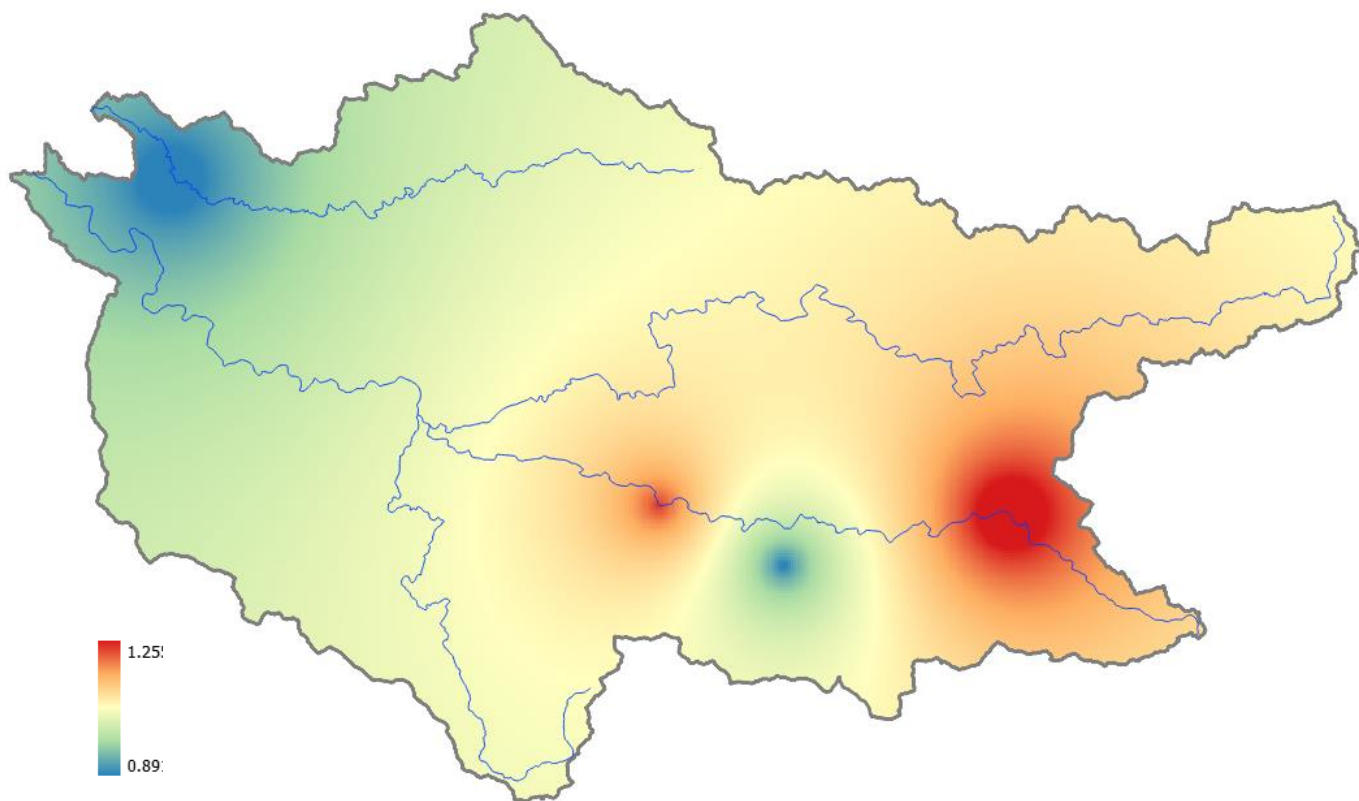


Illustration 32 : Coefficients correctif pour la pluie radar de 2018 (source : Météo France).

Analyse de la répartition spatiale

La carte des cumuls est présentée ci-dessous.

L'analyse de la répartition des cumuls de pluie sur le bassin versant montre une très forte hétérogénéité des lames d'eau. Les cumuls les plus importants sont observés sur le secteur amont (forêt du Sommail) où l'on enregistre localement plus de 250 mm au maximum sur l'événement.

Au contraire, sur la partie aval (Nord et Ouest), les cumuls sont plus faibles et représentent 100 à 130 mm.

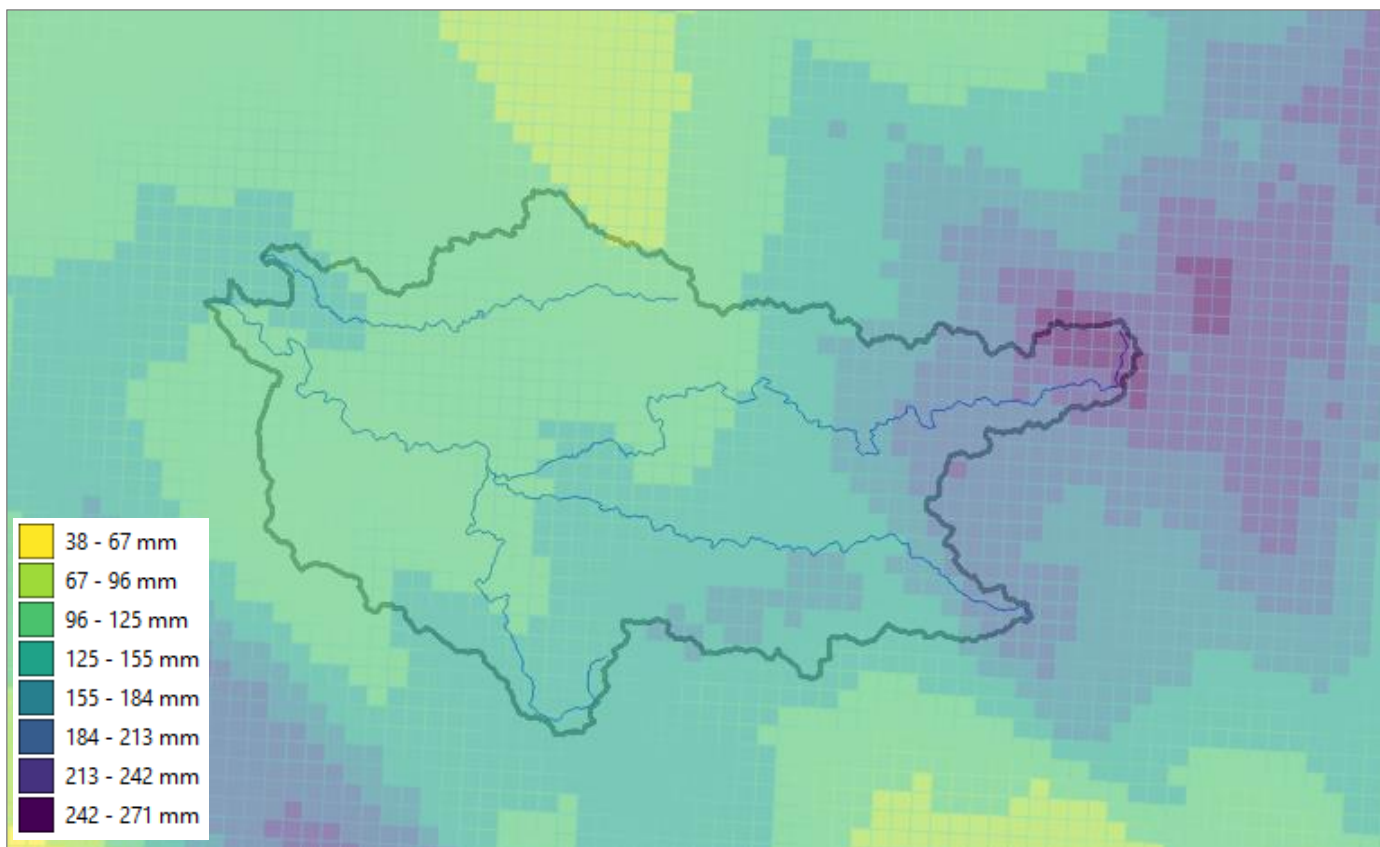


Illustration 33 : Cumul de pluie radar total lors de l'événement de 2018 (mm).

▲ Période de retour de l'événement

La comparaison avec les cumuls statistiques de Labastide-Rouairoux indique que le cumul moyen sur le bassin versant lors de l'événement de 2018 correspond à une occurrence de 5 à 10 ans au maximum.

La répartition des cumuls étant très hétérogène sur le bassin, on observe qu'au maximum certains secteurs reçoivent une pluie de période de retour de 30 à 50 ans pour une durée de 24 heures.

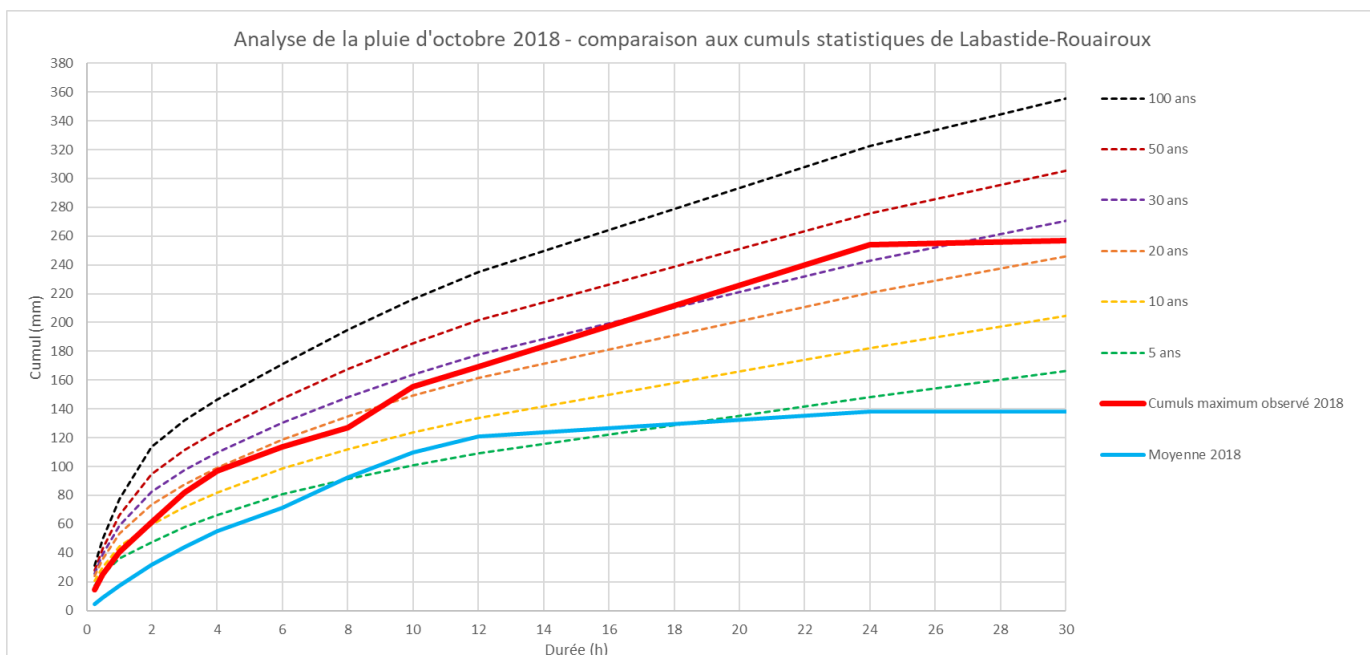


Illustration 34 : Comparaison du cumul de la pluie radar brute de 2018 aux cumuls statistiques.

Une analyse similaire a été effectuée à l'aide des hyétogrammes enregistrés au droit des différents pluviomètres. On observe qu'au poste de Labastide, les lames d'eau présenteraient au maximum une période de retour de 50 ans.

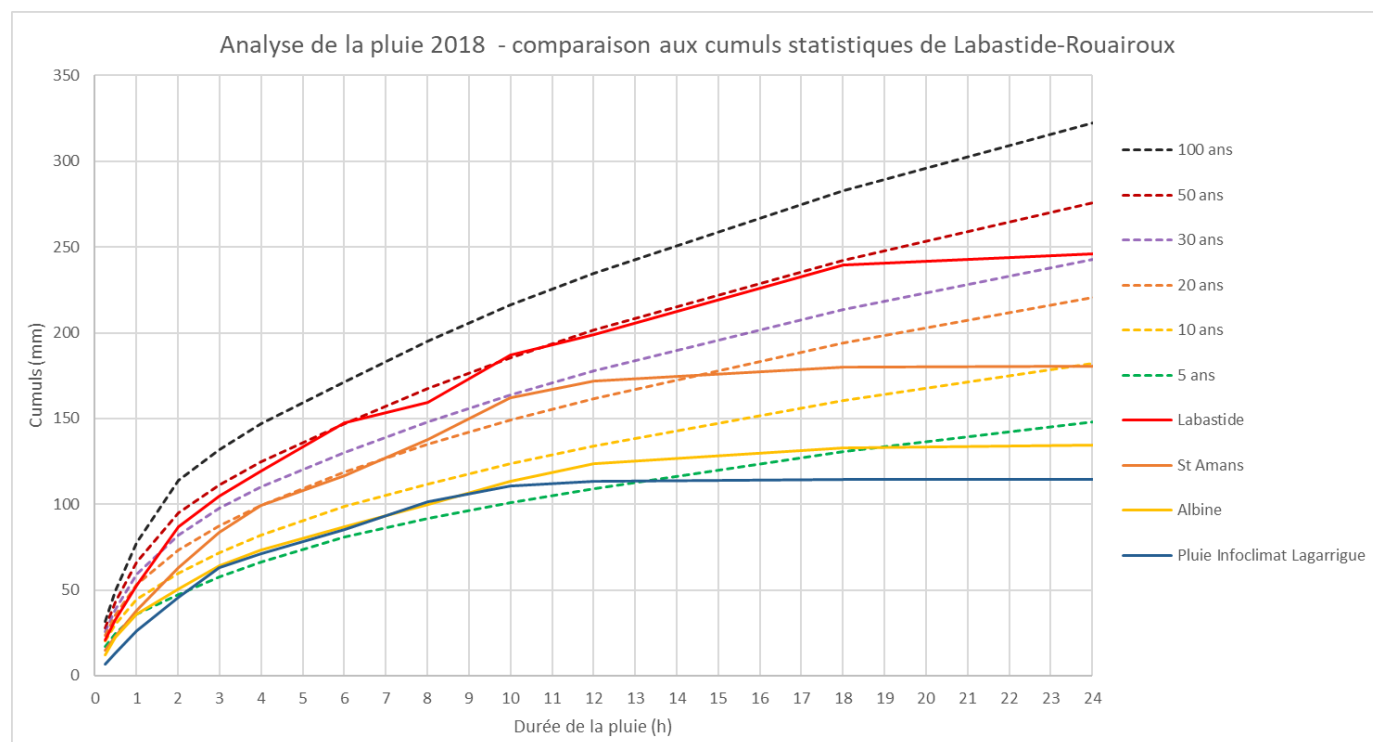


Illustration 35 : Comparaison des cumuls de pluie 2018 aux stations avec les cumuls statistiques.

B.III.3.5. Analyse de la pluie de mai 2020

Pluviomètres disponibles

Les données pluviométriques sont disponibles au droit de 6 stations :

- Albine
- Labastide
- St-Amans
- Lagarrigue (station disponible sur Infoclimat)
- Lasfaillades (station disponible sur Infoclimat)
- Castres (station disponible sur Infoclimat)



Analyse des lames d'eau

Les cumuls enregistrés du 9 au 15 mai 2020 sont variables sur le bassin versant : au maximum ils atteignent 200 mm au niveau de Labastide et sont de 110 mm à St-Amans.



Illustration 36 : Cumuls enregistrés du 9 au 15 mai 2020.

La répartition temporelle des cumuls montre que les précipitations se sont produites sur une durée relativement longue avec une succession d'averses.

Comparaison aux cumuls statistiques

Les cumuls enregistrés aux différents postes pluviométriques ont été comparés aux cumuls statistiques de la station de Labastide Rouairoux (graphique suivant).

Sur la plupart des postes les cumuls présentent au maximum une période de retour de 5 ans. Seuls les pluviomètres d'Albine et Labastide présentent une période de retour de la pluie de 5 à 10 ans pour des durées supérieures à 17h.

L'événement était donc relativement modeste.

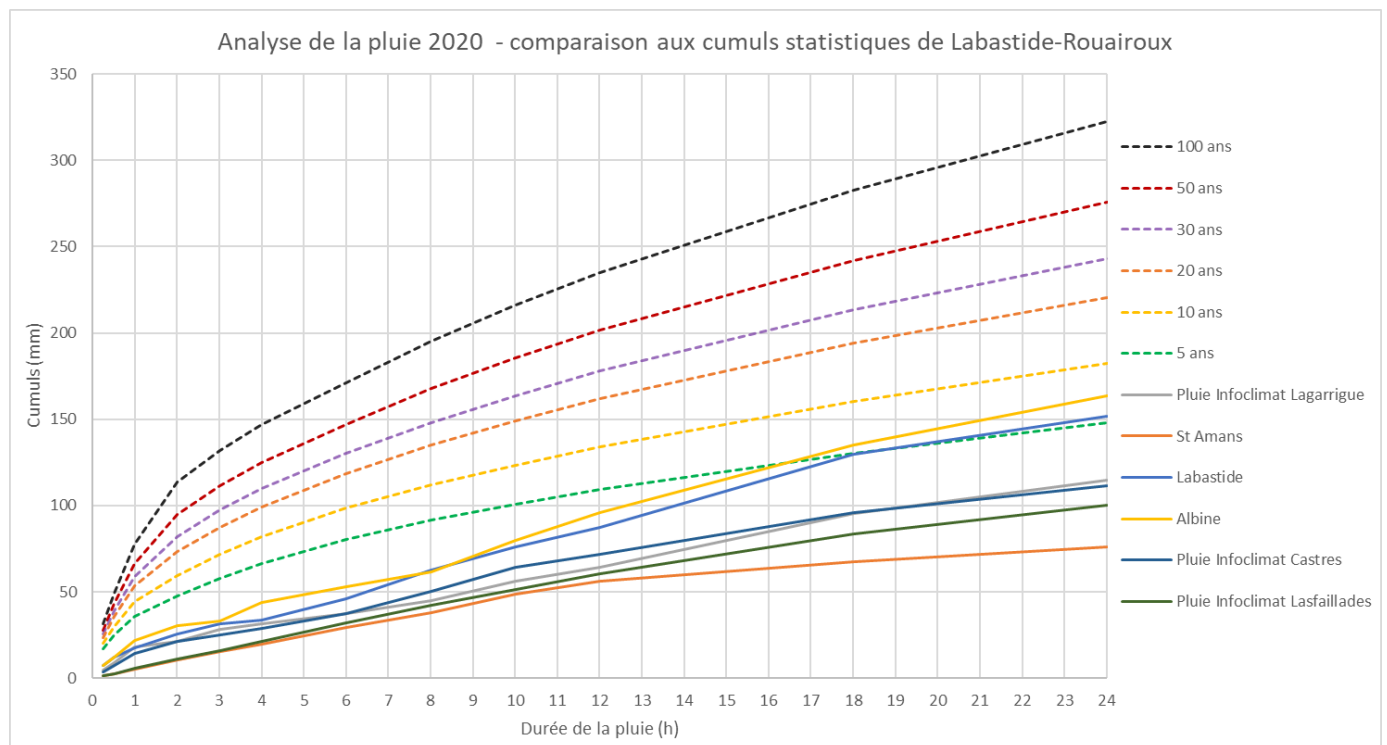


Illustration 37 : Cumul de pluie de l'événement de 2020 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).

L'événement de mai 2020 présente des cumuls modestes (période de retour inférieurs à 5 ans sur la plupart des pluviomètres). Localement, les précipitations ont été bien plus élevées, en particulier à Albine ou Labastide où les cumuls peuvent présenter une période de retour de 5 à 10 ans.

B.III.3.6. Analyse de la pluie de janvier 2021

Pluviomètres disponibles

Les données pluviométriques sont disponibles au droit de 6 stations :

- Albine
- Labastide
- St-Amans
- Lagarrigue (station disponible sur Infoclimat)
- Lasfaillades (station disponible sur Infoclimat)
- Castres (station disponible sur Infoclimat)



Analyse des lames d'eau

Les cumuls enregistrés du 29 janvier au 5 février 2021 sont variables sur le bassin versant : au maximum ils atteignent près de 200 mm au niveau de Labastide et dépassent tout juste 100 mm à Albine.

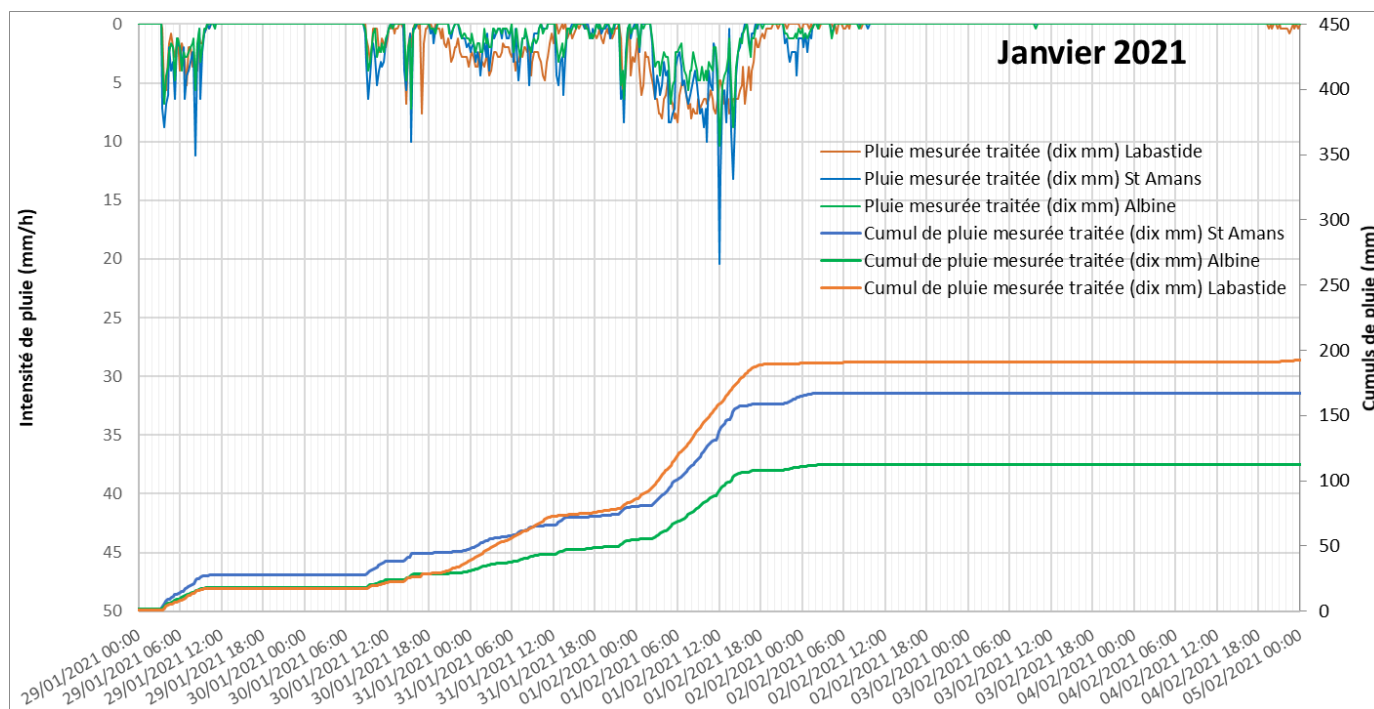


Illustration 38 : Cumuls enregistrés du 29 janvier au 5 février 2021.

La répartition temporelle des cumuls montre que les précipitations se sont produites sur une durée relativement longue avec une succession d'averses.

Comparaison aux cumuls statistiques

Les cumuls enregistrés aux différents postes pluviométriques ont été comparés aux cumuls statistiques de la station de Labastide Rouairoux (graphique suivant).

Sur la totalité des postes les cumuls présentent une période de retour inférieure à 5 ans. L'événement était donc très modeste.

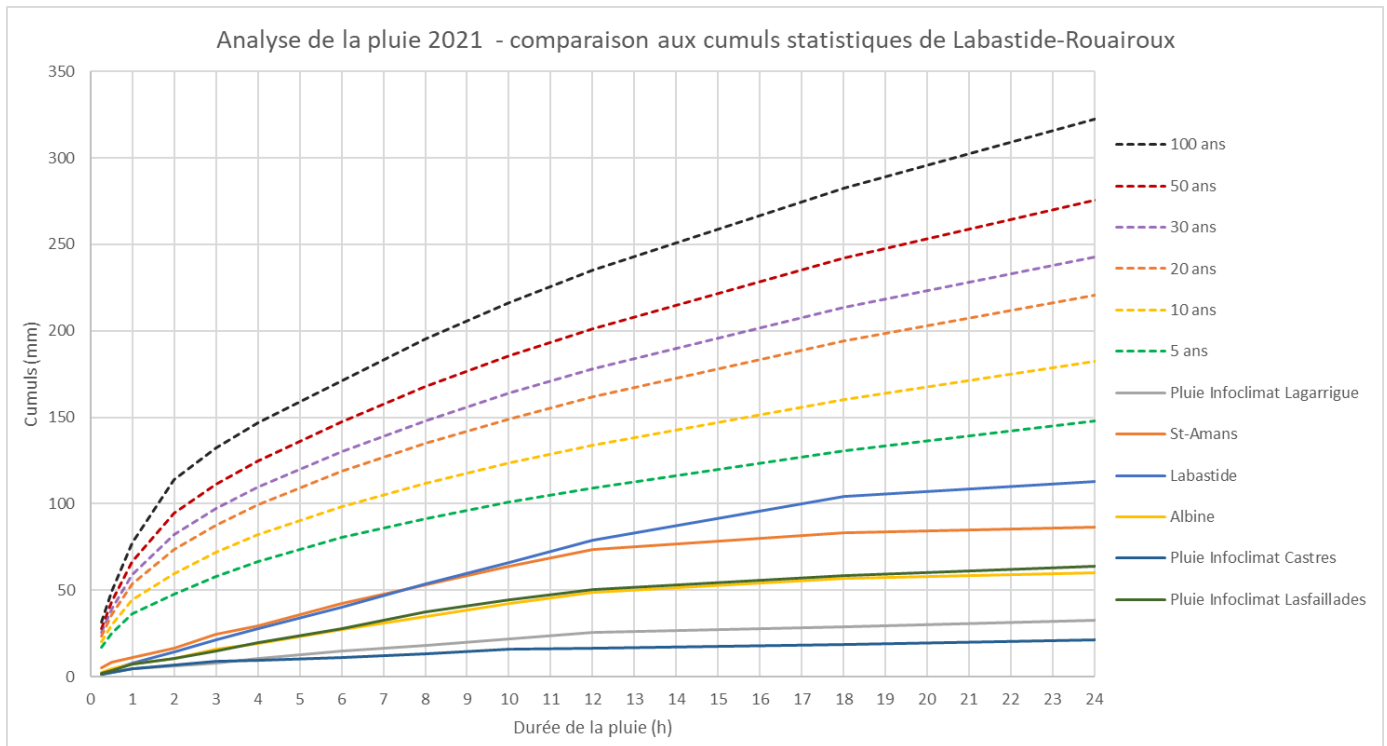


Illustration 39 : Cumul de pluie de l'événement de 2021 et cumuls statistiques (source : Météo France, analyse Cereg).

L'événement de janvier 2021 présente des cumuls relativement modestes (période de retour inférieure à 5 ans).

B.IV. STATIONS HYDROMETRIQUES

B.IV.1. Stations recensées

Plusieurs stations de mesure sont en place sur le territoire, nous distinguerons :

- Les **stations DREAL** dont les données sont disponibles via l'Hydroportail ;
- Les **stations EDF** installées dans le cadre des aménagements hydroélectriques
- Les stations de surveillances mises en place par le **Syndicat**.

Stations DREAL

2 stations hydrométriques sont en place sur le bassin versant :

code station	Noms station	Bassin versant contrôlé	Hauteurs	Débits
04384010	Le Thore à Payrin-Augmontel [Pont de Rigautou]	473 km ²	2003 - 2021	2003 - 2022
04314010	Le Thore à Sauveterre [La Bourgade]	79.3 km ²	2003 - 2021	2003 - 2022

Tableau 8 : Stations hydrométriques DREAL.

Stations EDF

Les données sur l'Arn à Anglès et l'Arn au Vintrou sont nécessaires dans le cadre de la modélisation pour pouvoir intégrer la gestion du lac de St-Peyres qui a un rôle significatif sur l'hydrologie de cet affluent.

Certains éléments ont été transmis (manœuvres de vannes, suivi de la hauteur...) mais sont insuffisants en l'état pour pouvoir implémenter le fonctionnement de la retenue au sein du code de calcul.

Il reste donc des éléments de connaissance à approfondir sur l'Arn. Seuls des échanges avec EDF et une sensibilisation des gestionnaires d'ouvrages quant à l'importance du rôle des retenues sur l'hydrologie pourrait permettre de recueillir l'ensemble des données nécessaires.

Stations du Syndicat

Dans le cadre de son système d'alerte de crue, le Syndicat de l'Agout a mis en place plusieurs stations de suivi des hauteurs d'eau.

Des courbes de tarage ont été établies mais le nombre de jaugeages, limité, conduit à de fortes incertitudes sur les débits calculés. Par la suite, nous exploiterons donc principalement les données de hauteurs mesurées. Celle-ci permettent d'apprécier la dynamique de montée des eaux entre les différents points de mesure ainsi que le degré de gravité de l'événement en cours (limite de débordement du lit), ce qui est suffisant dans le cadre d'un système d'alerte de crue.

Noms station	Bassin versant contrôlé	Hauteurs	Débits
Le Thore à St Amans	153.3 km ²	2008-2021	-
Le Thore à Labastide	32.3 km ²	2008-2021	-
Le ruisseau de Candessous à Albine	28.3 km ²	2008-2021	-
L'Arnette à Castaunouze	56 km ²	2022	-
La Durenque à Castres	105 km ²	2022	-
La Durenque à Boissezon	55 km ²	2022	-

Tableau 9 : Stations hydrométriques Syndicat.

B.IV.2. Localisation

La localisation des stations figure sur la carte suivante.

La disposition des stations permet de disposer d'un suivi de l'ensemble des affluents sans laisser de « zones d'ombre » trop importantes.

Le principal inconvénient est que ces différentes stations sont gérées par trois structures différentes (DREAL, Syndicat, EDF), ce qui peut limiter la fluidité des retours de données en temps réel pour de l'alerte de crue.

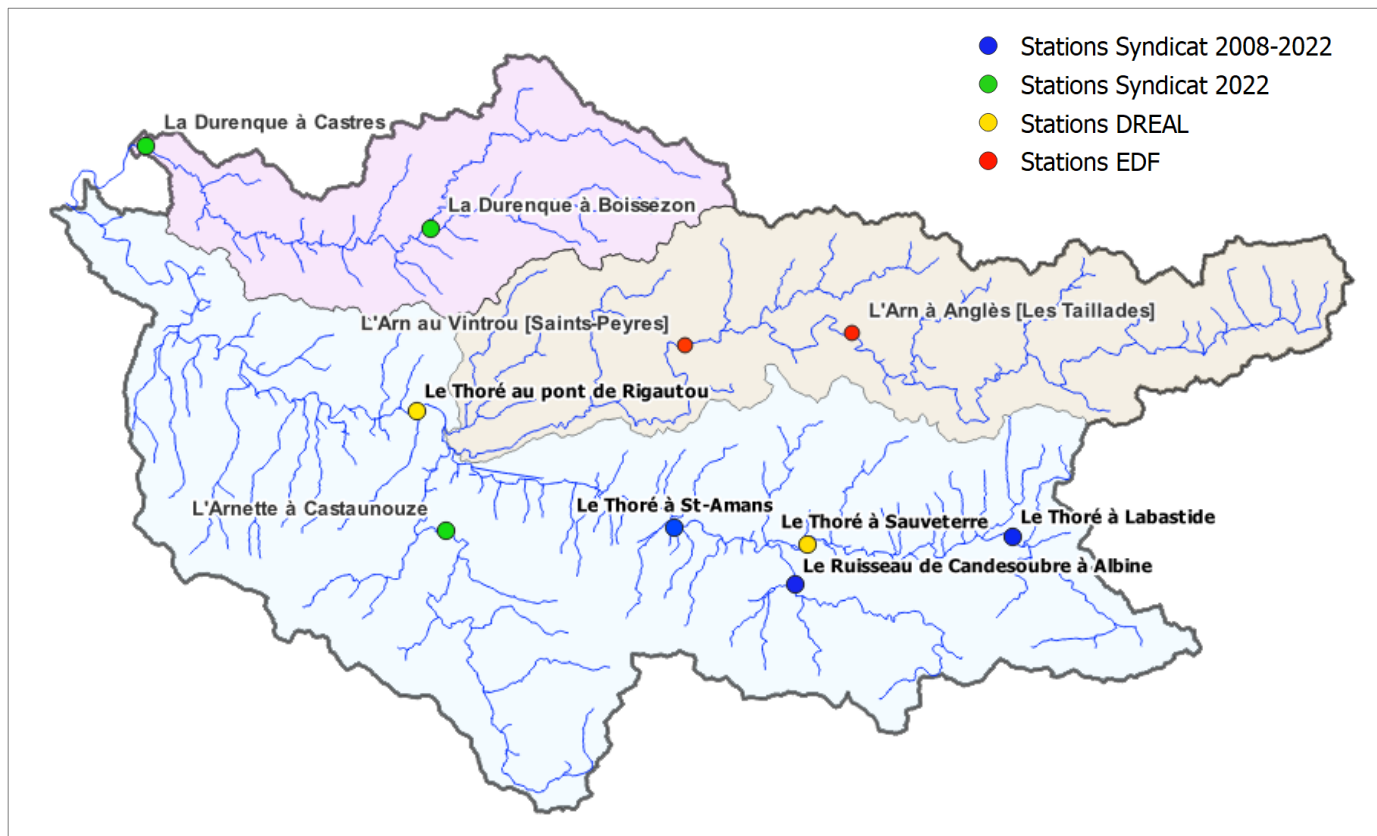


Illustration 40 : Stations hydrométriques sur le bassin versant.

B.IV.3. Qualité des données

Les fiches stations fournies par la Banque Hydro indiquent une bonne qualité de données pour les trois stations étudiées (Le Thoré au Pont de Rigautou, Le Thoré à Sauveterre et l'Arn à Anglès).

B.IV.4. Comportement annuel

L'analyse des débits mensuels indique que le bassin versant présente un régime hydrologique de type pluvial : la période de hautes eaux se produit en hiver (décembre à mars) et l'étiage en été (juillet, août et septembre).

Les courbes sont comparables entre les différentes stations ce qui indique une homogénéité dans les comportements hydrologiques des bassins versants.

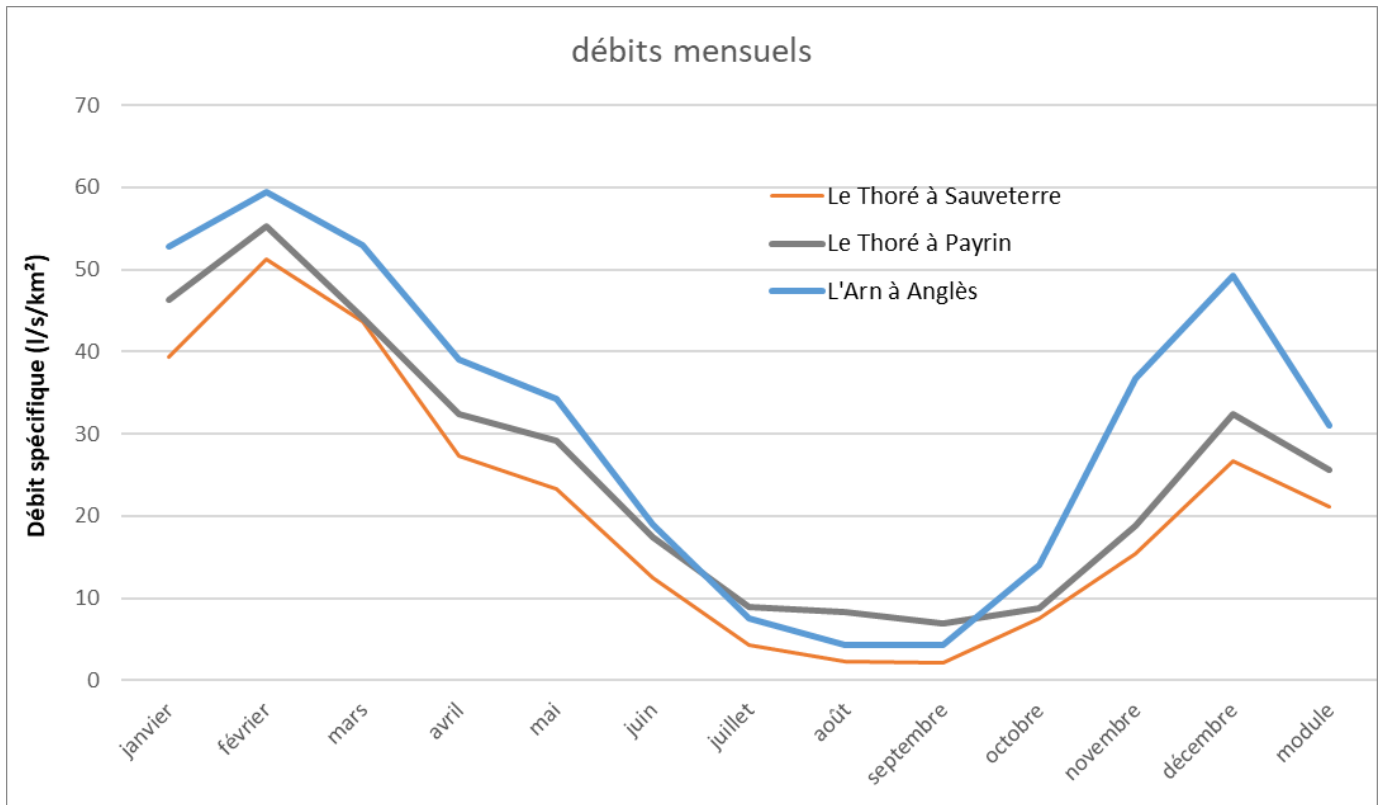


Illustration 41 : Débits spécifiques mensuels aux deux stations hydrométriques.

B.IV.5. Comportement en crue

La Banque Hydro donne pour chaque station de mesure une estimation des débits de pointe pour différentes occurrences si la profondeur de chronique disponible le permet. Ces estimations résultent d'un ajustement statistique avec une loi de Gumbel.

Ces valeurs sont renseignées dans le tableau suivant.

Occurrence de crue	Débits de pointe (m³/s)			Débits de pointe spécifique (l/s/km²)		
	Le Thoré au Pont de Rigautou	Le Thoré à Sauveterre	L'Arn à Anglès	Le Thoré au Pont de Rigautou	Le Thoré à Sauveterre	L'Arn à Anglès
2 ans	110	34	47	233	424	580
5 ans	160	55	78	338	687	963
10 ans	200	68	99	423	849	1222
20 ans	230	82	120	486	1024	1481
50 ans	-	-	-	-	-	-
100 ans	-	-	-	-	-	-

Tableau 10 : Différentes estimations des débits de crue aux stations (source : Banque Hydro).

B.IV.6. Temps de propagation

Lors des études antérieures (étude d'Hydro-m en particulier), les temps de propagation entre les différentes stations avaient été calculées de manière théorique en se basant sur des calculs de temps de concentration basé sur des méthodes empiriques.

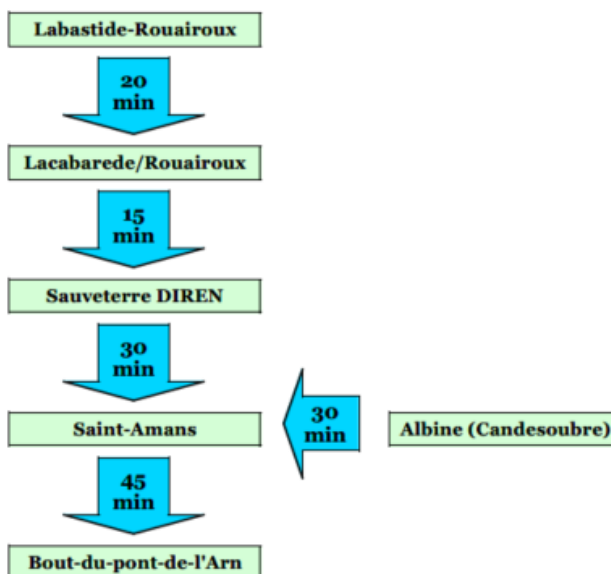


Illustration 42 : temps de propagation issus de l'étude d'Hydro-m ayant mis en œuvre le système d'alerte.

Depuis, les enregistrements des stations du Syndicat ont permis l'acquisition de données en crue pouvant permettre de consolider ces données.

Les 6 événements majeurs retenus ont donc fait l'objet d'une analyse (paragraphe suivant). Malheureusement, les instabilités des courbes liées aux capteurs de hauteur conduisent très souvent à des résultats difficilement interprétables voire incohérents (ex : débit maximal de la station aval se produisant avant le pic identifié à la station amont...).

Mars 2011

Heure du pic		Labastide	Albine	Sauveterre	Saint-Amans	Rigautou
		16/03/2011 02:00	16/03/2011 01:00	16/03/2011 02:30	16/03/2011 01:45	16/03/2011 03:30
Labastide	16/03/2011 02:00					
Albine	16/03/2011 01:00	-1				
Sauveterre	16/03/2011 02:30	0.5	1.5			
Saint-Amans	16/03/2011 01:45	-0.25	0.75	-0.75		
Rigautou	16/03/2011 03:30	1.5	2.5	1	1.75	

Mai 2013

Heure du pic		Labastide	Albine	Sauveterre	Saint-Amans	Rigautou
		-	31/05/2013 05:00	31/05/2013 04:00	-	31/05/2013 04:30
Labastide	-					
Albine	31/05/2013 05:00					
Sauveterre	31/05/2013 04:00		-1			
Saint-Amans	-					
Rigautou	31/05/2013 04:30		-0.5	0.5		

■ Février 2017

Heure du pic		Labastide	Albine	Sauveterre	Saint-Amans	Rigautou
		11/05/2020 14:15	11/05/2020 13:15	11/05/2020 12:45	11/05/2020 11:45	11/05/2020 14:45
Labastide	11/05/2020 14:15					
Albine	11/05/2020 13:15	-1				
Sauveterre	11/05/2020 12:45	-1.5	-0.5			
Saint-Amans	11/05/2020 11:45	-2.5	-1.5	-1		
Rigautou	11/05/2020 14:45	0.5	1.5	2	3	

■ Octobre 2018

Heure du pic		Labastide	Albine	Sauveterre	Saint-Amans	Rigautou
		15/10/2018 06:45	15/10/2018 06:45	15/10/2018 07:30	15/10/2018 09:00	15/10/2018 08:15
Labastide	15/10/2018 06:45					
Albine	15/10/2018 06:45	0				
Sauveterre	15/10/2018 07:30	0.75	0.75			
Saint-Amans	15/10/2018 09:00	2.25	2.25	1.5		
Rigautou	15/10/2018 08:15	1.5	1.5	0.75	-0.75	

■ Mai 2020

Heure du pic		Labastide	Albine	Sauveterre	Saint-Amans	Rigautou
		11/05/2020 14:15	11/05/2020 13:15	11/05/2020 12:45	11/05/2020 11:45	11/05/2020 14:45
Labastide	11/05/2020 14:15					
Albine	11/05/2020 13:15	-1				
Sauveterre	11/05/2020 12:45	-1.5	-0.5			
Saint-Amans	11/05/2020 11:45	-2.5	-1.5	-1		
Rigautou	11/05/2020 14:45	0.5	1.5	2	3	

■ Janvier 2021

Heure du pic		Labastide	Albine	Sauveterre	Saint-Amans	Rigautou
		01/02/2021 17:15	01/02/2021 15:30	01/02/2021 15:00	01/02/2021 16:00	01/02/2021 17:00
Labastide	01/02/2021 17:15					
Albine	01/02/2021 15:30	-1.75				
Sauveterre	01/02/2021 15:00	-2.25	-0.5			
Saint-Amans	01/02/2021 16:00	-1.25	0.5	1		
Rigautou	01/02/2021 17:00	-0.25	1.5	2	1	

Les courbes de hauteur enregistrées par les limnimètres sont insuffisantes en l'état pour évaluer les temps de propagation des crues entre les stations.

Le problème provient en partie des instabilités des courbes et des pas de temps d'acquisition (15 minutes), mais également de l'hétérogénéité spatiale de la pluie et des déplacements des cellules orageuses. La pluie n'étant pas homogène dans le temps et l'espace, il est impossible d'assurer que les pics observés à différentes stations sont issus de la même sollicitation pluvieuse.

La modélisation, calée sur ces événements réels, puis exploitée avec des pluies de synthèse, semble être, après calage, la méthodologie la plus robuste pour répondre à la question des temps de propagation entre les différents points d'intérêt du bassin versant.

B.V. ESTIMATION DE LA SENSIBILITE DES ZONES A ENJEUX

B.V.1. Localisation des zones à enjeux

Les zones à enjeux ont été définies par le Syndicat et sont représentées sur la carte suivante.

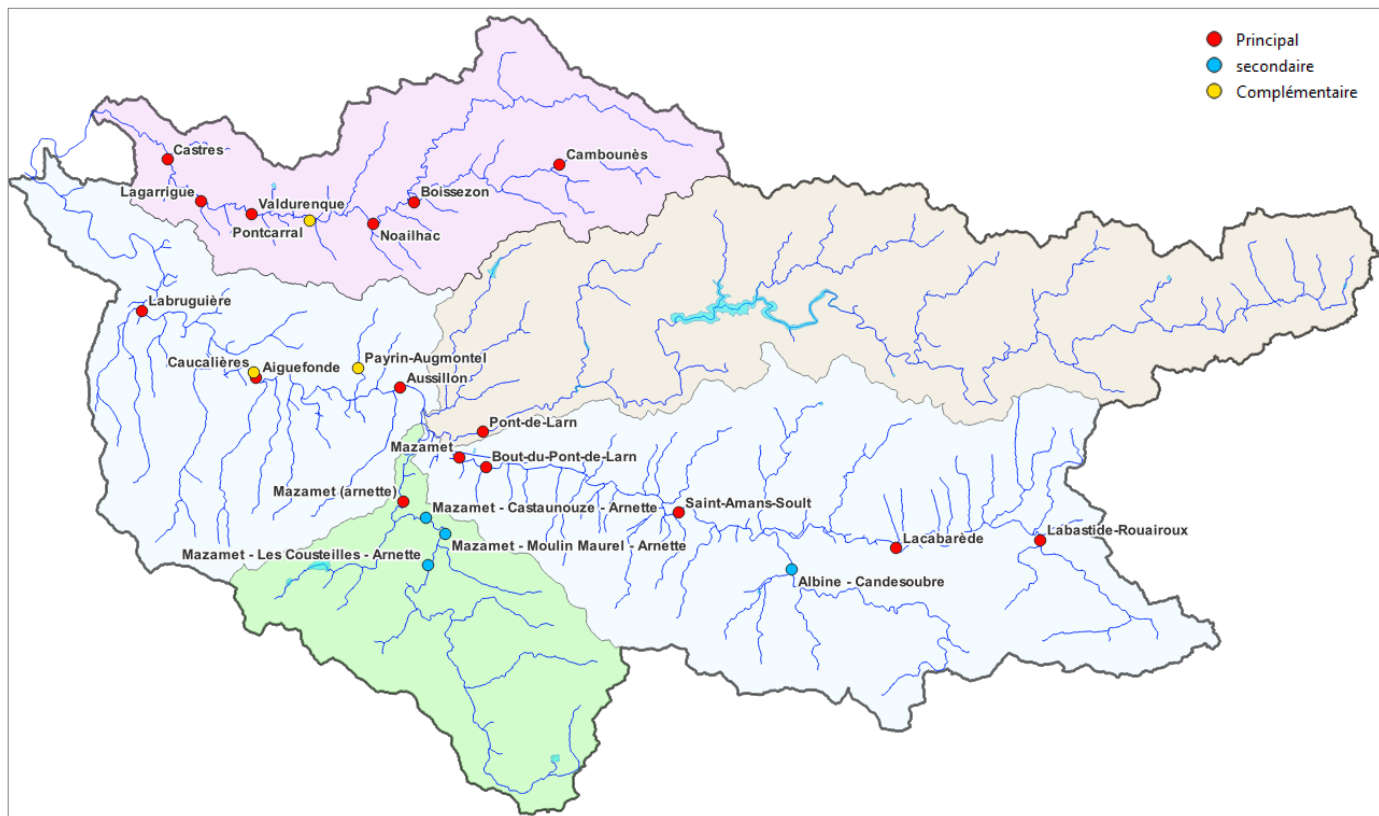


Illustration 43 : Localisation des enjeux.

B.V.2. Sensibilité des zones à enjeux

Les seules sources d'information sur le territoire concernant les débordements est la cartographie des Zones Potentielles d'Inondation (ZIP) et la Zone Inondée par Classes de Hauteurs d'eau (ZICH), qui distingue également les hauteurs de submersion et les types d'inondation.

Ces cartographies ont pour objectif d'aider les acteurs de la gestion de crise et les citoyens à se préparer, en amont, aux conséquences attendues d'une inondation.

Disponibilité de la cartographie ZIP-ZICH

Chaque cartographie ZIP-ZICH est reliée à une station de mesure du réseau Vigicrues. En conséquence, sur les bassins versants du Thoré et de la Durenque, la seule station ayant fait l'objet d'une cartographie ZIP est la station du Pont de Rigautou sur le Thoré.

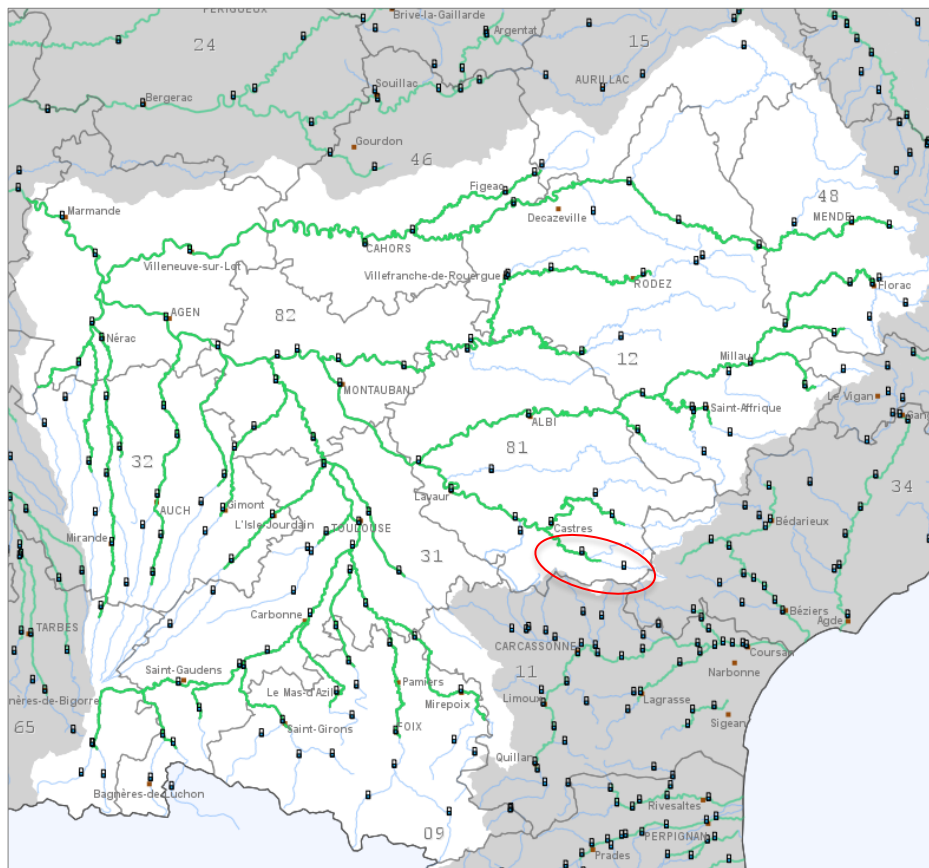


Illustration 44 : Disponibilité de la cartographie ZIP sur le site Vigicrue.

Seul l'axe du Thoré, de Labastide-Rouairoux jusqu'à l'exutoire est disponible sur la cartographie fournie (carte suivante).

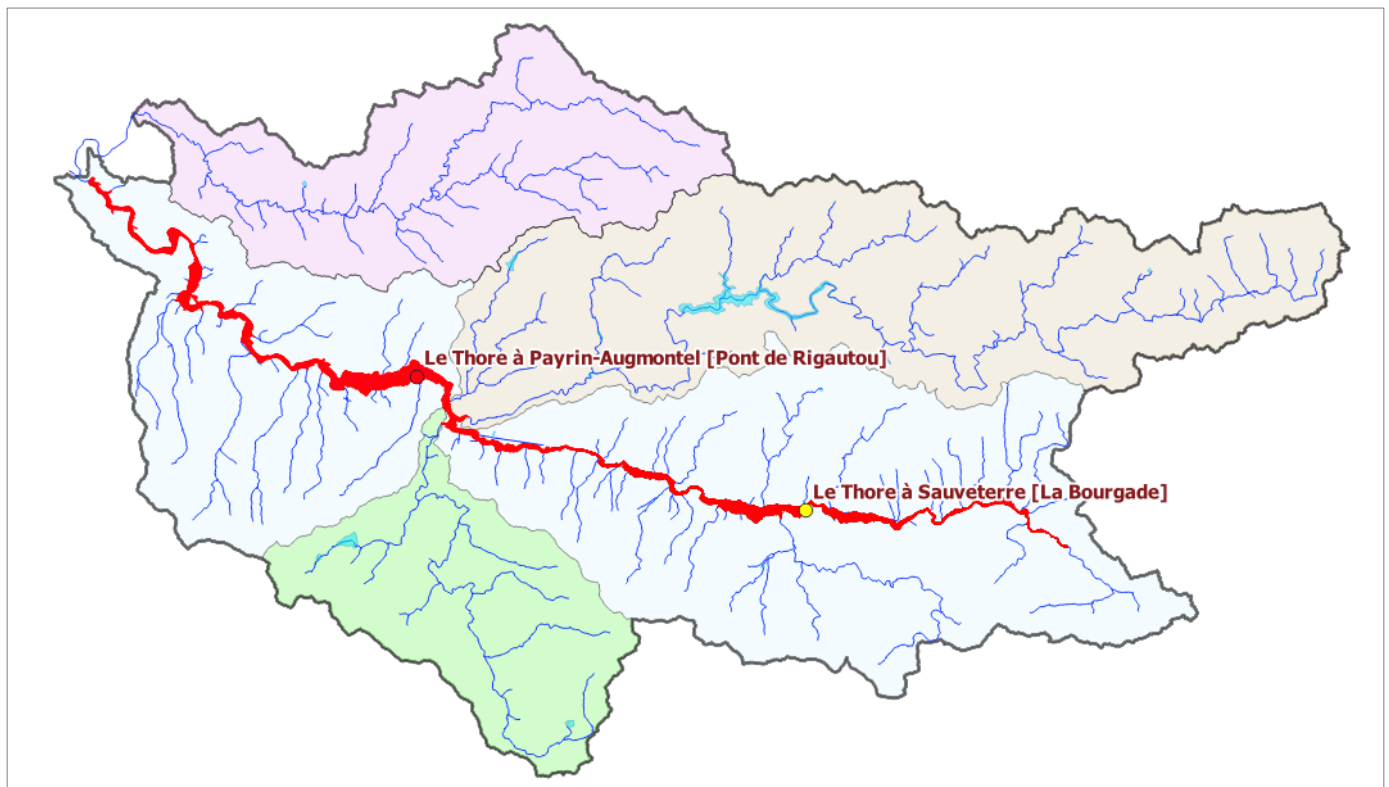


Illustration 45 : Disponibilité de la cartographie ZIP.

Sensibilité des enjeux

La cartographie ZIP étant limitée, seuls 9 secteurs à enjeux identifiés (sur les 26 inventoriés par le Syndicat) peuvent être analysés :

- Labastide-Rouairoux
- Lacabarède
- Saint-Amans
- Bout-du-Pont-de-Larn
- Mazamet
- Aussillon
- Aiguefonde
- Caucalières
- Labruguière



Illustration 46 : Enjeux concernés par la cartographie ZIP.

C. MISSION 2 : DEVELOPPEMENT, PARAMETRAGE ET MISE EN SERVICE DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC



C.I. PRESENTATION DU MODELE

Les modélisations hydrologiques seront effectuées avec le logiciel COGERE (programme de recherche et développement Cereg), à partir de la plate-forme logicielle OpenFLUID mise à disposition par l'UMR LISAH.

Le modèle comporte :

- **Une fonction de production** : le modèle du **Soil Conservation Service (SCS)**. C'est une méthode empirique qui a été développée aux Etats Unis pour estimer le ruissellement à partir des caractéristiques du terrain (état hydrique du sol, géologie, occupation des sols...). Ce modèle est surtout utilisé pour modéliser des hydrogrammes de crue pour des études d'inondation.
- La propagation des écoulements au sein des cours d'eau assurée par la **fonction de transfert Lag&Route**, où la fonction « délai » est associée à un routage de type réservoir linéaire. C'est dans cette fonction qu'a été intégrée la possibilité de gérer les retenues, barrages et prélèvements présents sur le réseau hydrographique et les versants.

C.I.1.1. Principes de fonctionnement d'OpenFLUID

Sous la plate-forme OpenFLUID, le bassin versant est représenté sous la forme d'unités spatiales connectées entre elles.

Celles-ci se composent de différentes classes d'unités :

- Les unités hydrologiques qui permettent d'identifier les **sous bassins versants** ;
- Les tronçons qui sont assimilés à des **biefs de cours d'eau** ;
- **Les retenues, plans d'eau, bassins écrêteurs et zones d'expansion de crues** ;
- Les entités souterraines permettant de représenter **les nappes et les aquifères karstiques** ;
- Les entités caractérisant l'**occupation du sol**.

Dans le cadre de la modélisation, ces unités portent des attributs qui leur sont propres (surface, longueur des cours d'eau, relation hauteur/volume, pentes...).

Attributs		Evénements										
	DownUnit	IDGU	IDdefluence	IUList	Karst	OFLD_ID	TypeDefluence	WUList	WUList2	WUListGU	altitude	length
1	RS#30	0	0	0;0	0	1	0	0;0	0;0	0;0	164.88	420.45
2	RS#446	0	0	0;0	0	2	0	0;0	0;0	0;0	191	456.82
3	RS#47	0	0	0;0	0	3	0	0;0	0;0	0;0	174	218.74

Illustration 47 : Unités spatiales dans un modèle OpenFLUID.

La plate-forme de modélisation OpenFLUID se compose des éléments suivants :

- **Générateurs** servant à la préparation des données d'entrée. Les Générateurs correspondent aux données d'entrée fournies aux simulateurs, à savoir les données climatiques correspondant à la pluie, l'évapotranspiration (ETP), l'évaporation pour les plans d'eau
- **Simulateurs** afin de représenter les processus du fonctionnement hydrologique du bassin. Les simulateurs représentent les processus hydrologiques mis en jeu au sein du bassin versant :
 - Ruissellements à la surface du sol ;
 - Ecoulements dans les cours d'eau ;

Les **simulateurs** sont couplés entre eux au travers des variables qu'ils échangent, notamment des variables de débit (pluie, infiltration, ruissellement...).

Au sein d'OpenFLUID, chaque simulateur déclare ses variables nécessaires en entrée, les variables qu'il produit en sortie, ainsi que les attributs (surface, longueur, pente...) des unités spatiales dont il a besoin pour procéder à ses calculs.

- **Observateurs** afin de visualiser les résultats et les mettre en forme. Ils permettent la récupération des résultats, des variables, produites par les simulateurs sous plusieurs formes : graphique en fonction du temps (hydrogrammes notamment), base de données afin de permettre des exploitations futures (création de graphique sous tableur, analyses statistiques des résultats...).

Comme pour les générateurs et les simulateurs, il est possible de créer tous les observateurs que l'on désire.

C.I.2. Description du modèle hydrologique

La modélisation hydrologique des crues, pour être suffisamment représentative de la réalité, doit pouvoir prendre en compte les processus hydrologiques et climatiques naturels, mais aussi les influences anthropiques qui ont un impact sur les écoulements (ouvrages transversaux).

La construction du modèle passe par l'analyse et le croisement de nombreuses couches géographiques permettant de spatialiser au maximum les caractéristiques physiques des sous bassins versants : occupation du sol, géologie, pente...

Chaque ouvrage peut également être intégré et est pris en compte avec des lois hydrauliques (lois de vidange, lois de surverse...).

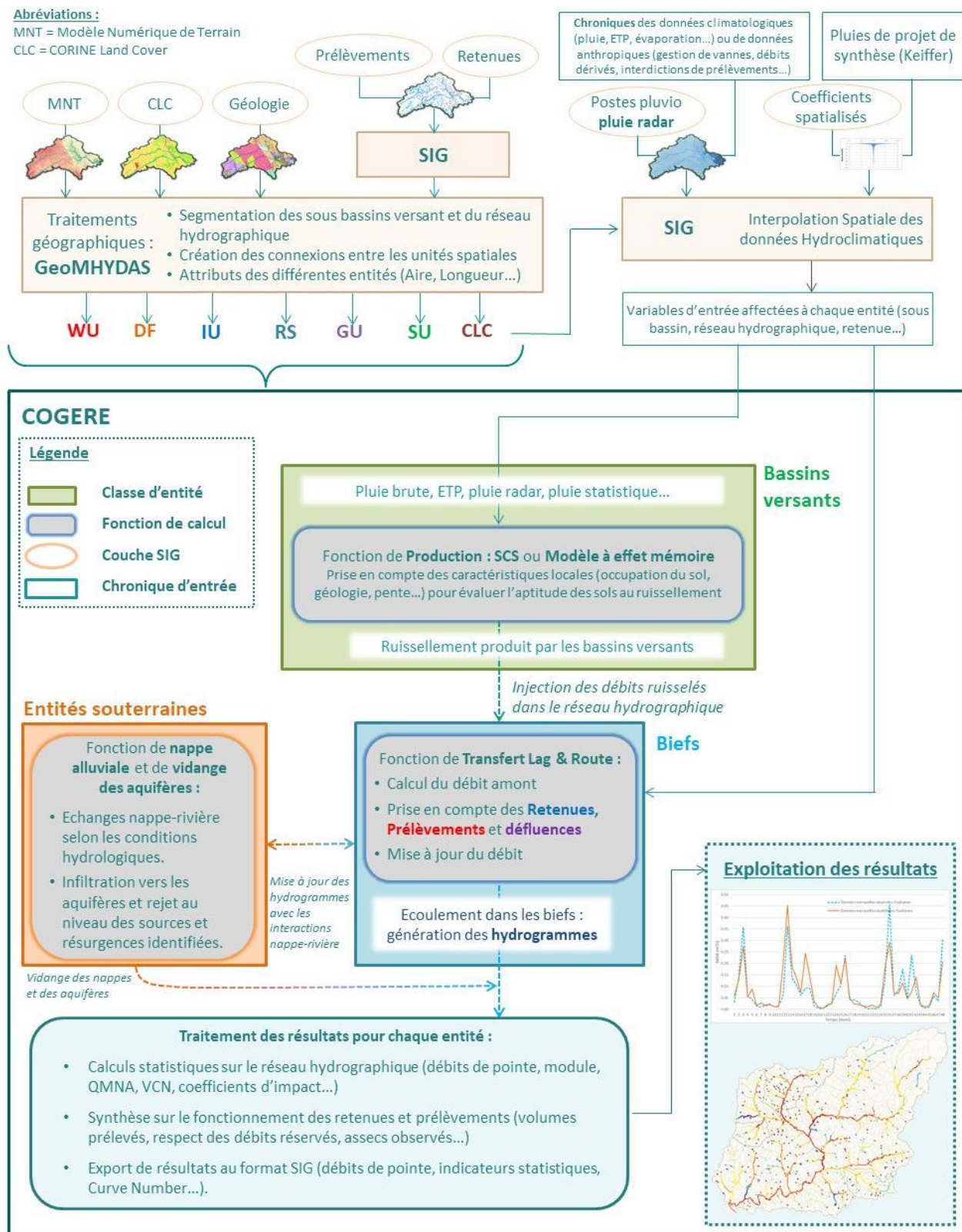


Illustration 48 : Méthodologie et déroulement des phases de travail avec le modèle COGERE.

Appliqué au cas du Thoré et de la Durenque, le modèle comporte les unités suivantes :

- **1200 sous bassins versants** dont les surfaces sont comprises entre quelques centaines de mètres carrés et 200 ha. Ce découpage donne une représentation fine de l'espace et permet la spatialisation des phénomènes hydrologiques en prenant en compte les diverses occupations du sol et formations géologiques rencontrées. Les écoulements produits sur ces sous-bassins versants rejoignent le réseau hydrographique et sont sommés au gré des confluences.
- **Aucune entité souterraine n'est intégrée** : les analyses du territoire n'ont pas permis d'identifier d'aquifères particuliers (résurgences, karst...).
- **730 biefs de cours d'eau** (les longueurs de tronçons sont comprises entre 70 m et 2 000 mètres). Le réseau hydrographique est issu de la BD Hydrographique de l'IGN, il a été prolongé en suivant les axes d'écoulements identifiés par traitement du RGE 5m.
- **Aucun ouvrage n'a été intégré à l'heure actuelle** faute de disposer des caractéristiques des retenues pour représenter leur fonctionnement (relation hauteur/volume, modalités de gestion, surverse, débit réservé...). Toutefois, le découpage spatial mis en œuvre permettra de les rajouter a posteriori une fois les informations recueillies ;

Une représentation du découpage spatial est présentée sur la figure ci-dessous.

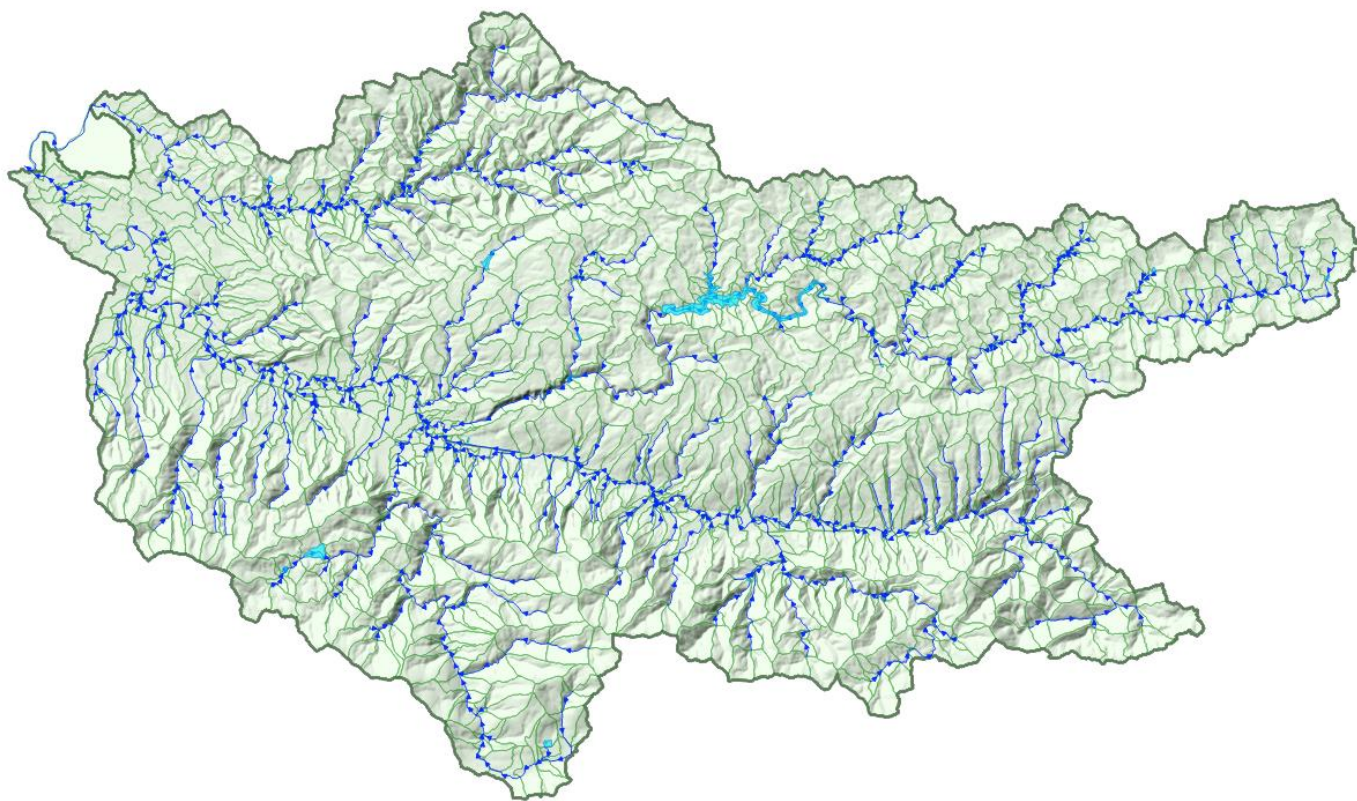


Illustration 49 : Entités spatiales modélisées pour représenter le bassin versant sous COGERE.

Au sein des modélisations, chaque ouvrage est pris en compte. Leur fonctionnement (vidange, remplissage, surverse...) est régi par des lois hydrauliques spécifiques à leurs caractéristiques : relations hauteur – volume, et hauteur débit.

C.II. DONNEES D'ENTREE DU MODELE

Le modèle hydrologique peut être alimenté par deux types de données pluviométriques :

- Des données de pluies réelles, obtenues grâce à des relevés de pluviomètres ou de l'acquisition radar.
- Des données de pluies synthétiques, généralement issue d'une construction géométrique basée sur des coefficients de Montana obtenus au droit d'un poste de référence.

Les paragraphes suivants détaillent donc :

- Le choix et l'analyse de la donnée pluviométrique de référence ;
- La méthodologie et les données retenues pour la construction des pluies de projet ;
- L'analyse des pluies réelles des événements retenus pour la modélisation.

C.II.1. Evénements réels

Comme décrit au paragraphe B.III.3, les données des pluviomètres concernant les événements réels suivants ont été utilisées pour le calage du modèle :

- Pluie de mars 2011 ;
- Pluie de mai 2013 ;
- Pluie de février 2017 ;
- Pluie radar d'octobre 2018 ;
- Pluie de mai 2020 ;
- Pluie de janvier 2021.

C.II.2. Pluies de projet

C.II.2.1. Types de pluies de projet

Pour la modélisation des crues d'occurrence 5 à 100 ans, le modèle sera alimenté par des pluies de projet.

Une pluie de projet est une pluie de synthèse fictive, établie à partir des éléments statistiques observés sur les pluies locales (courbes Intensité-Durée-Fréquence ou coefficients de Montana).

Plusieurs méthodes de construction des pluies de projet sont possibles, on distingue notamment :

- Les pluies dont la distribution dérive d'analyses sur des épisodes pluvieux réels. Cette méthodologie n'est pas envisagée ici car cela nécessiterait l'acquisition de grandes quantités de données pluviométriques pour établir des hyétogrammes synthétiques à pas de temps fins.
- Les pluies obtenues à partir des courbes IDF ou des coefficients de Montana, avec une distribution temporelle à définir (durée totale, durée intense, position du pic d'intensité...). Dans cette catégorie on retrouve :
 1. Les **pluies plateau** (ou rectangle) dont l'intensité est constante. Ce type de pluie est implicitement utilisé dans la méthode rationnelle et permet le calcul de volumes d'eaux pluviales et le dimensionnement d'ouvrages de rétention.
 2. Les pluies en **simple triangle**. Ces pluies sont surtout utilisées pour la détermination des volumes de rétention sur les petits versants urbains et sont donc adaptées aux petits bassins à réponse rapide (temps de concentration de moins de 30 minutes et de superficie inférieure à 12 ha).

3. Les pluies en **double triangle de Desbordes**.
4. Les pluies construites par la **méthode de Normand** (SOGREAH) nécessitant les fréquences d'apparition des précipitations sur différentes durées.
5. Les pluies de projet **SOCOSE** présentant un hyétogramme symétrique.
6. Les pluies de **Keifer (ou Chicago)**.

La principale propriété de la **pluie de Keifer** est qu'elle est constituée d'éléments (hauteur précipitée sur une durée donnée) qui ont tous la même période de retour T. Ainsi, en appliquant cette pluie de projet sur un bassin versant, on s'assure d'obtenir le débit de période de retour T en tout point de calcul.

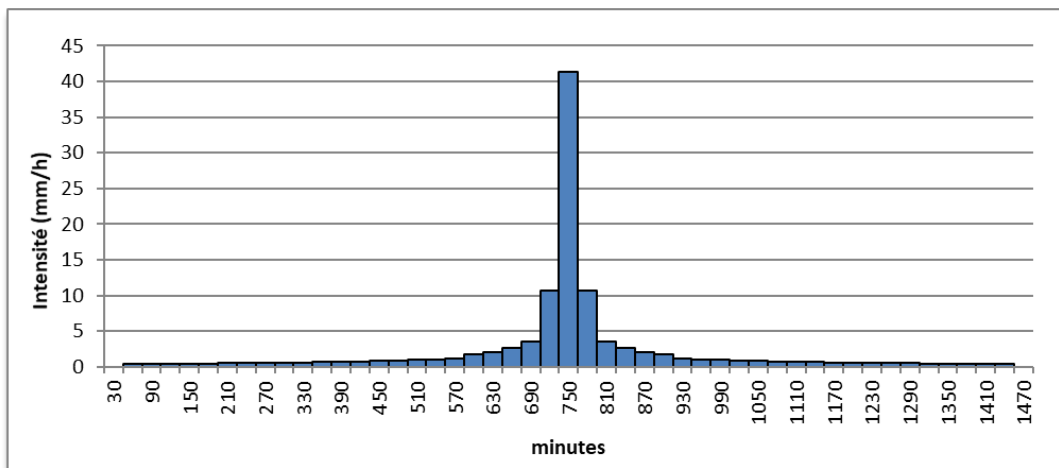


Illustration 50 : Exemple d'une pluie de projet de type Keifer.

Ce type de pluie de projet a tendance à surestimer les volumes de crues, variable importante dans le cas où on s'intéresse au remplissage d'ouvrages ou de zones d'expansion de crues.

Au contraire, la construction des pluies en double triangle de Desbordes assure la conservation du volume de pluie pour la période de retour choisie. Cette pluie de projet est basée sur deux durées caractéristiques : la durée de la période intense de la pluie et la durée totale de la pluie.

Les pluies en double triangle de Desbordes sont surtout utilisées en France pour l'étude de petits bassins versants urbains. En effet, les pluies de projet de type Desbordes n'ont pas été conçues pour excéder des durées supérieures à 4 heures et sont donc inadaptées pour les bassins ayant des temps de concentration plus élevés que 4 heures.

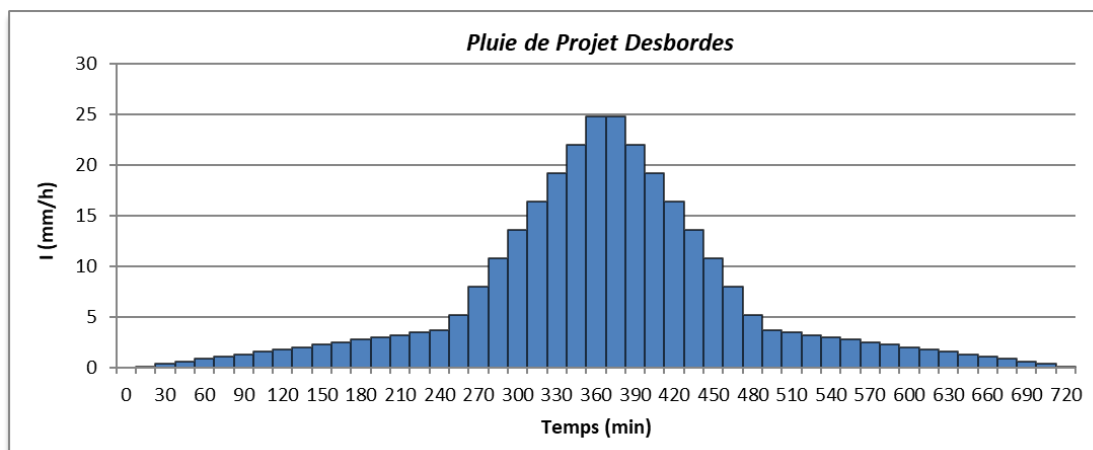


Illustration 51 : Exemple d'une pluie de projet de type Desbordes.

Par ailleurs, la difficulté pour ce type de pluie réside dans le fait que de nombreuses combinaisons occurrence/durée intense/durée totale sont possibles et qu'il n'est pas possible de prédéterminer le couple de valeurs à retenir. La méthodologie à suivre consiste donc à simuler plusieurs couples balayant un large spectre de durée et à retenir celui qui maximise les débits.

Les pluies en double triangle de Desbordes ne seront donc pas utilisées, **nous utiliserons des pluies de Keiffer.**

Durée de la pluie

Lors de l'élaboration d'une pluie de synthèse se pose la question de la durée de la pluie. Pour les pluies de Keiffer, la méthodologie préconise de prendre une durée supérieure ou égale à deux fois le temps de concentration du bassin versant à modéliser.

Dans notre cas, il a été vu que le temps de concentration du Thoré est de l'ordre de 24 à 35h au maximum.

Pour qu'un bassin versant réponde de façon nominale à la pluie de Keiffer, il faut que l'ensemble des ruissellements du bassin versant aient le temps de converger jusqu'à cet exutoire au moment de ce maximum et donc il est nécessaire que $t_0 > T_c$, soit $D/2 > T_c$ et donc $D > 2 \times T_c$. **Il a donc été décidé de fixer la durée des pluies de projet à 72h.**

Construction des pluies

La construction des pluies de projet se base sur les cumuls de pluie SHYREG récupérés auprès de Météo France à Mazamet.

Répartition spatiale

En pratique, lors d'une modélisation hydrologique, il est généralement supposé que la pluie s'abat de façon homogène sur tout le bassin versant. Or, il est clair que cette hypothèse ne peut être vérifiée dans la réalité.

Néanmoins, il n'existe pas de méthodologie permettant de définir un schéma d'abattement de la pluie basé **sur des considérations scientifiques** du fait du manque de connaissance de ces phénomènes de précipitations.

Les pluies de projet appliquées seront donc homogènes sur le bassin versant.

Pour la modélisation nous retiendrons des pluies de Keiffer de durées 72h élaborées à partir des cumuls de pluie statistiques de la station de Labastide-Rouairoux.

Ces hypothèses ont l'avantage :

- d'être en cohérence avec les temps de concentration estimés des bassins versants à modéliser ;
- d'utiliser des données pluviométriques représentatives du secteur d'étude ;
- de pouvoir obtenir en tout point du bassin versant un débit correspondant à la période de retour choisie.

C.II.2.2. Coefficients de Montana

Les coefficients de Montana utilisés sont ceux de la station de Labastide-Rouairoux décrits au paragraphe B.II.2.1.

C.II.2.3. Données SHYREG

Comme vu au paragraphe B.II.2, les données SHYREG ne nous semblent pas représentatives des cumuls statistiques pouvant survenir sur le bassin versant et ne seront donc pas utilisés.

C.III.CALAGE DU MODELE

C.III.1. Préambule

Le calage d'un modèle hydrologique consiste à ajuster les valeurs numériques attribuées aux paramètres des simulateurs pour reproduire au mieux les débits observés. Les débits simulés sont testés en faisant varier ces paramètres au moyen d'une procédure itérative afin de se rapprocher au maximum de chroniques de débits observées.

La principale difficulté ici provient du fait qu'un même jeu de paramètre de calage devra permettre d'obtenir des résultats satisfaisants pour les 6 événements retenus. Or, ces événements sont tous très différents en termes d'intensités, de durées et de répartitions spatiales.

Par ailleurs, certains phénomènes naturels ne peuvent pas être reproduits pas les modèles numériques.

Dans le cas présent, le modèle SCS n'a pas été conçu pour représenter les nappes et a principalement été développé pour réaliser le partage infiltration/ruissellement. En conséquence, les débits de base enregistrés ne pourront souvent pas être correctement reproduits sur les hydrogrammes modélisés.

On s'attachera donc à bien représenter la dynamique de propagation des écoulements dans le réseau hydrographique ainsi que les débits de pointe.

Enfin, au droit des stations du Syndicat, seules les observations de hauteur sont disponibles (en attente des courbes de tarage), les valeurs de débit ne pourront donc pas être comparées et seule la dynamique modélisée sera évaluée.

Remarque : les données à notre disposition au moment de la rédaction de ce rapport ne nous permettent pas d'intégrer dans les modélisations le fonctionnement des ouvrages EDF (St Peyres notamment). En l'absence de connaissance sur le niveau de remplissage initial, les modalités de gestion et les courbes hauteur-volume, le calage au Pont de Rigautou ne peut avoir lieu.

C.III.2. Mars 2011

Le Thoré au Pont de Rigautou

La station du Pont de Rigautou a présenté un dysfonctionnement durant l'événement de mars 2011 et l'hydrogramme n'est pas disponible au moment du pic de débit. Ce manque de donnée vient se cumuler à l'incertitude quant au rôle de la retenue de St-Peyres en ce point de calcul. En l'état, il n'est donc pas possible d'apporter des analyses plus poussées.

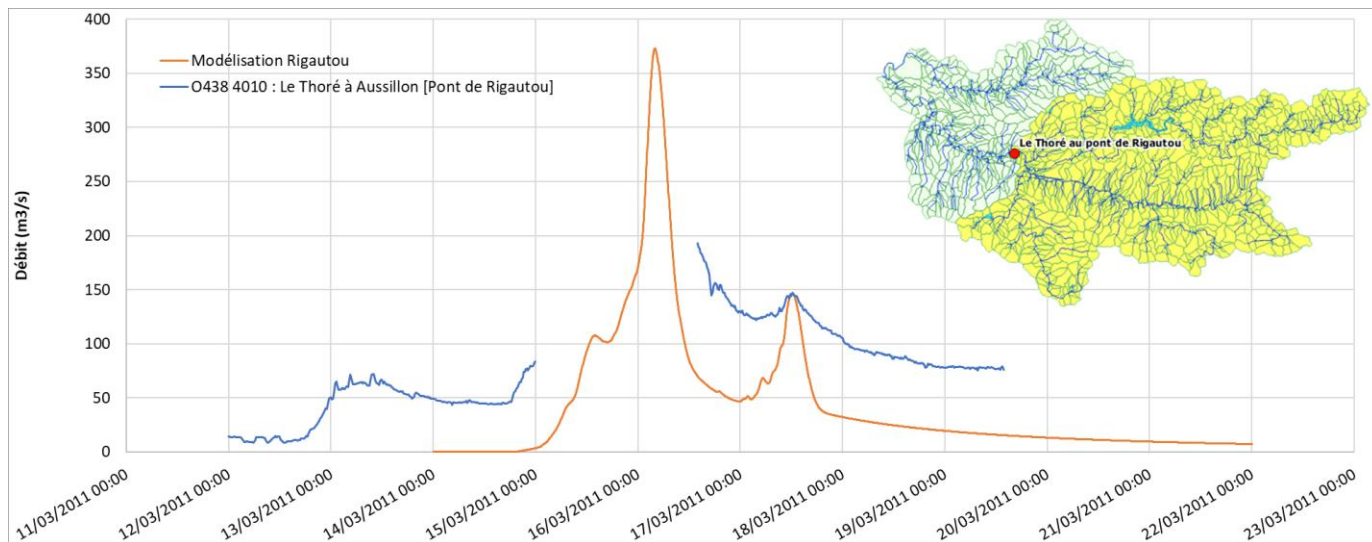


Illustration 52 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – mars 2011.

Le Thoré à Sauveterre

À Sauveterre le pic de débit n'a pas été enregistré mais le reste de l'hydrogramme a bien été récupéré. Le pic de débit produit par la modélisation apparaît avec la bonne dynamique. On note que le débit de base et la décrue sont mal reproduits, cela est lié à la structure du modèle et les équations mises en jeu qui ne permettent de prendre en compte que de manière très simplifiée les phénomènes de ressuyage des sols durant l'événement pluvieux.

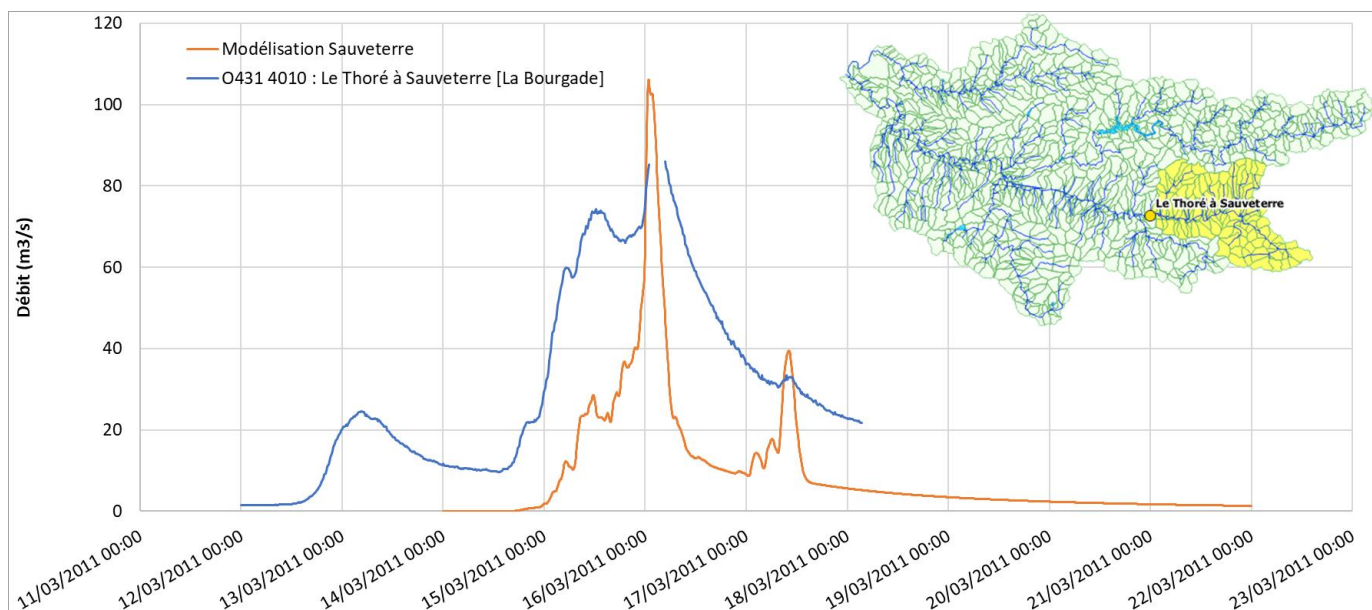


Illustration 53 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – mars 2011.

Le Thoré à Labastide

L'enregistrement des hauteurs d'eau à Labastide a connu quelques coupures durant l'événement rendant délicate l'exploitation.

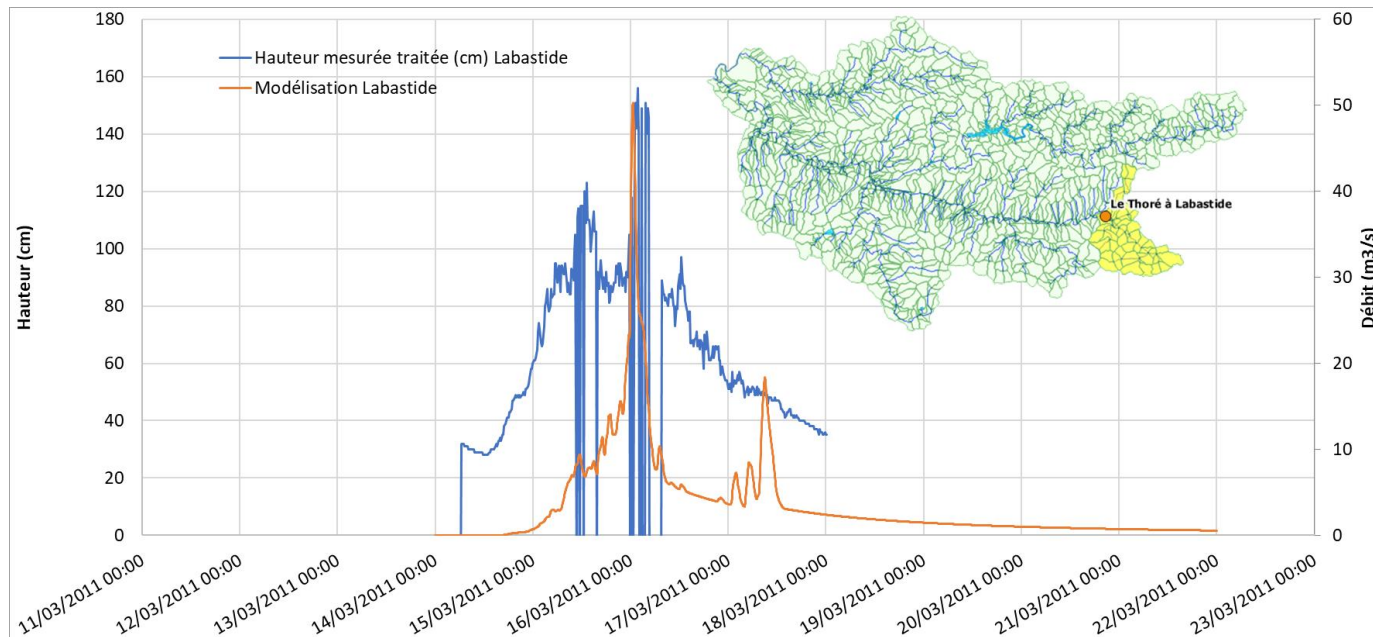


Illustration 54 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide – mars 2011.

Le Thoré à St-Amans

A St-Amans, la courbe des hauteurs d'eau observées durant l'événement est nette et ne présente aucun dysfonctionnement. Les débits modélisés suivent une allure de courbe comparable et le pic de débit se produit au même moment que le pic de hauteur observé.

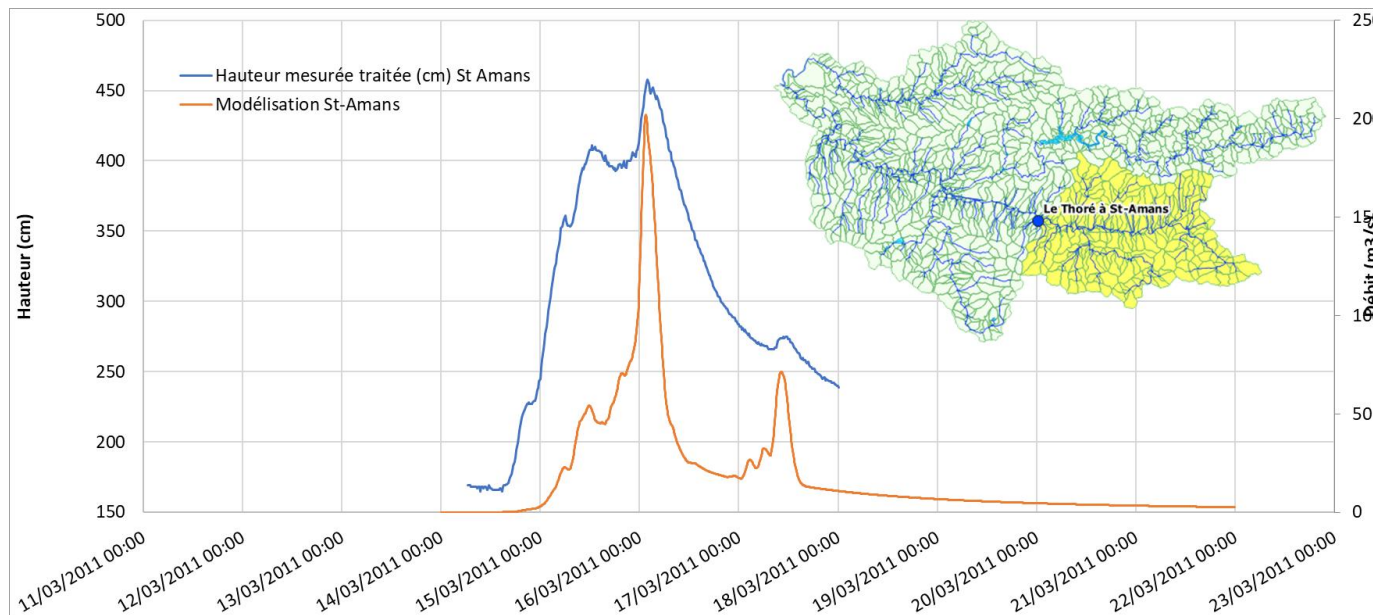


Illustration 55 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans – mars 2011.

Le ruisseau de Candesoubre à Albine

L'enregistrement des hauteurs d'eau à Albine a connu quelques coupures durant l'événement rendant délicate l'exploitation. Le pic de débit modélisé et le pic de hauteur observé se produisent au même moment.

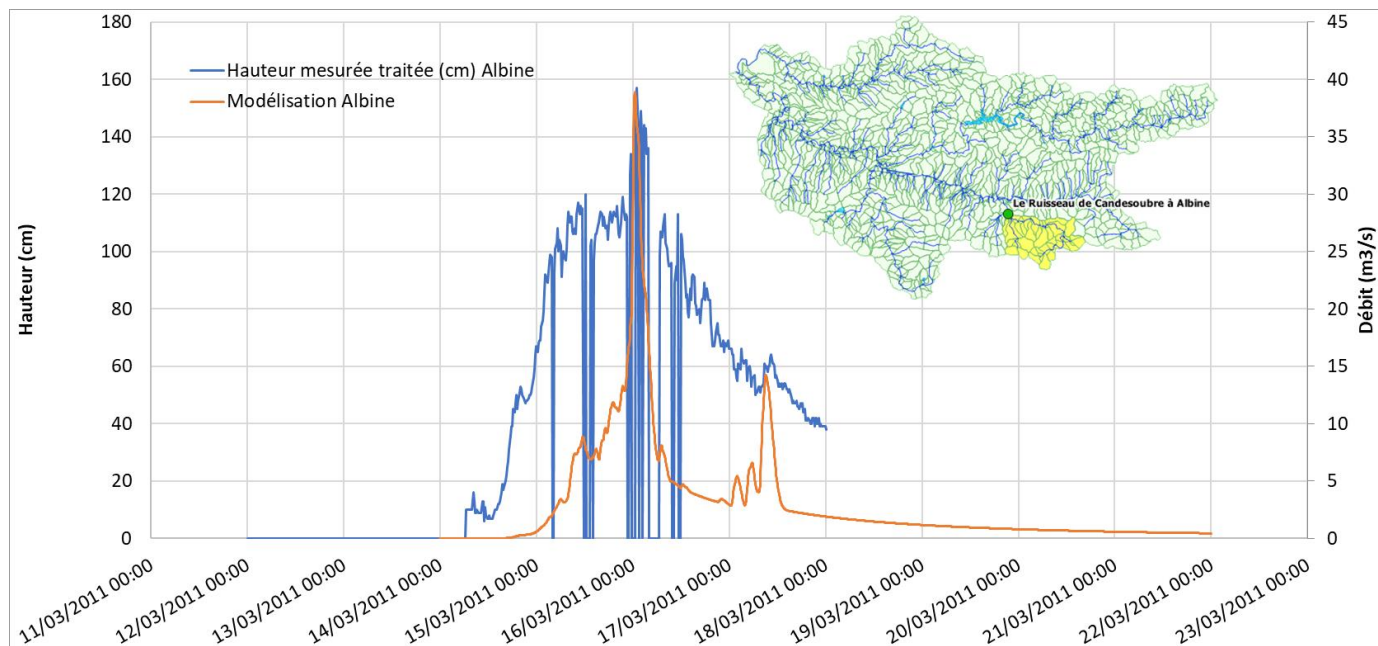


Illustration 56 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine – mars 2011.

C.III.3. Mai 2013

Le Thoré au Pont de Rigautou

Au pont de Rigautou, en dehors du débit de base qui n'est pas représenté, l'allure de l'hydrogramme est très satisfaisante avec un pic de débit et une dynamique qui suit bien la courbe observée.

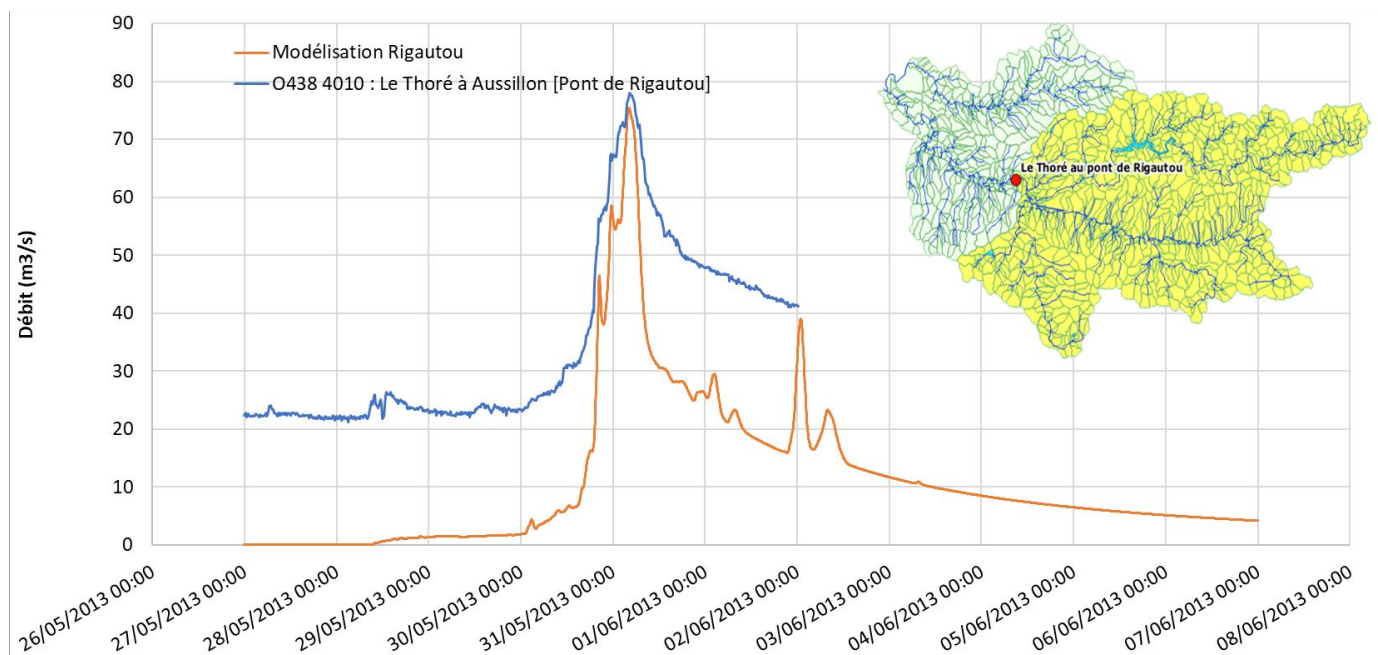


Illustration 57 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – mai 2013.

Le Thoré à Sauveterre

A Sauveterre, les débits sont très faibles et le débit de base est presque prédominant. Le modèle peine donc à bien reproduire l'hydrogramme en ce point de calcul. Toutefois, le pic de débit se produit au bon moment et la dynamique modélisée semble cohérente avec les débits observés.

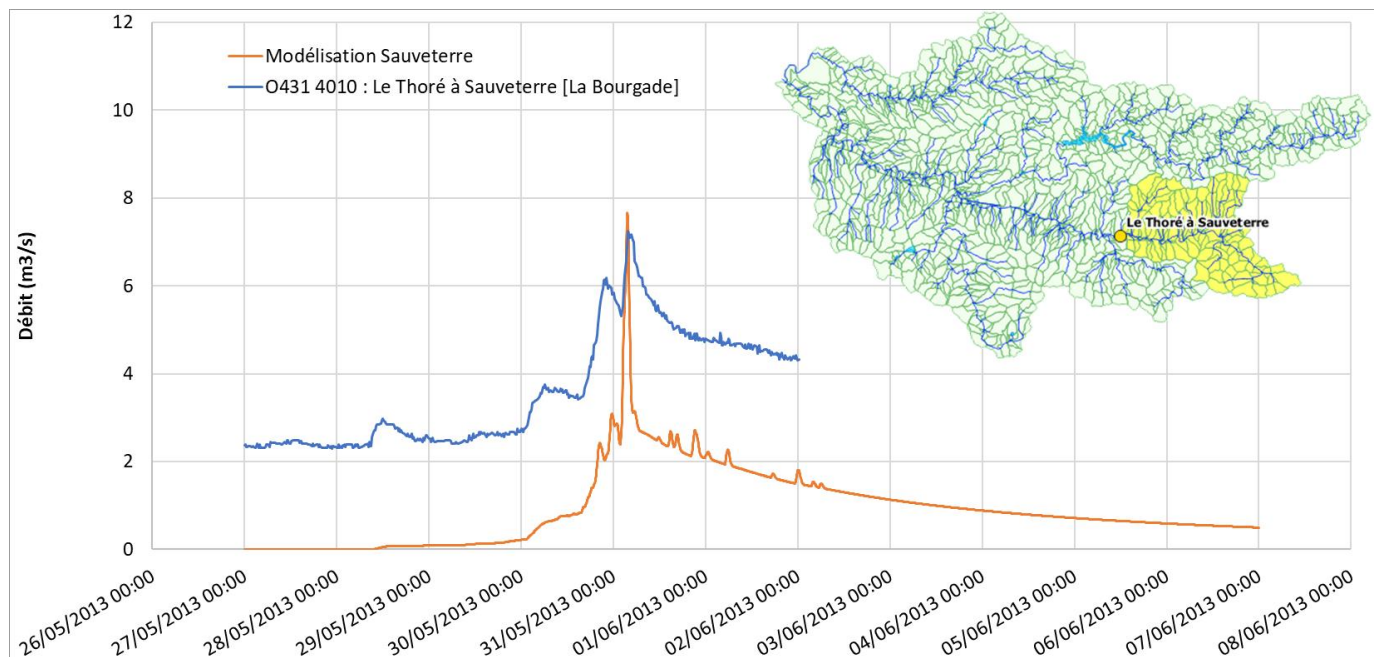


Illustration 58 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – mai 2013.

Le Thoré à Labastide

La station de Labastide semble avoir présenté un dysfonctionnement au cours de l'événement, il est donc délicat d'effectuer des analyses poussées au droit de cette station. La montée de l'hydrogramme et le moment d'apparition du pic semble cohérent entre observation et modélisation.

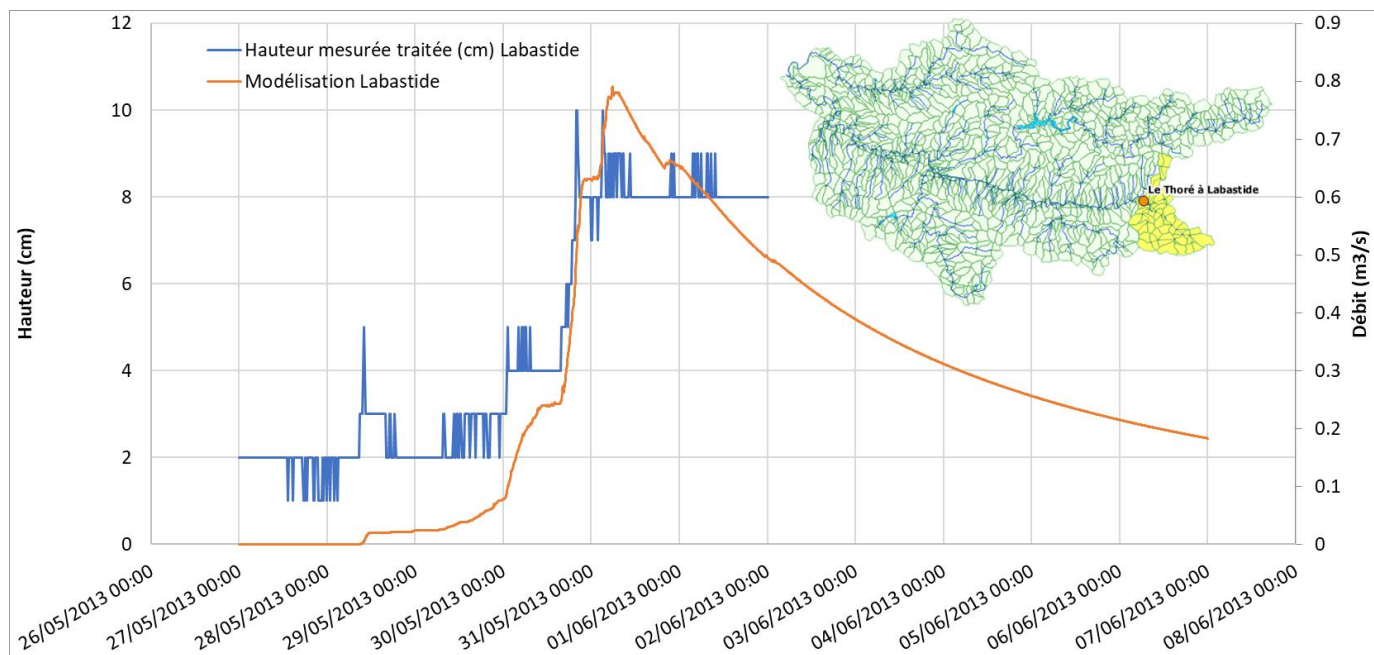


Illustration 59 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide – mai 2013.

Le Thoré à St-Amans

A St-Amans la station a également présenté des dysfonctionnements mais la montée et le pic de débit semble cohérent entre modélisation et observation.

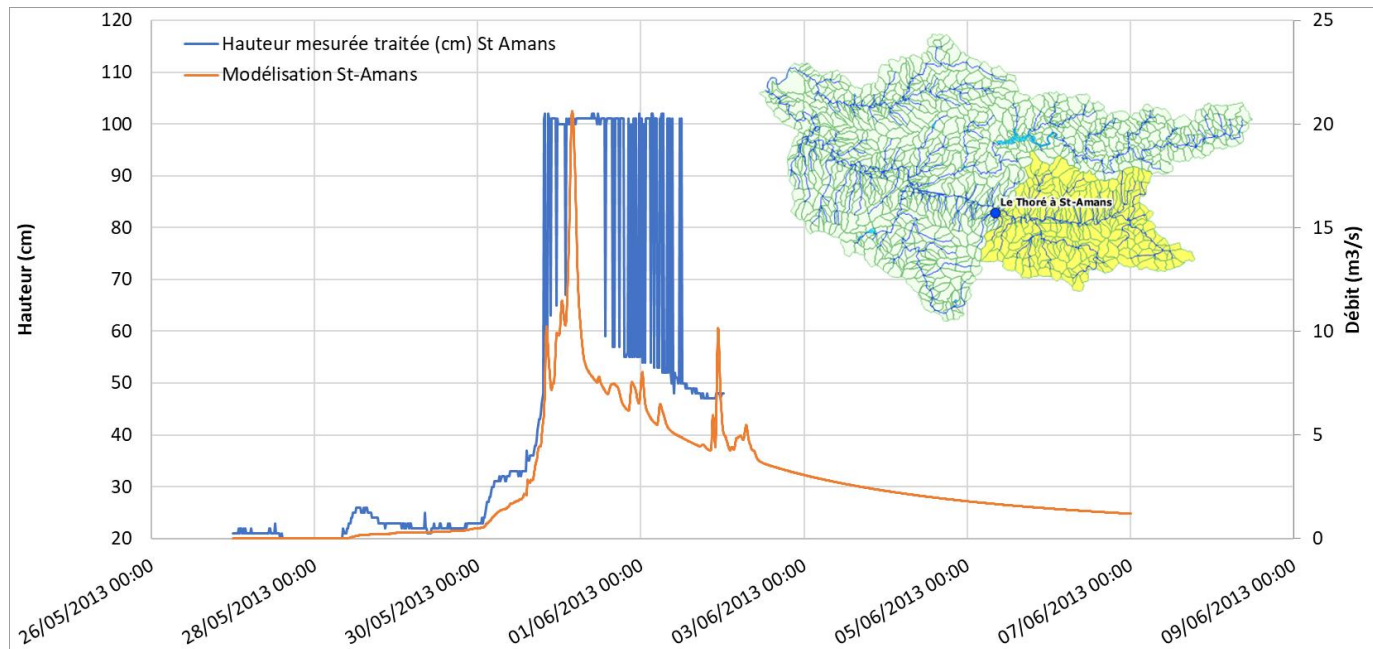


Illustration 60 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans – mai 2013.

Le ruisseau de Candesoubre à Albine

A Albine la station a bien enregistré les hauteurs d'eau. L'hydrogramme modélisé suit une forme de courbe très proche de celle observée avec une dynamique bien reproduite et un pic de débit se produisant au même moment que le pic de hauteur observé.

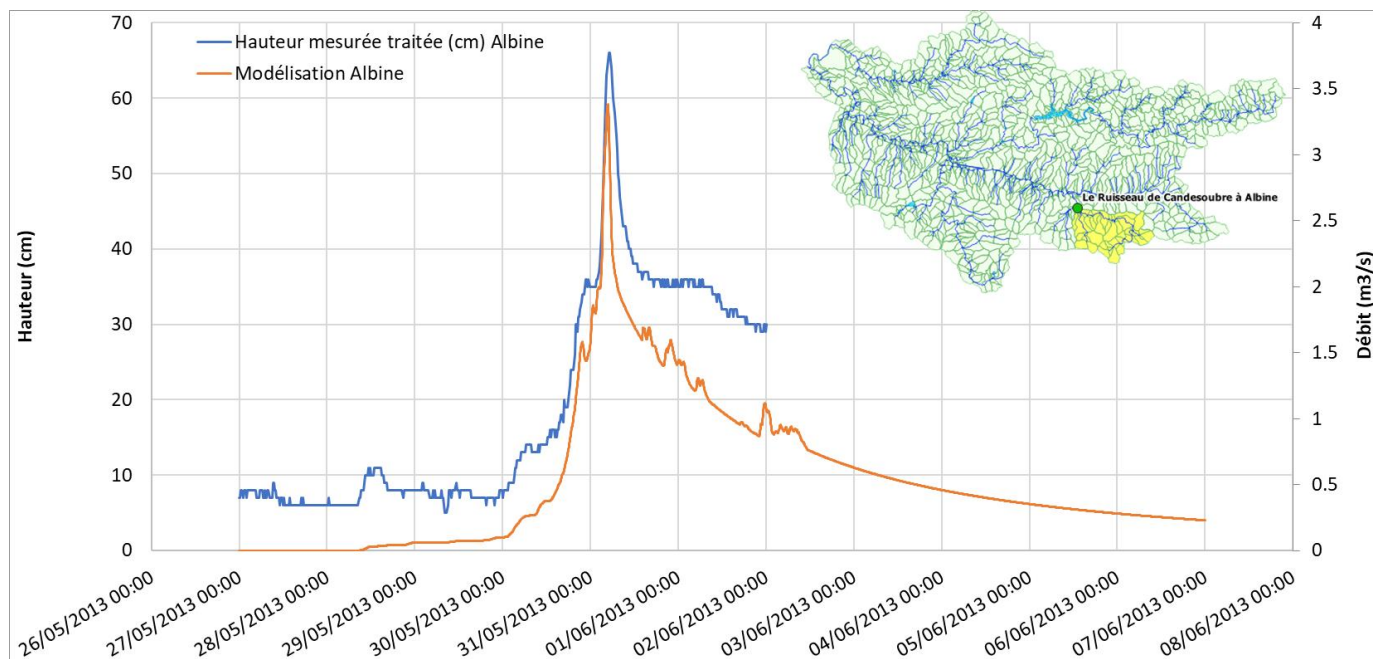


Illustration 61 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine – mai 2013.

C.III.4. Février 2017

Le Thoré au Pont de Rigautou

Au pont de Rigautou une grande incertitude demeure quant au rôle du Lac de St-Peyres et pouvant expliquer les forts écarts entre l'hydrogramme observé et l'hydrogramme modélisé.

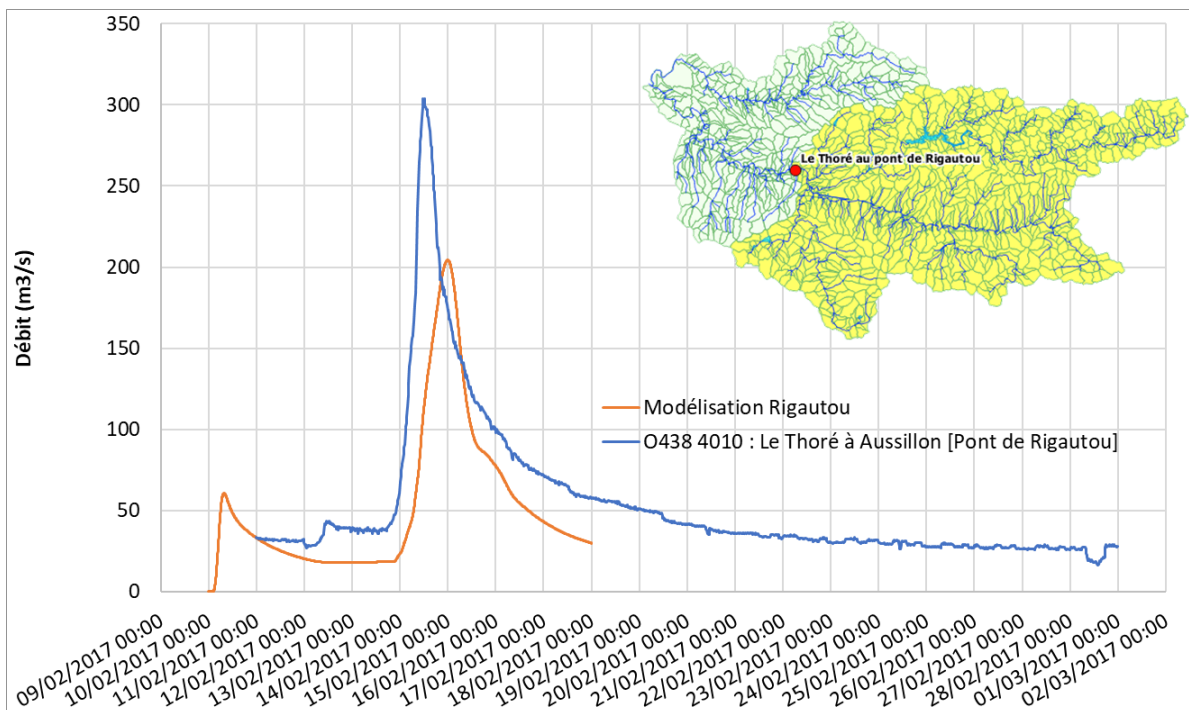


Illustration 62 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – février 2017.

Le Thoré à Sauveterre

A Sauveterre, le pic de débit n'a pas été enregistré (coupure de la station) mais la comparaison avec l'hydrogramme modélisé permet de dire que le modèle reproduit bien la dynamique observée (pic de débit au bon moment) et avec des ordres de grandeur de débit très cohérents.

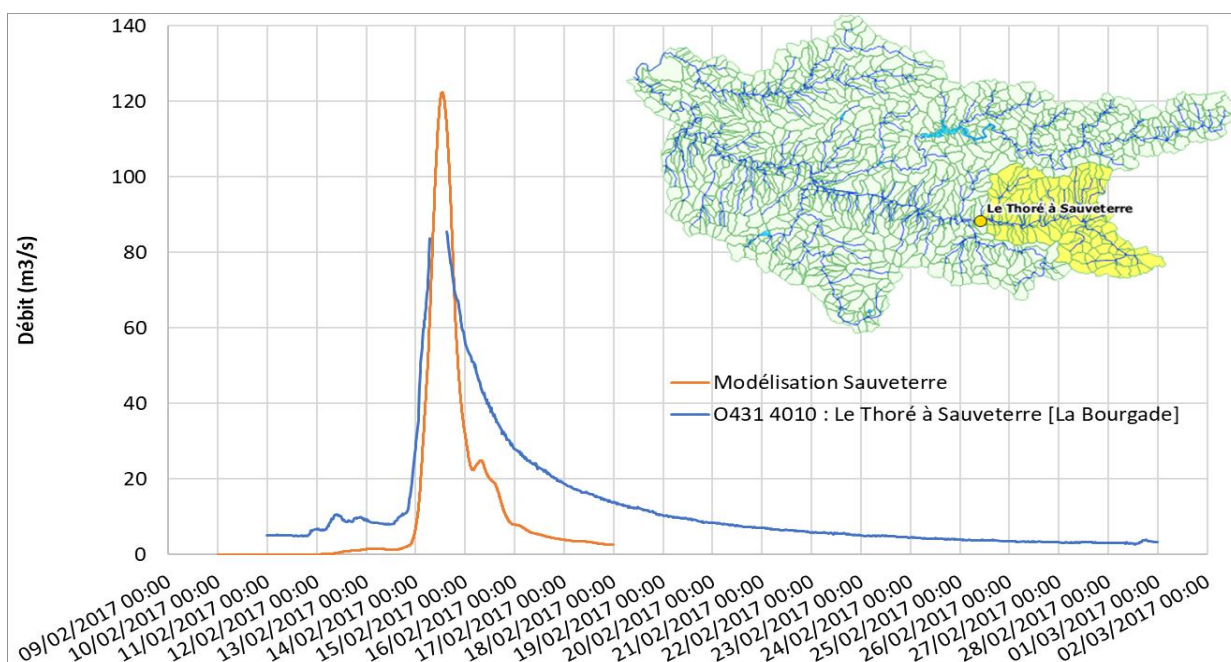


Illustration 63 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – février 2017.

Le Thoré à Labastide

A Labastide, seules les hauteurs d'eau mesurées sont disponibles. Celle-ci permettent de valider la dynamique modélisée qui est très bien reproduite : montée de la crue et pic de débit se produisent au bon moment.

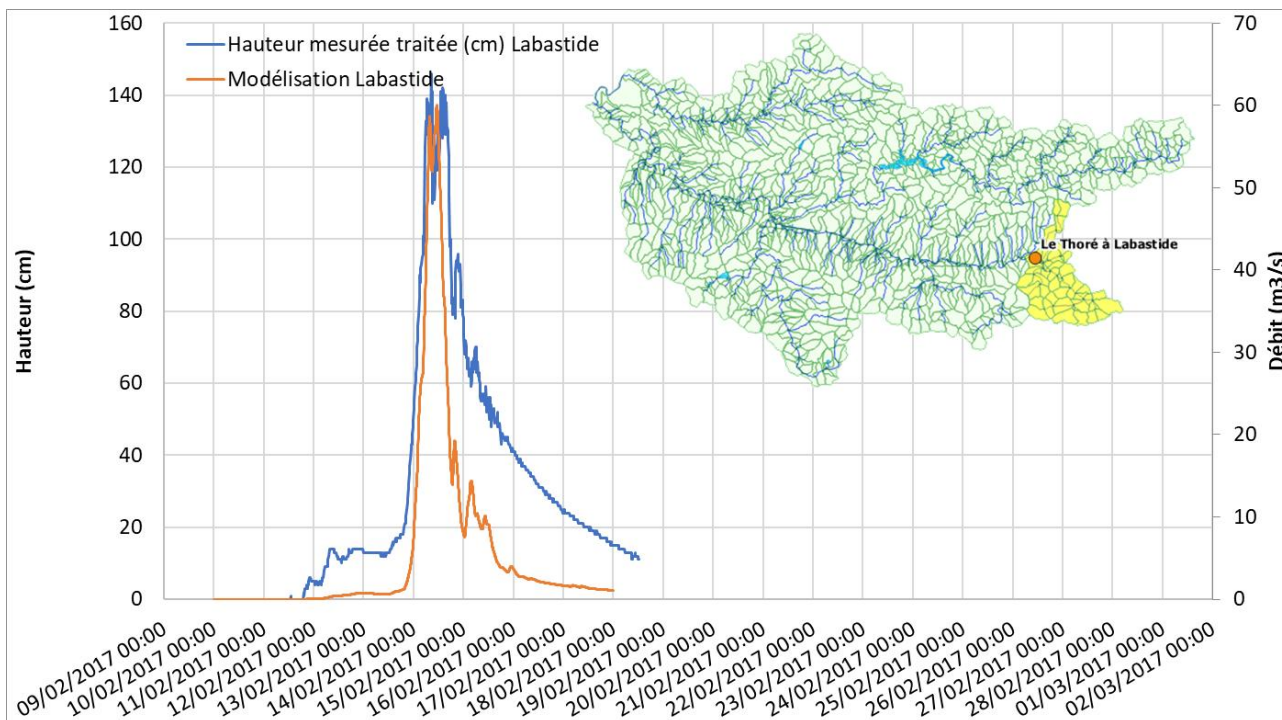


Illustration 64 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –février 2017.

Le Thoré à St-Amans

La station de St-Amans était hors service au moment de l'événement de février 2017 et aucune hauteur d'eau n'a été enregistrée.

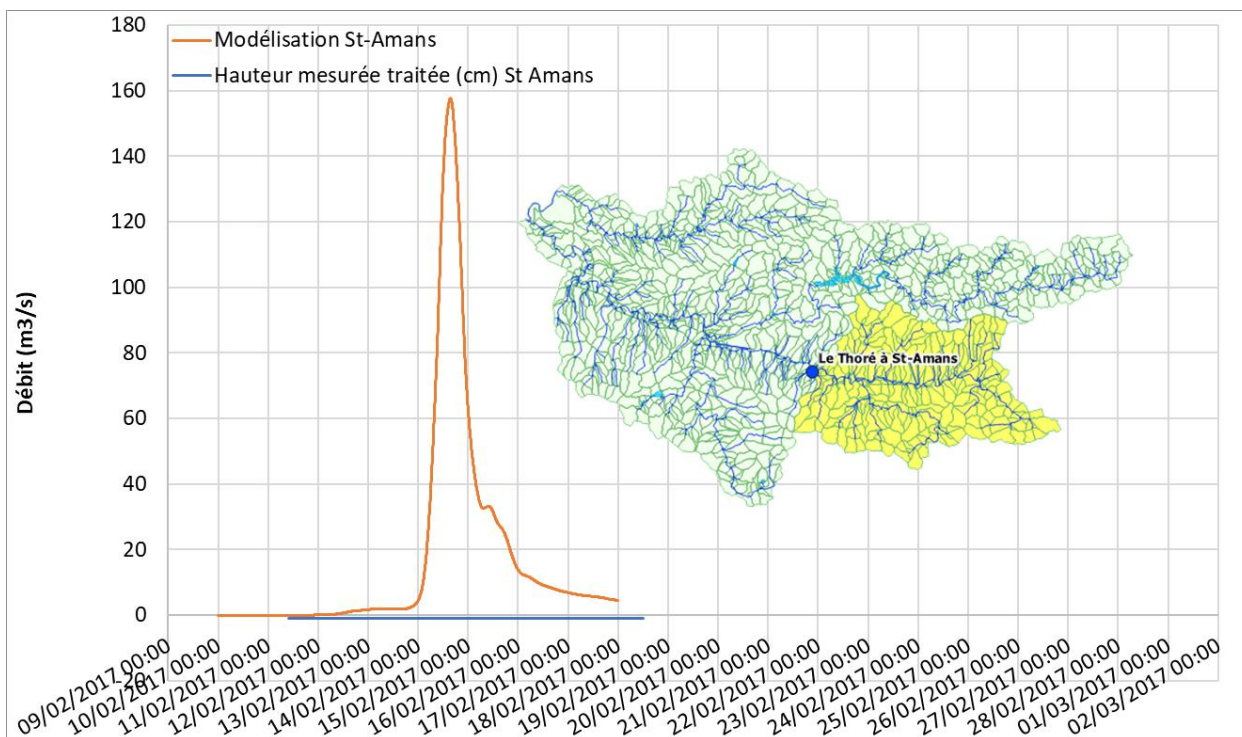


Illustration 65 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –février 2017.

Le ruisseau de Candesoubre à Albine

A Albine la montée en crue modélisée présente un très léger retard mais le pic de débit se produit au bon moment. La dynamique est donc jugée bien reproduite en ce point de calcul.

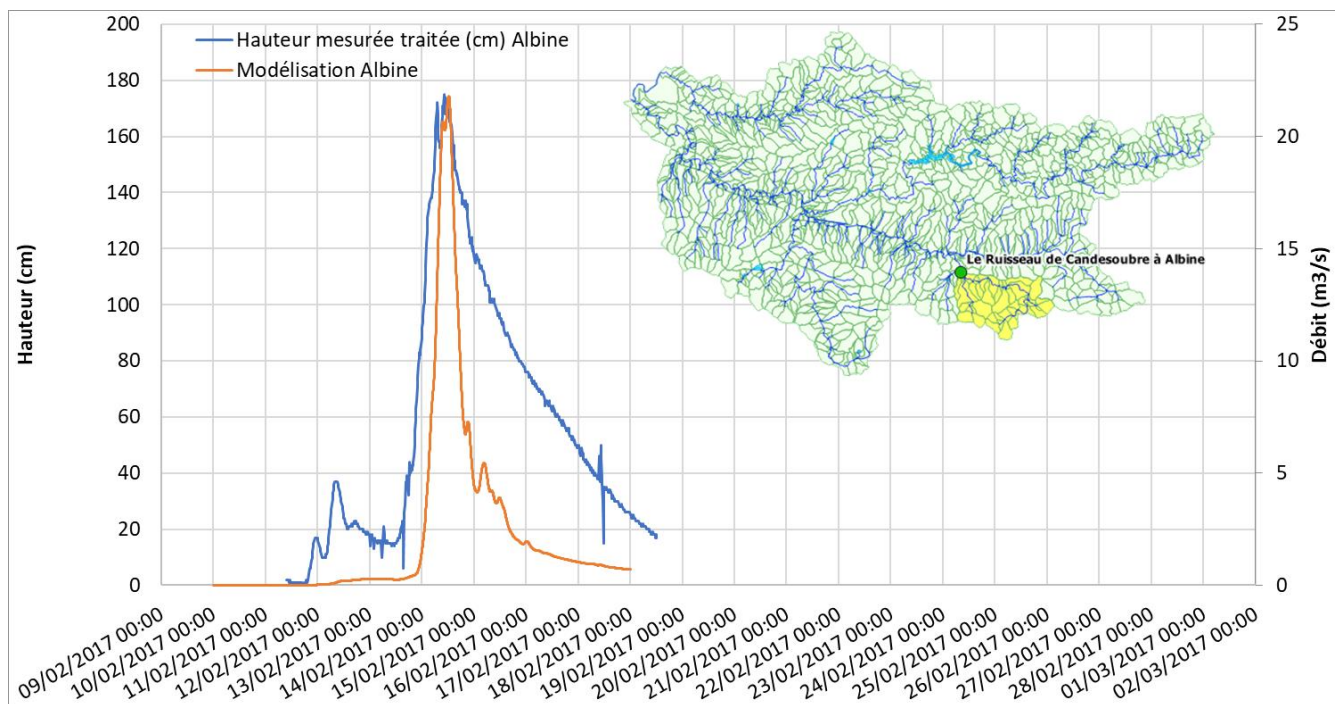


Illustration 66 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –février 2017.

C.III.5. Octobre 2018

Le Thoré au Pont de Rigautou

Au pont de Rigautou nous sommes en attente des éléments sur le fonctionnement du Lac de St-Peyres susceptible de jouer un rôle significatif. En l'état, les paramètres du modèle permettent de produire un hydrogramme satisfaisant en ce point de calcul.

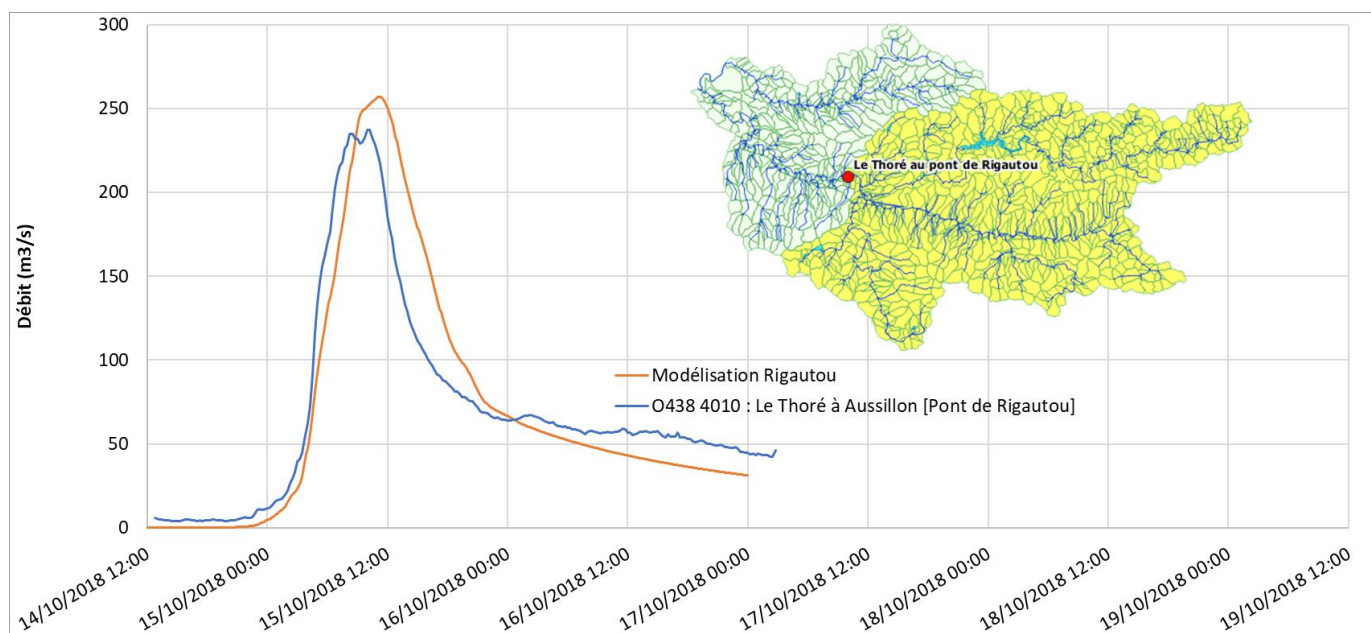


Illustration 67 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – octobre 2018.

Le Thoré à Sauveterre

A Sauveterre, l'hydrogramme modélisé est très satisfaisant avec une dynamique bien reproduite et des valeurs de débits cohérentes avec les observations.

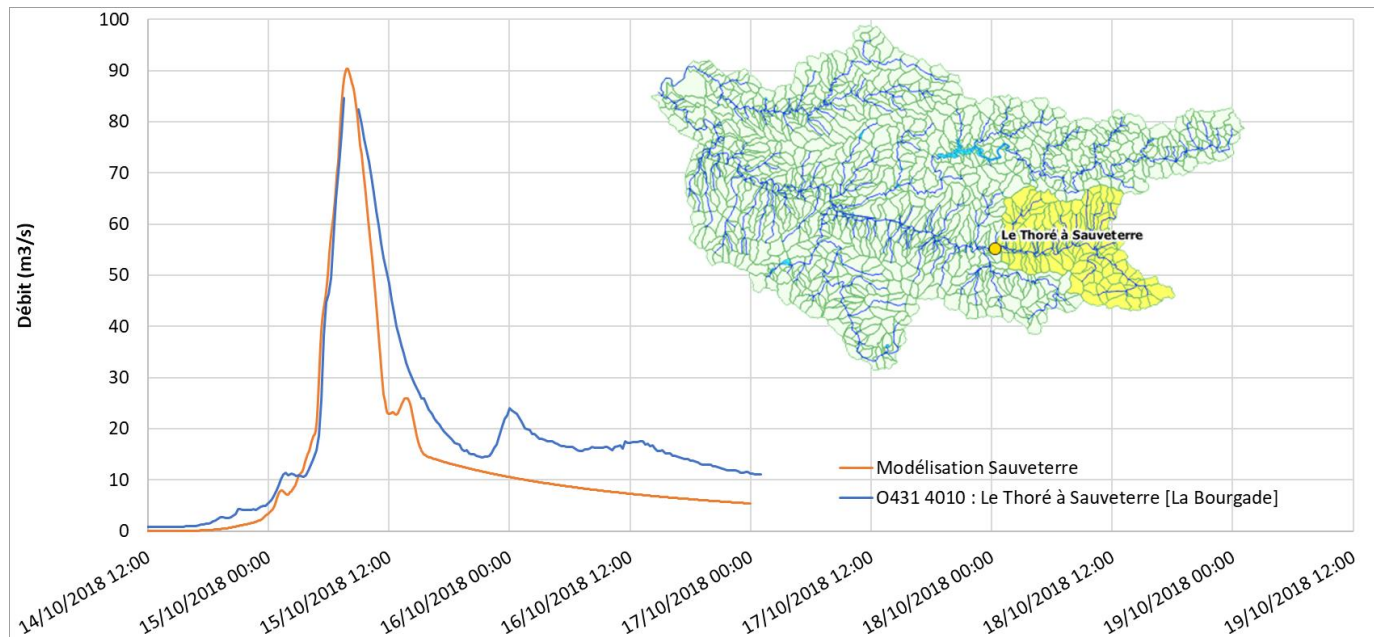


Illustration 68 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – octobre 2018.

Le Thoré à Labastide

A Labastide, la montée en crue est très bien reproduite en termes de dynamique (pic se produisant au bon moment). En revanche la décrue souffre semble être sous-estimée, ainsi que le débit de base mais ce phénomène ne peut pas être reproduit par le modèle.

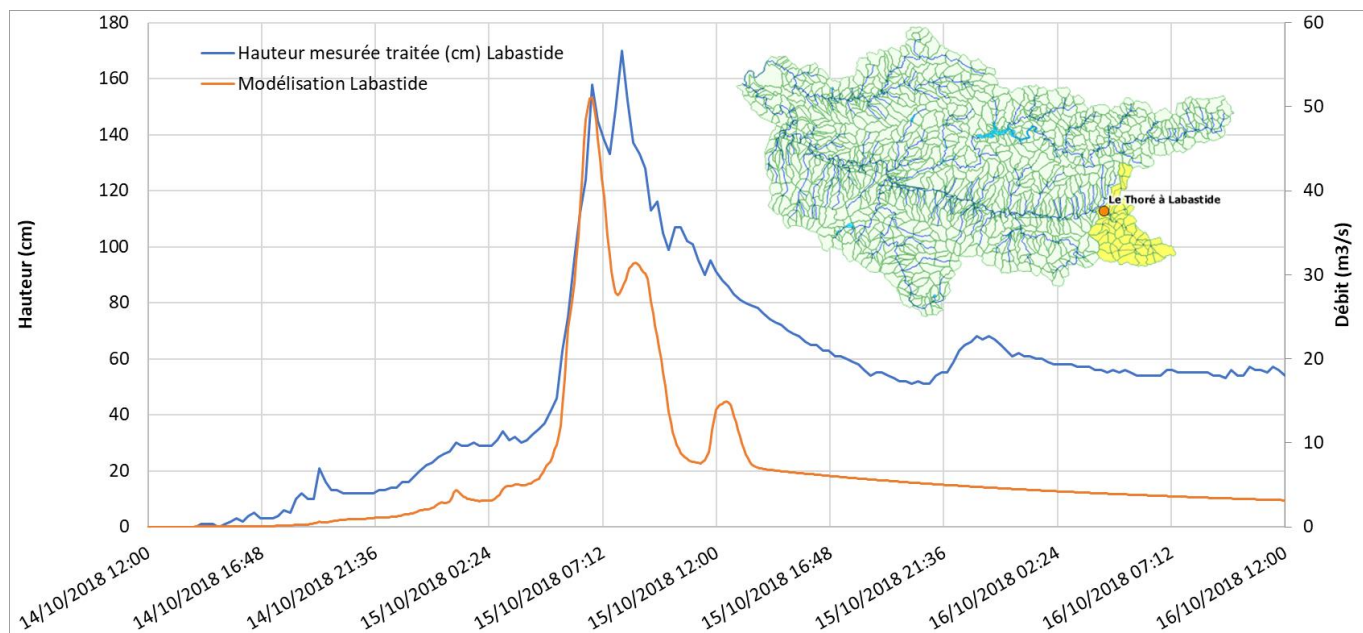


Illustration 69 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide – octobre 2018.

Le Thoré à St-Amans

A St-Amans la forme de l'hydrogramme est très satisfaisant vis-à-vis des hauteurs observées au droit de la station de mesure. Le pic de débit se produit au même moment qu'apparaît la hauteur maximale observée.

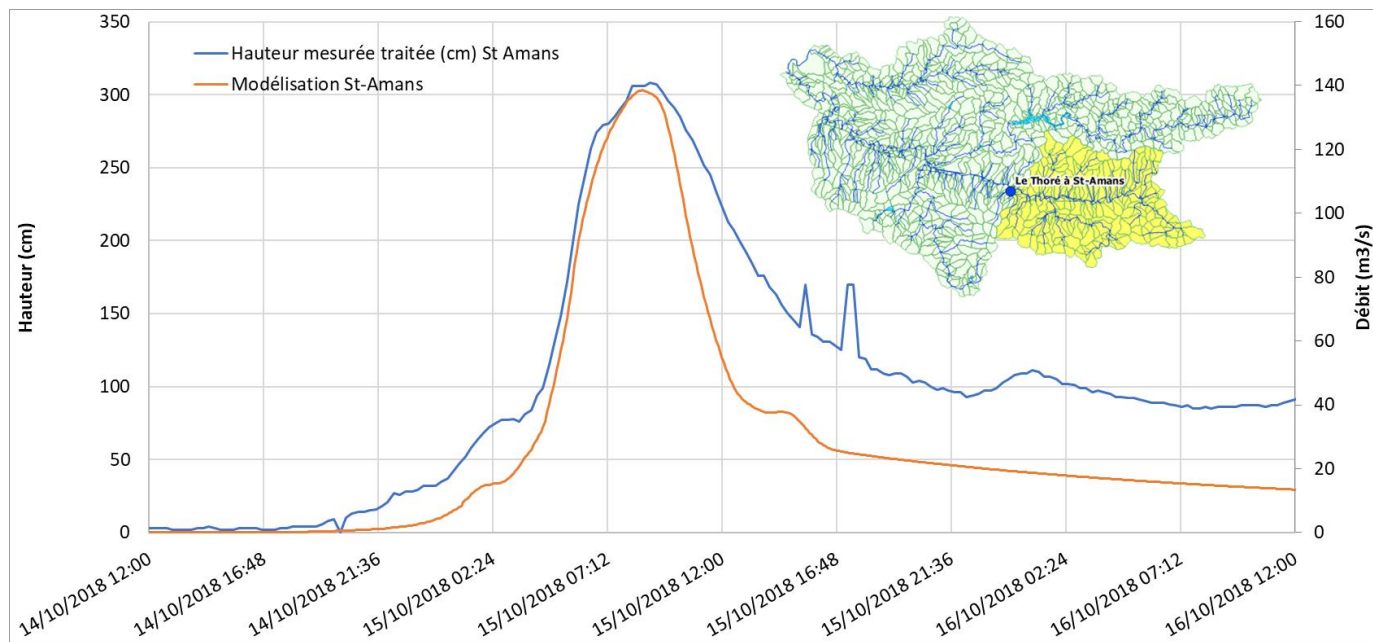


Illustration 70 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –octobre 2018.

Le ruisseau de Candessous à Albine

A Albine l'hydrogramme modélisé suit bien la dynamique observée au moment de la montée et du pic, ce qui est très satisfaisant.

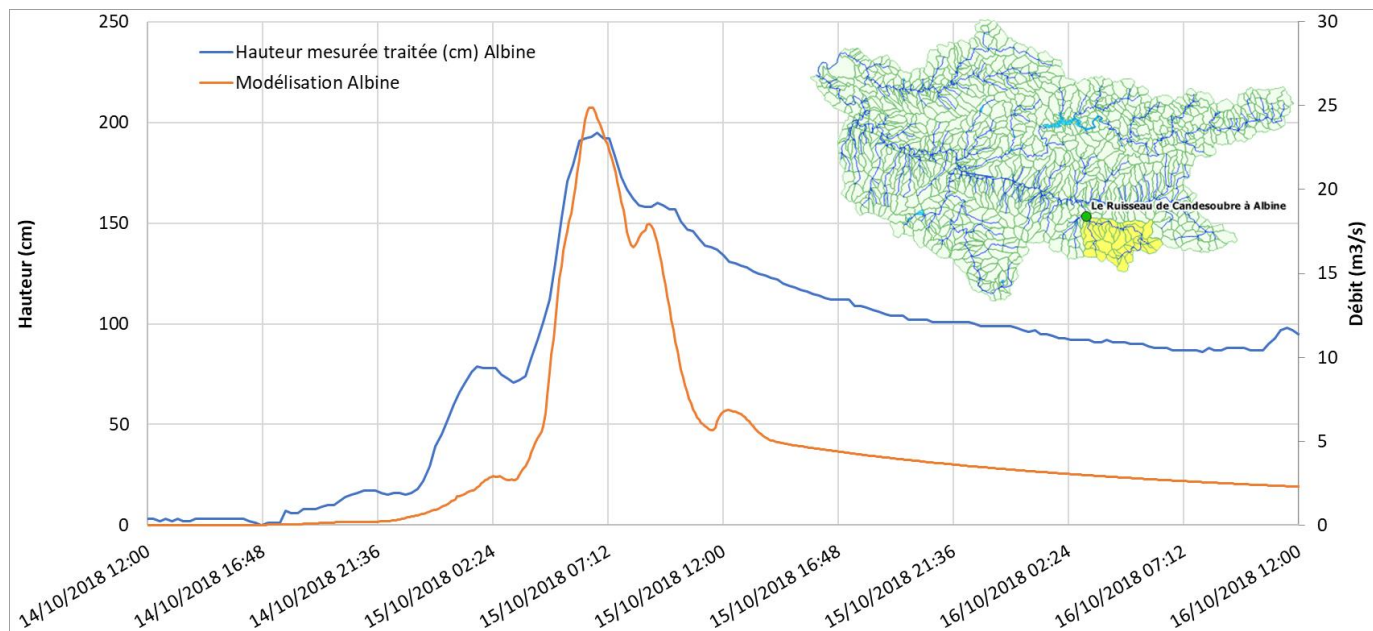


Illustration 71 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –octobre 2018.

C.III.6. Mai 2020

Le Thoré au Pont de Rigautou

Au pont de Rigautou les débits semblent être sous-estimés par le modèle. Cela sera à confirmer lorsque les modalités de gestion des ouvrages hydro-électriques (en particulier le Lac de St-Peyres) seront connues car elles ont une incidence significative sur les résultats de la modélisation.

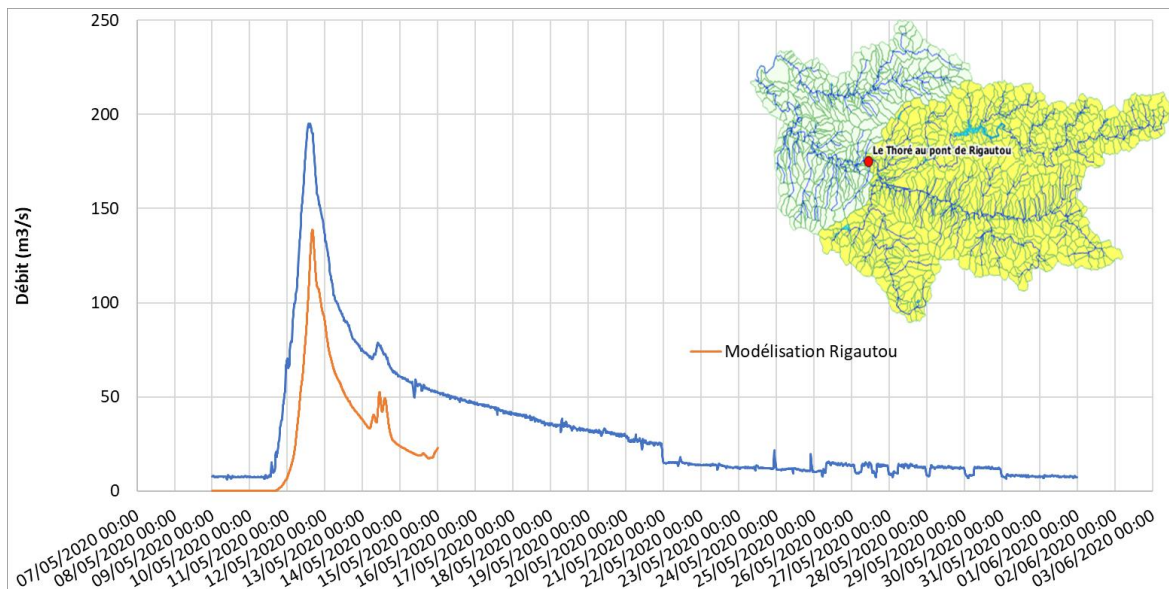


Illustration 72 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – mai 2020.

Le Thoré à Sauveterre

A Sauveterre l'hydrogramme modélisé est très proche de l'hydrogramme observé. La dynamique est très bien reproduite (montée et pic de crue). Seul le débit de pointe semble présenter une légère surrestimation.

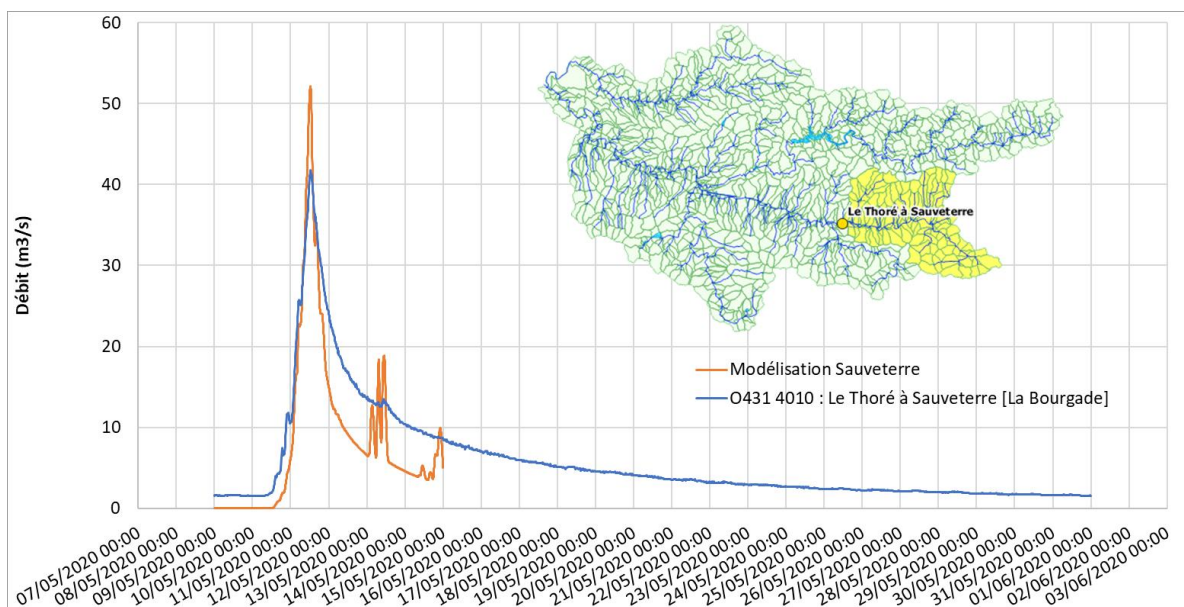


Illustration 73 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – mai 2020.

Le Thoré à Labastide

A Labastide la dynamique est satisfaisante au niveau de la montée et du pic de crue.

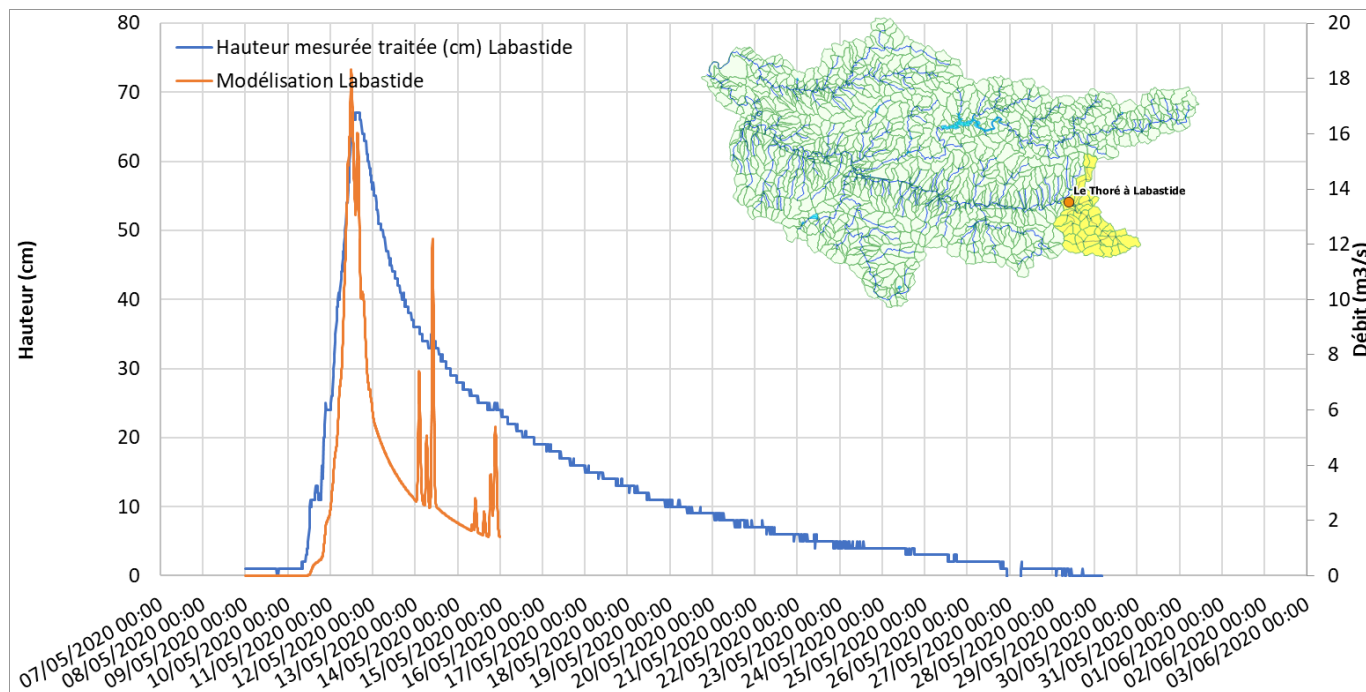


Illustration 74 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –mai 2020.

Le Thoré à St-Amans

A St-Amans, l'hydrogramme modélisé présente une dynamique cohérente avec une forme d'hydrogramme proche de la courbe des hauteurs d'eau observées, ce qui est très satisfaisant.

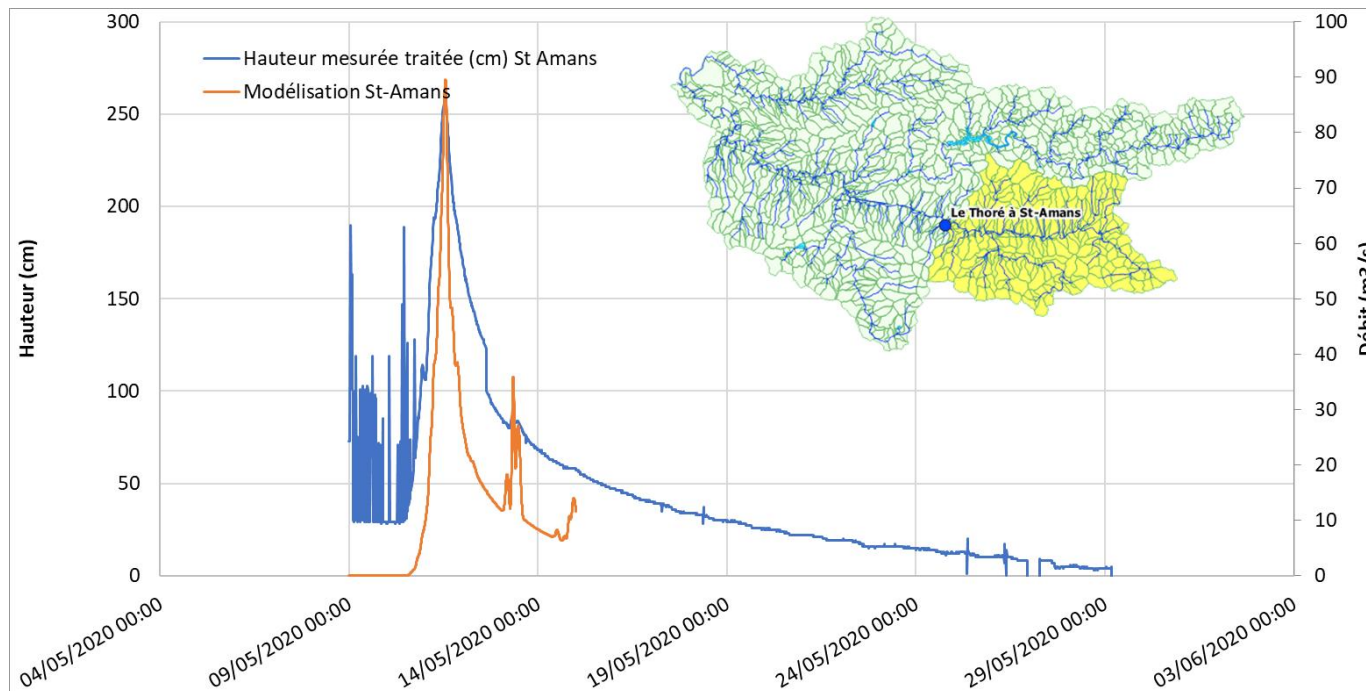


Illustration 75 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –mai 2020.

Le ruisseau de Candesoubre à Albine

Le constat est identique à Albine avec une dynamique satisfaisante et une forme d'hydrogramme proche de la courbe des hauteurs d'eau observées.

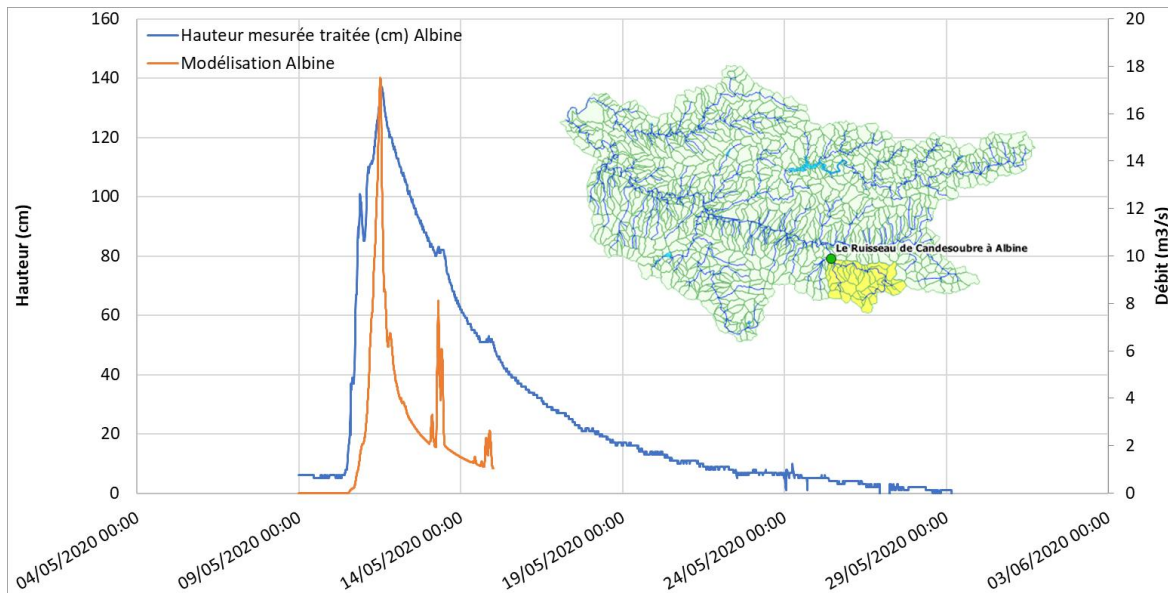


Illustration 76 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –mai 2020.

C.III.7. Janvier 2021

Le Thoré au Pont de Rigautou

L'hydrogramme modélisé au pont de Rigautou est satisfaisant en termes de dynamique. Le débit de base et le débit de pointe présentent des écarts avec les observations, phénomène lié à la présence du Lac de St-Peyres et à l'incapacité du modèle à simuler les nappes.

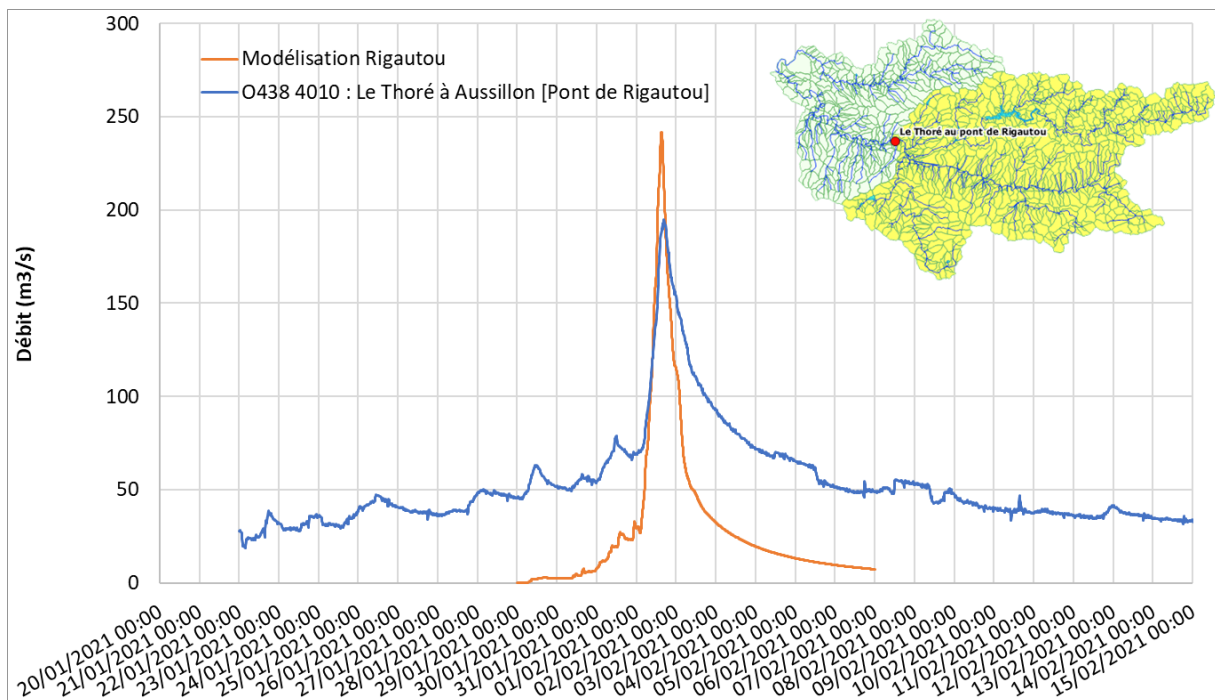


Illustration 77 : Hydrogrammes observés et modélisés au pont de Rigautou – janvier 2021.

Le Thoré à Sauveterre

A Sauveterre l'hydrogramme modélisé est très satisfaisant, à la fois en termes de dynamique et de débit de pointe.

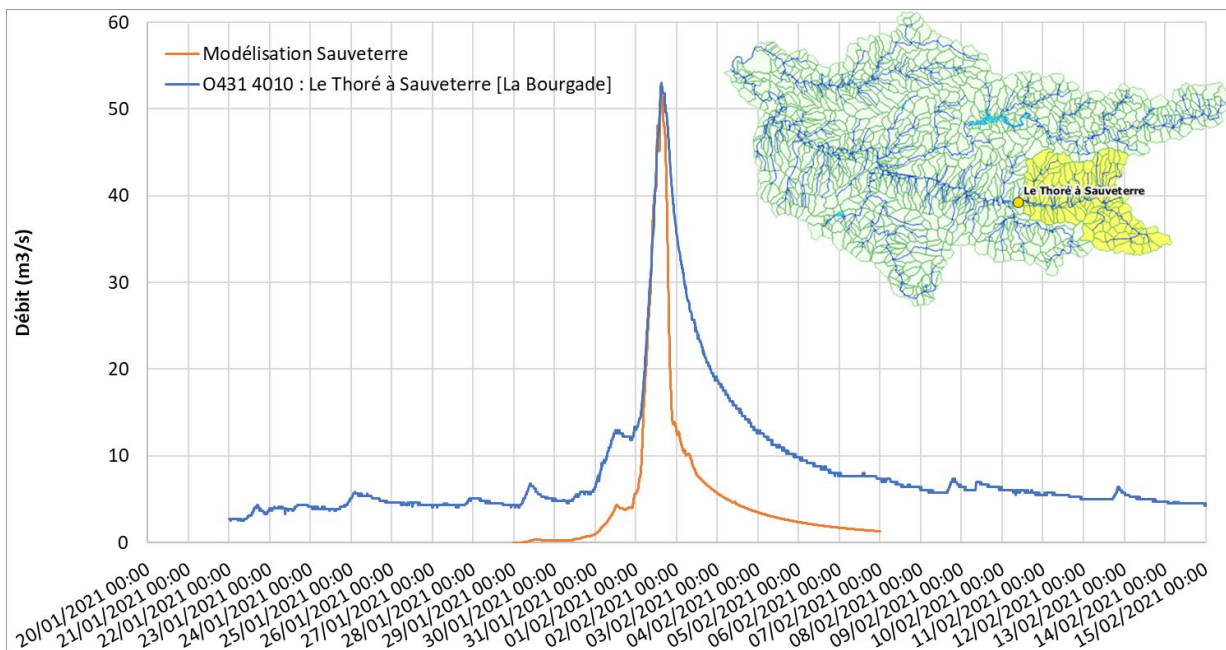


Illustration 78 : Hydrogrammes observés et modélisés à Sauveterre – janvier 2021.

Le Thoré à Labastide

A Labastide, la comparaison entre l'hydrogramme modélisé et la courbe des hauteurs d'eau observées montre que la dynamique est bien représentée.

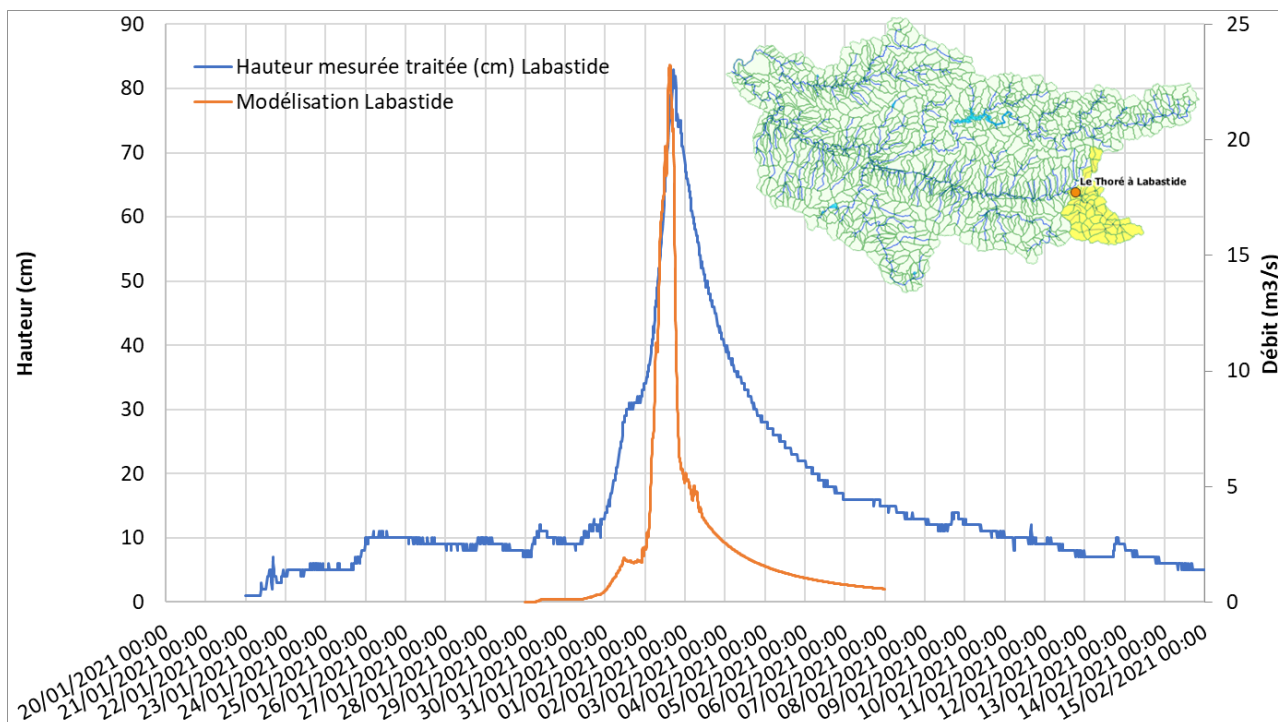


Illustration 79 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Labastide –janvier 2021.

Le Thoré à St-Amans

A St-Amans, la comparaison entre l'hydrogramme modélisé et la courbe des hauteurs d'eau observées montre que la dynamique est bien représentée.

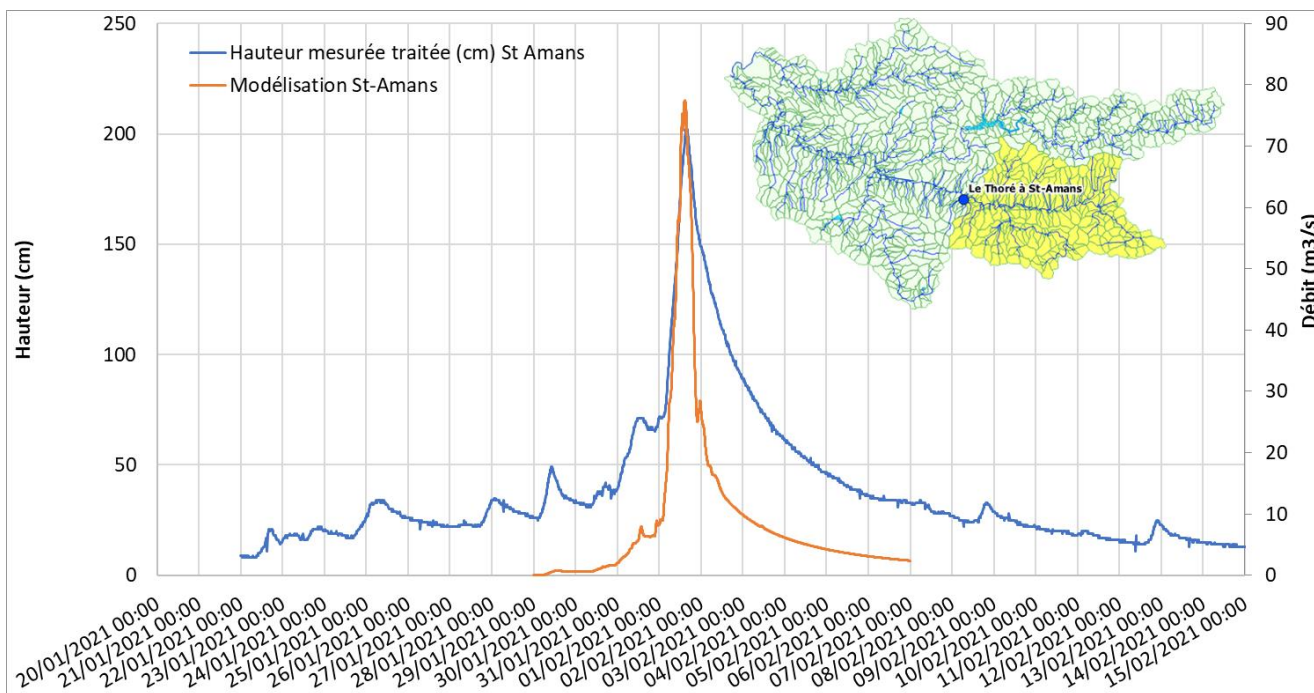


Illustration 80 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à St-Amans –janvier 2021.

Le ruisseau de Candessous à Albine

A Albine, la comparaison entre l'hydrogramme modélisé et la courbe des hauteurs d'eau observées montre que la dynamique est bien représentée.

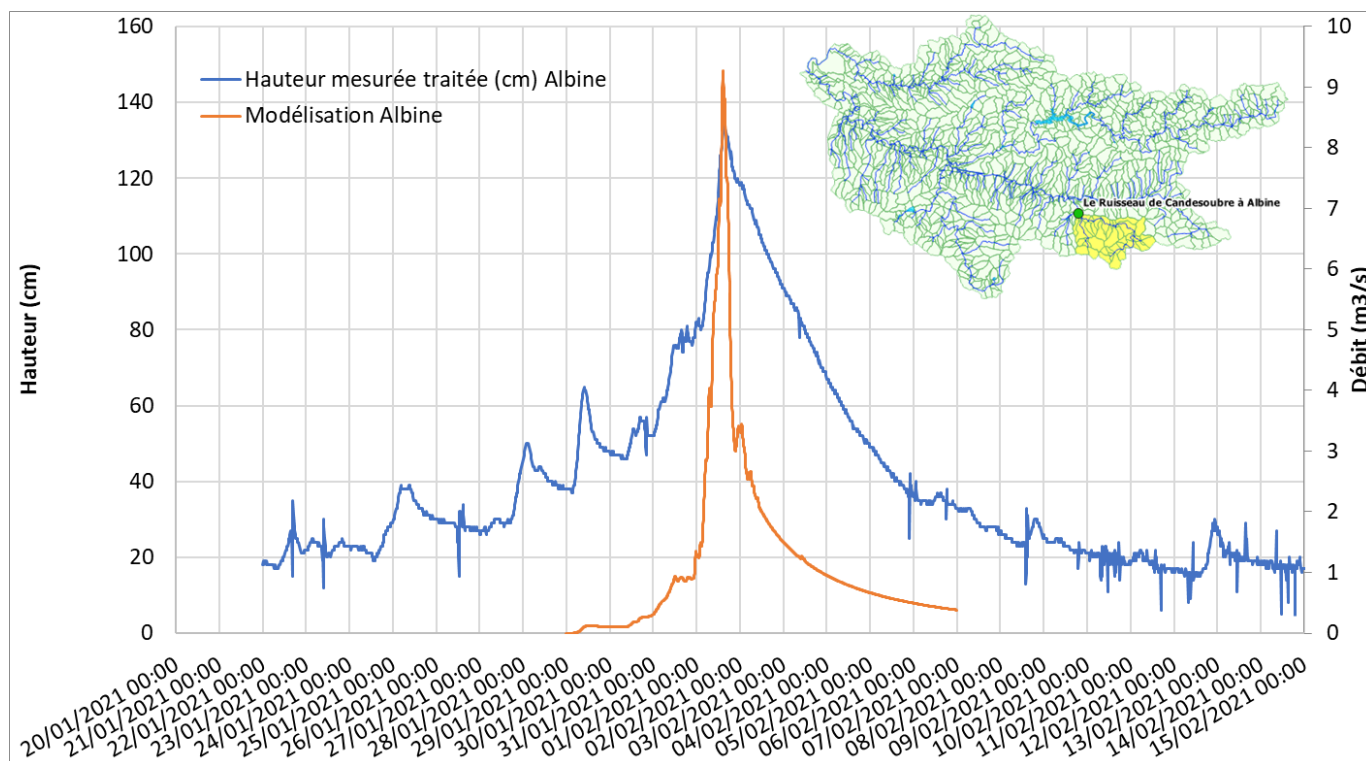


Illustration 81 : Hauteurs d'eau observées et hydrogramme modélisé à Albine –janvier 2021.

C.III.8. Conclusions sur le calage du modèle

Les résultats obtenus pour les 6 événements de calage sont jugés satisfaisants. En premier lieu car les hydrogrammes modélisés présentent la bonne dynamique en comparaison avec les observations.

Ponctuellement, des écarts sont identifiés. En l'état des connaissances il est toutefois difficile de faire la part entre les différents phénomènes intervenant dans la chaîne de modélisation hydrologique :

- Pluviomètres ponctuels insuffisamment représentatifs de la pluviométrie réelle.
- Erreur d'acquisition au droit des stations de mesure.
- Incapacité du modèle à représenter certains phénomènes.
- Rôles des ouvrages et modalités de gestion encore inconnus.

C.IV.EXPLOITATION POUR LES PLUIES DE PROJET

Dans ce chapitre on présente les résultats obtenus par modélisation de pluie statistiques construites sur la base des coefficients de Montana de la station de Labastide-Rouairoux.

Le principal objectif de cet exercice consiste en premier lieu à identifier les temps de propagation entre les différentes zones à enjeux. Pour cela, il est proposé de tester différentes configurations de pluies synthétiques.

C.IV.1. Définition des scénarios de pluies

Comme vu au paragraphe C.II.2, nous utiliserons ici des pluies de Keiffer de durée totale de 72h et différentes périodes de retour seront étudiées (5 à 100 ans).

Trois principaux scénarios répartition spatiale de la pluie seront simulés :

- Pluie homogène sur le bassin versant ;
- Pluie centrée sur la partie amont du bassin ;
- Pluie centrée sur la partie aval du bassin versant.

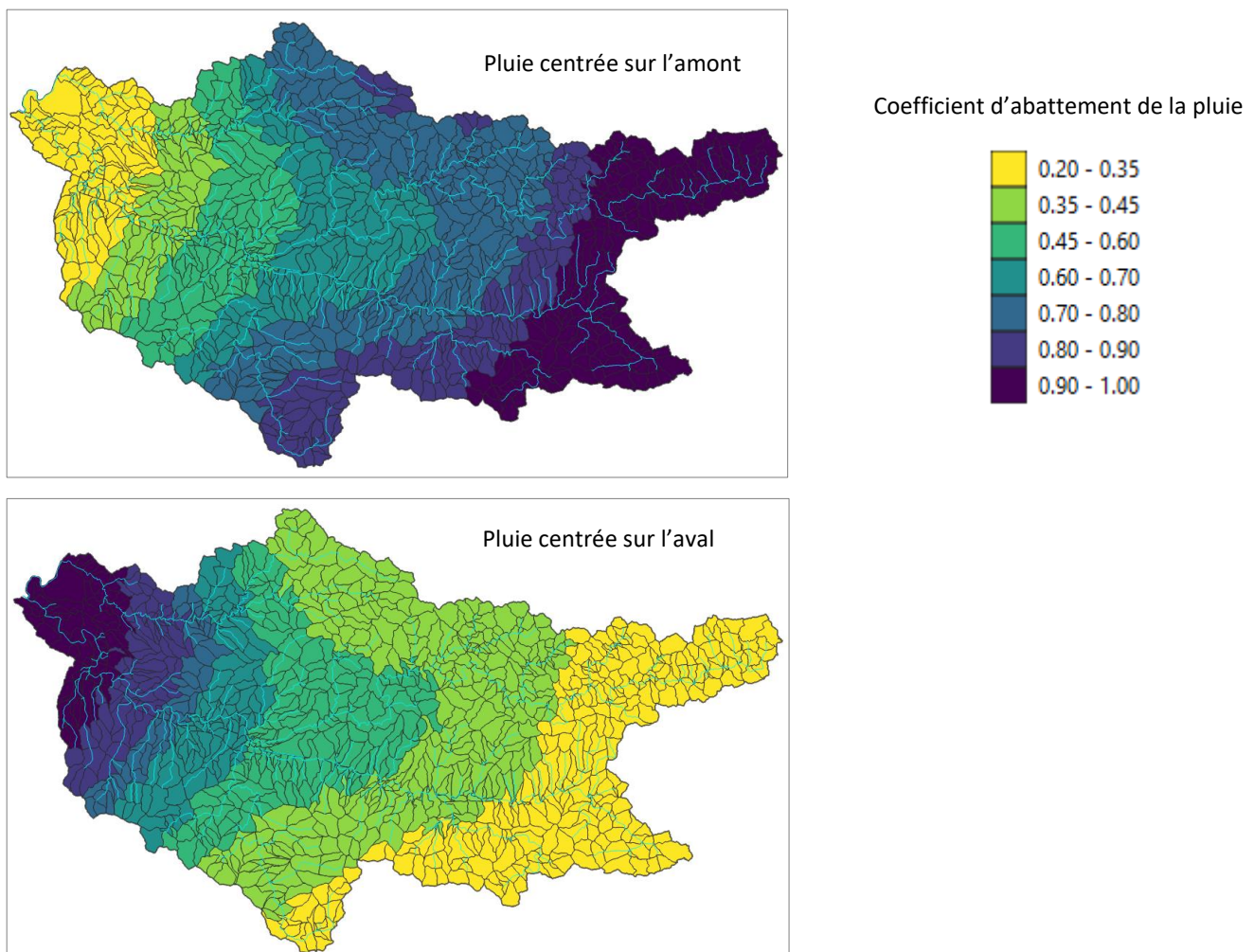


Illustration 82 : Abattement spatial de la pluie.

C.IV.2. Temps de réaction, transfert et propagation vis-à-vis des zones à enjeux

Les tableaux suivants synthétisent les résultats de temps d'arrivée du pic de débit (par rapport au pic d'intensité de pluie) pour les différents scénarios de pluie testés.

Aux stations de mesure

Point de calcul	Pluie homogène	Pluie centrée sur l'amont	Pluie centrée sur l'aval	Gamme retenue
Labastide	30 min à 45 min	30 min à 1h	15 min à 45 min	15 min à 1h
Albine	30 min à 45 min	30 min à 1h15	15 min à 45 min	15 min à 1h15
Sauveterre	45 min à 1h45	1h30 à 2h	45 min à 1h15	45 min à 2h
Saint-Amans	1h30 à 2h	1h30 à 2h30	1h30 à 2h	1h30 à 2h30
Rigautou	3h à 4h	4h à 6h	45 min à 2h	3h à 6h
Castanouze	1h15 à 1h45	1h15 à 2h	-	1h15 à 2h
Boissezon	45 min à 1h30	45 min à 1h30	-	45 min à 1h30
La Durenque à Castres	3h à 4h	3h à 4h	-	3h à 4h

Tableau 11 : Durée entre le pic d'intensité de pluie et l'arrivée du pic de débit.

Au droit des zones à enjeux

Commune	Categorie	ID_RS	Temps de réponse
Mazamet - Castanouze - Arnette	secondaire	180	1h à 2h
Mazamet - Moulin Maurel - Arnette	secondaire	196	1h à 2h
Mazamet - Les Cousteilles - Arnette	secondaire	204	1h à 2h
Cambounès	Principal	239	moins de 30 minutes
Boissezon	Principal	247	45 minutes à 1h30
Valdurenque	Principal	253	2h30 à 3h30
Labastide-Rouairoux	Principal	302	30 minutes à 1h
Pont-de-Larn	Principal	360	2h30 à 3h
Saint-Amans-Soult	Principal	362	1h30 à 2h30
Castres	Principal	412	3h à 4h
Lagarrigue	Principal	416	2h45 à 3h45
Pontcarral		425	2h à 3h
Noailhac	Principal	435	1h15 à 2h
Payrin-Augmontel		481	moins de 30 minutes
Albine - Candesoubre	secondaire	568	30 minutes à 1h15
Lacabarède	Principal	590	1h à 1h30
Aigufonde	Principal	625	4h45 à 7h
Bout-du-Pont-de-Larn	Principal	629	3h à 4h
Mazamet (arnette)	Principal	634	1h à 2h30
Aussillon	Principal	650	3h15 à 5h
Mazamet	Principal	664	3h à 4h15
Labruguière	Principal	74	5h30 à 8h
Caucalières			

Tableau 12 : Durée entre le pic d'intensité de pluie et l'arrivée du pic de débit.

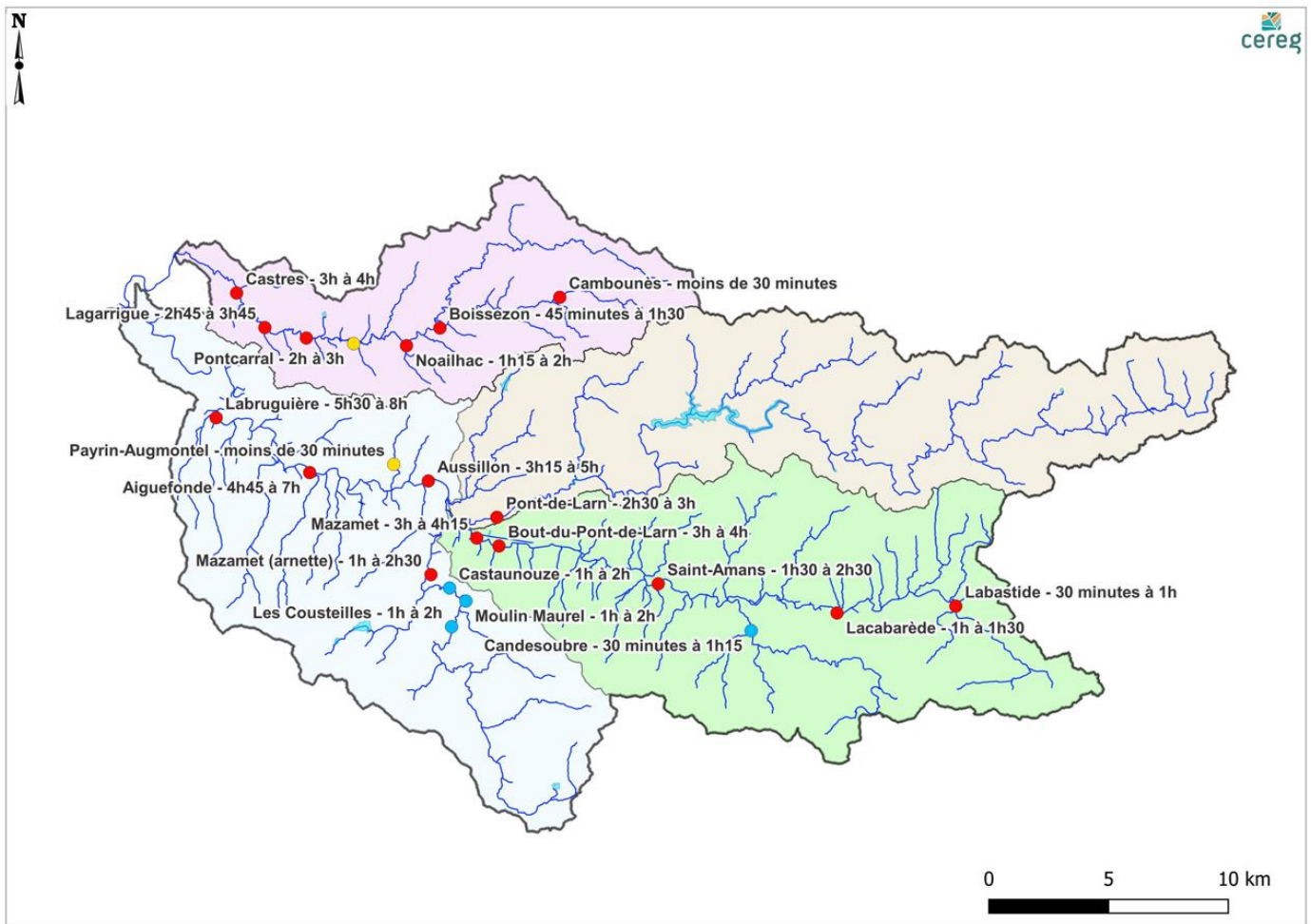


Tableau 13 : Temps d'arrivée du pic au droit des zones à enjeux.

La quasi-totalité des zones à enjeux identifiées correspondent à des secteurs où les temps d'arrivée du pic de débit sont inférieurs à 4h.

Ce délai est extrêmement court pour pouvoir gérer une alerte de crue à l'aide des informations de débit et de modélisation hydrologique.

Il est préférable dans ce cas de démarrer le diagnostic d'un événement pluvieux sur la base d'une comparaison entre observations et lames d'eau de référence statistiques.

D. MISE A JOUR DES SEUILS DE VIGILANCE ET D'ALERTE – MISE EN ŒUVRE DU SDAL



D.I. DEFINITION DES SEUILS SUR LA PLUIE

D.I.1. Seuils actuels

Les cumuls mis en œuvre dans le SDAL actuel avaient été calculés comme 25% (Pluie S), 35% (Pluie BV) et 45% (Pluie L) du cumul statistique décennal au poste de Toulouse. Ce poste ne semble pas représentatif de la pluviométrie du bassin du Thoré mais au moment de la réalisation de l'étude, peu de pluviomètres étaient susceptibles de pouvoir faire l'objet de calculs statistiques.

Le coefficient d'abattement avait été introduit pour tenir compte du fait que les seules données disponibles en temps réel au droit des pluviomètres ne captent pas forcément les intensités maximales qui surviennent.

Le tableau suivant renseigne ces différentes valeurs. A titre indicatif, les valeurs de cumul des données SHYREG pour la période de retour 2 ans sont également indiqués.

durée (h)	15 minutes	30 minutes	1h	2h	3h	6h
2 ans SHYREG Mazamet	10	14	19	26	31	42
Seuils de cumuls actuels Pluie S	5	8	10	13	14	18
Seuils de cumuls actuels Pluie BV	8	11	14	18	20	25
Seuils de cumuls actuels Pluie L	10	14	18	23	26	32

Tableau 14 : Cumuls de vigilance et d'alerte donnés dans le SDAL actuel.

Du fait des hypothèses (poste de référence et coefficients d'abattement très sécuritaires), les cumuls se situent très loin en dessous des cumuls statistiques (SHYREG ou Montana) retrouvés sur le secteur. Il pourrait donc être envisagé de revoir la définition de ces seuils de préalerte et d'alerte sur la pluie.

Les valeurs actuelles peuvent effectivement conduire à alerter trop souvent les opérateurs et les riverains, ce qui peut nuire à la réactivité des services en cas d'événement majeur (phénomène de lassitude à la réception des alertes).

Les seuils sur la pluviométrie pourraient donc être rehaussés.

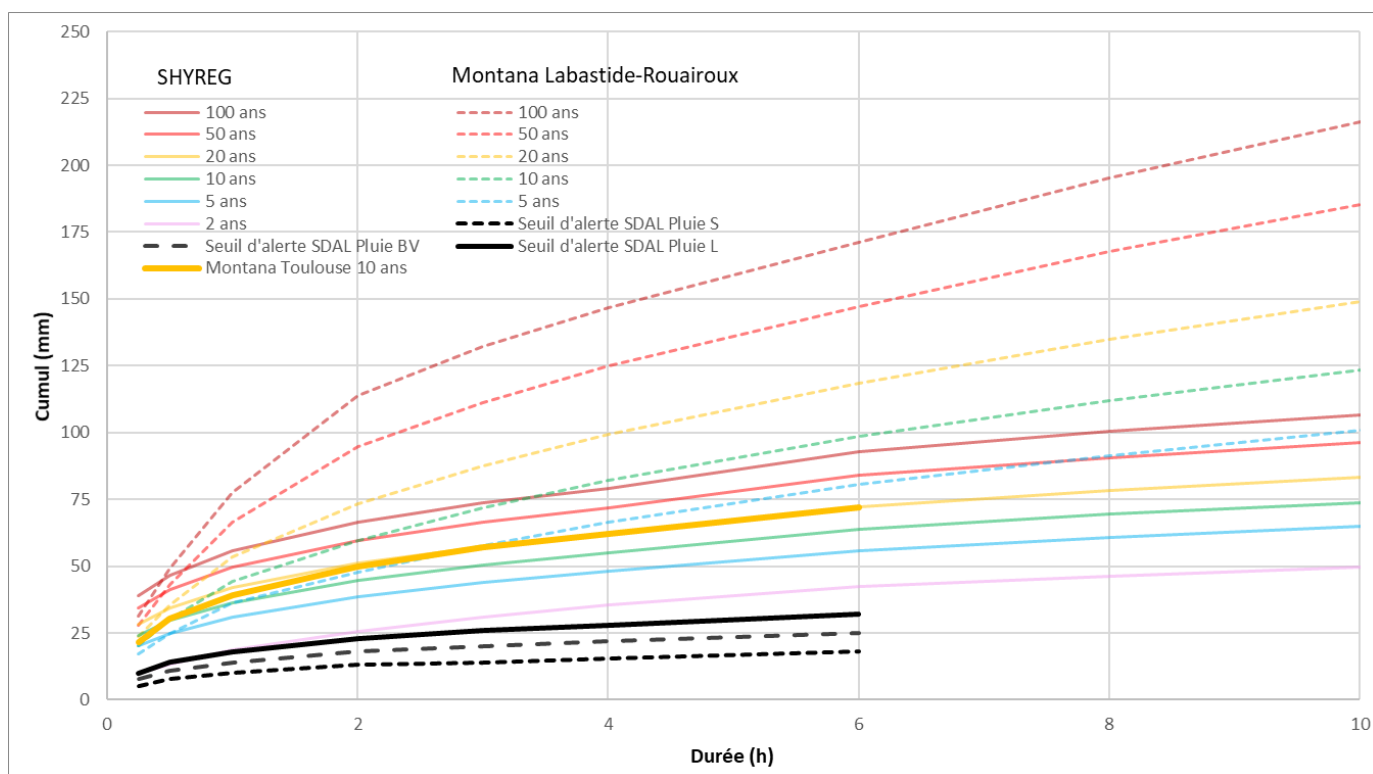


Illustration 83 : Comparaison des seuils d'alerte de pluie aux cumuls statistiques disponibles.

D.I.2. Seuils proposés

La méthodologie envisagée consiste à construire un outil de calcul simplifié donnant rapidement les seuils de vigilance et d'alerte correspondant à la réaction ciblée des différents affluents en fonction des enjeux à protéger.

L'outil créé permet d'avoir 2 niveaux d'information :

- **Un niveau simplifié** à destination des élus, avec une fiche synthétique décrivant la situation en cours et un affichage des niveaux d'alerte de manière très visuelle.
- **Un niveau expert** où l'utilisateur peut avoir accès aux calculs et à la paramétrisation des seuils. Il est nécessaire d'avoir de bonnes connaissances en hydrologie et de bien connaître le bassin versant pour apprécier le diagnostic de la situation et orienter les actions à mener.

Dans l'outil Excel mis en œuvre, il est possible de modifier la pluviométrie de référence permettant de choisir si l'événement en cours est de type méditerranéen (pluviométrie de référence : Labastide ou Carcassonne) ou plutôt continental (Toulouse ou SHYREG Mazamet).

De même, il est possible de paramétrer les conditions hydrologiques (sols saturés, humides ou secs) via un menu déroulant. Le choix de cet état va introduire un coefficient de sécurité sur la pluie :

- sols saturés : 25% car même de faibles lames d'eau peuvent provoquer des réactions importantes des versants dans ces conditions.
- sols humides : 50%.
- sols secs : 75%.

Dans cette configuration il existe donc $3 \times 4 \times 7 = 84$ possibilités de cumuls de référence en fonction de la situation hydrologique (type de phénomène / état des sols).

De manière à simplifier l'utilisation de la feuille, les seuils par défaut seront ceux des cumuls de **Labastide** (phénomène méditerranéen) couplé à un état des **sols humides** (coefficient de sécurité de 50%).

La pré-alerte est lancée lorsque les cumuls dépassent la période de retour **5 ans**. L'alerte est lancée lorsque les cumuls dépassent la période de retour **20 ans**.

Les cumuls sont indiqués dans le tableau suivant. Pour les faibles durées, les cumuls obtenus sont proches des seuils déjà en œuvre. Au-delà de 2h, les deux données commencent à présenter des écarts importants.

Cumuls (mm) / durée (h)	15 min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h
Pré-alerte : 5 ans (Labastide-Rouairoux)	9	12	18	24	29	33	40	46	50	55
Alerte : 20 ans (Labastide-Rouairoux)	12	18	27	37	44	50	59	67	74	81
Seuils de cumuls actuels Pluie S	5	8	10	13	14	-	18			
Seuils de cumuls actuels Pluie BV	8	11	14	18	20	-	25			
Seuils de cumuls actuels Pluie L	10	14	18	23	26	-	32			

Tableau 15 : Cumuls de pré-alerte et d'alerte proposés (comparaison avec les anciens seuils).

Une représentation graphique de ces éléments est donnée sur la figure suivante.

On remarque que les seuils proposés sont plus élevés que les seuils actuels. Cela permettra de réduire les fréquences de dépassement qui semblent se produire de façon très fréquente avec les paramètres actuels.

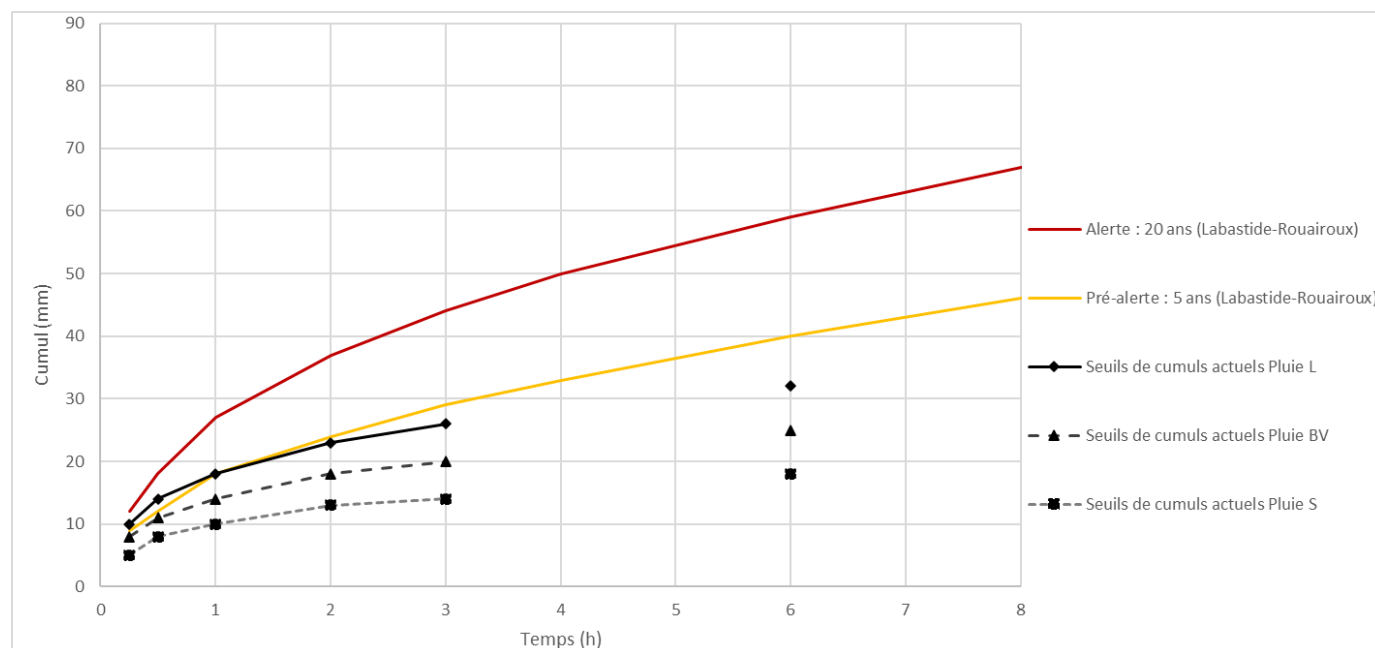


Illustration 84 : Comparaison des seuils proposés aux anciens cumuls.

D.II. DEFINITION DES SEUILS SUR LES HAUTEURS D'EAU

D.II.1. Seuils actuels

Les fiches suivantes (issues de l'étude Hydro-m ayant défini le système d'alerte) synthétisent les caractéristiques des 3 stations actuellement en place ainsi que les seuils de pré-alerte et d'alerte qui ont été définis.

Station Labastide / Pont RN112					Station Albine Pont / D88					Station Saint-Amans / Cimetière				
surface BV amont		33,0	km ²		surface BV amont		26,9	km ²		surface BV amont		155,0	km ²	
temps de réponse BV amont		2,6	heures		temps de réponse BV amont		1,8	heures		temps de réponse BV amont		3,7	heures	
• Cotes station					• Cotes station					• Cotes station				
cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro		
		échelle					échelle					échelle		
Zéro de l'échelle		0,00 m			Zéro de l'échelle		0,00 m			Zéro de l'échelle		0,00 m		
fond du lit		386,35			fond du lit		311,36			fond du lit		298,50		
cote parapet pont (+ muret)		-			cote parapet pont (+ muret)		316,75			cote parapet pont (+ muret)		-		
cote clef de voute pont		390,85			cote clef de voute pont		314,85			cote clef de voute pont		-		
• Seuils station					• Seuils station					• Seuils station				
cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro		
		échelle					échelle					échelle		
Vigilance prévisionniste		4,20			Vigilance prévisionniste		1,00			Vigilance prévisionniste		4,20		
ND1 : plein bord		388,55			ND1 : plein bord		313,36			ND1 : plein bord		261,20		
ND2 : niveau débordement 2		389,05			ND2 : niveau débordement 2		314,86			ND2 : niveau débordement 2		261,70		
Vigilance Mairie		2,70 m			Vigilance Mairie		3,50 m			Vigilance Mairie		3,20 m		
PAL (Pré-alerte)		387,35			PAL (Pré-alerte)		312,66			PAL (Pré-alerte)		260,50		
AL (Alerte)		1,00 m			AL (Alerte)		1,60 m			AL (Alerte)		2,50 m		
AL (Alerte)		387,95			AL (Alerte)		314,46			AL (Alerte)		261,50		
• PHEC : Crue 1999					• PHEC : Crue 1999					• PHEC : Crue 1999				
cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro		
		échelle					échelle					échelle		
niveau maxi 1999		389,65			niveau maxi 1999		315,86			niveau maxi 1999		264,30		
• Autres crues historiques					• Autres crues historiques					• Autres crues historiques				
cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro			cotes NGF		h eau / zéro		
		échelle					échelle					échelle		
max 1930		-			max 1930		315,16			max 1930		-		
max 1995		388,85			max 1995		-			max 1995		-		
max 1996		-			max 1996		-			max 1996		263,70		
max 2003		-			max 2003		-			max 2003		-		
• Temps de propagation depuis l'amont (crue jan/100)					• Temps de propagation depuis l'amont (crue jan/100)					• Temps de propagation depuis l'amont (crue jan/100)				
site		dist (km)		durée (min)	site		dist (km)		durée (min)	site		dist (km)		durée (min)
-		-		-	-		-		-	Labastide-Rx		15,92		70 min
-		-		-	-		-		-	Sauveterre DIREN		6,60		30 min
-		-		-	-		-		-	Albine Cambesoubre		6,80		30 min
• Temps de réponse des bassins adjacents (ruisseaux affluents directs)					• Temps de réponse des bassins adjacents (ruisseaux affluents directs)					• Temps de réponse des bassins adjacents (ruisseaux affluents directs)				
Sup BV		Rive		Tps réponse	Sup BV		Rive		Tps réponse	Sup BV		Rive		Tps réponse
				40 min					20 min					40 min
R. du Col de la Fenille		RD		65 min	Ruisseau des Reilles		RG		65 min	Rieu Pégé		RD		40 min
Ruisseau de Nartaud		RD		75 min	R. Embartie & Resse		RG		65 min	Ruisseau de la Truite		RD		70 min
R. Merlaussou & Frescaty		RD		60 min						Ruisseau des Taillades		RD		40 min
Ruisseau du Beson		RG								Rieuvergnat		RG		55 min
										Ruisseau de la Ville		RG		45 min
										Ruisseau des Martels		RG		25 min

Illustration 85 : Fiches stations du SDAL initial (source : Hydro-m).

	Vigilance prévisionniste	Vigilance Mairie	Pré-alerte	Alerte
Labastide-Rouairoux	0.7 m	1.0 m	1.2 m	1.6 m
Albine	1.0 m	1.3 m	1.6 m	3.1 m
Saint-Amans	1.5 m	2.0 m	2.5 m	3.0 m

Tableau 16 : Seuils actuels de pré-alerte et d'alerte sur les hauteurs pour les stations actuelles.

D.II.2. Définition des seuils sur les nouvelles stations

Les trois nouvelles stations mises en place en 2022 sur les bassins de la Durenque (Boissezon et Castres) et l'Arnette (Castaunouze) doivent faire l'objet d'une définition de seuils de vigilance et d'alerte.



Illustration 86 : Localisation des nouvelles stations de mesure.

La principale difficulté pour la définition des seuils de pré-alerte et d'alerte au droit d'une nouvelle station de mesure provient de la nécessité de disposer de différents éléments complémentaires :

- Plan topographique du site.
- Retour d'expérience lié à des événements passés (donc indisponibles pour de nouvelles stations).
- Lien entre hauteur d'eau au droit de la station et impact sur les enjeux.

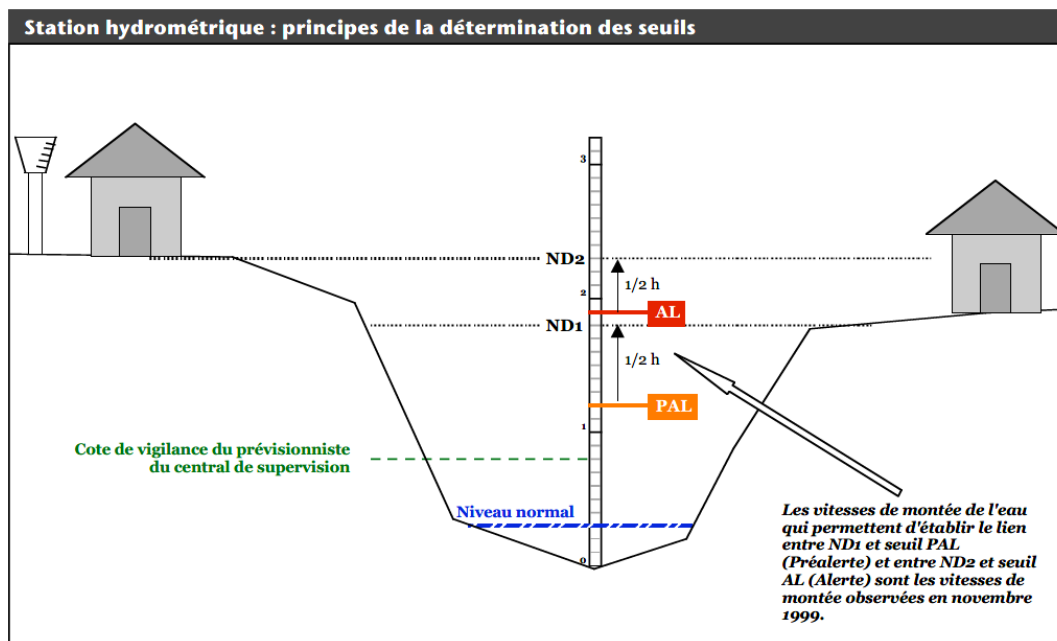


Illustration 87 : Principe de définition des seuils de pré-alerte et d'alerte sur les hauteurs d'eau (source : Hydro-m dans le SDAL initial).

En l'absence de ces éléments on s'appuiera sur la cartographie ZIP et les profils en travers obtenus par analyse du MNT (RGE 5m).

La cartographie ZIP n'est pas disponible au droit des trois nouvelles stations et ne pourra donc pas être exploitée. La définition des seuils se basera donc uniquement sur des critères topographiques. Ces seuils devront faire l'objet de retours d'expérience au fur et à mesure des événements rencontrés de manière à ajuster leurs valeurs si nécessaire.

Station de l'Arnette à Castaunouze

La station de Castaunouze est installée au droit du pont situé en amont du lieu-dit La Vignarnette / Castaunouze et contrôle un bassin versant d'environ 57 km².



Illustration 88 : Localisation et contexte de la station de Castaunouze.

La donnée topographique issue du RGE altimétrique est très grossière au droit de cette station et nécessitera d'être affinée pour bien définir les différents seuils. Ici on ne distingue pas la rupture de pente au droit des berges entre le lit mineur et le lit majeur.

Les seuils proposés sont les suivants :

- Seuil de pré-alerte : 1.5 m.
- Seuil d'alerte : 2 m.

En l'état, les valeurs annoncées présentent de très fortes incertitudes et devront donc être complétées par un relevé topographique puis par ajustement en fonction des observations lors des événements pluvieux importants.

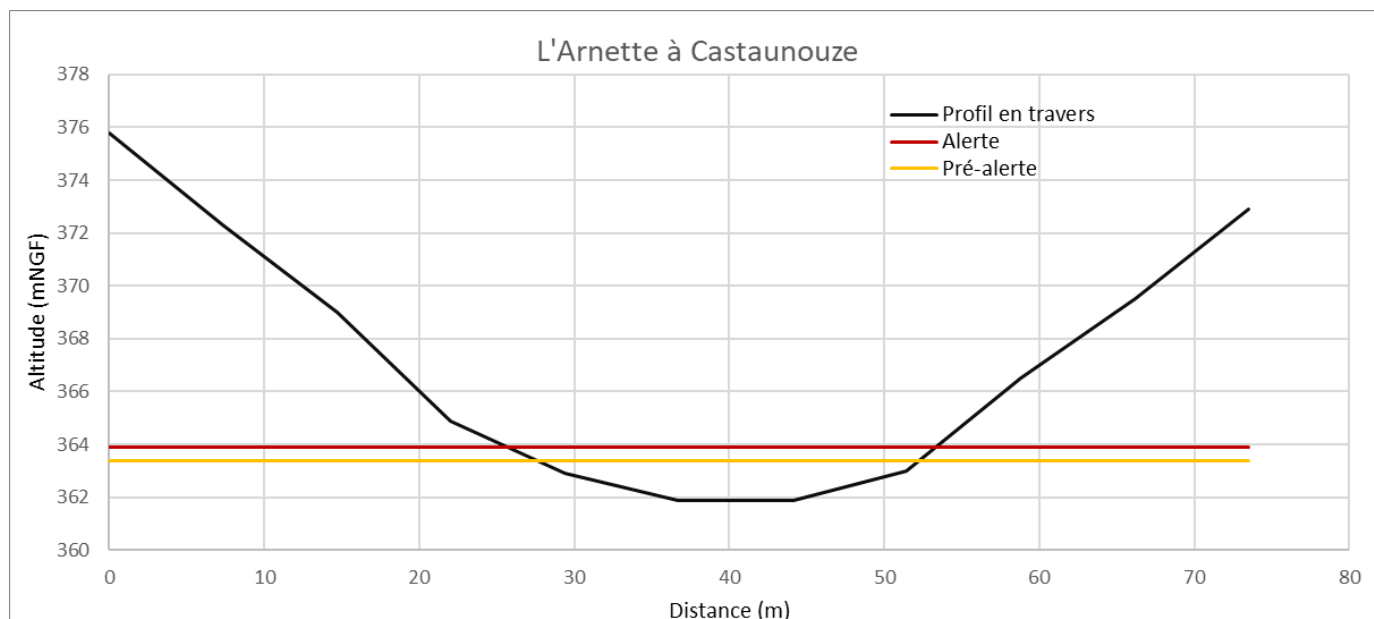


Illustration 89 : Profil en travers au droit de la station de Castaunouze (source : RGE 5m).

Station de la Durenque à Boissezon

La station de mesure a été mise en place au droit d'un pont en aval du bourg de Boissezon. En ce point, le bassin versant contrôlé représente environ 55 km².

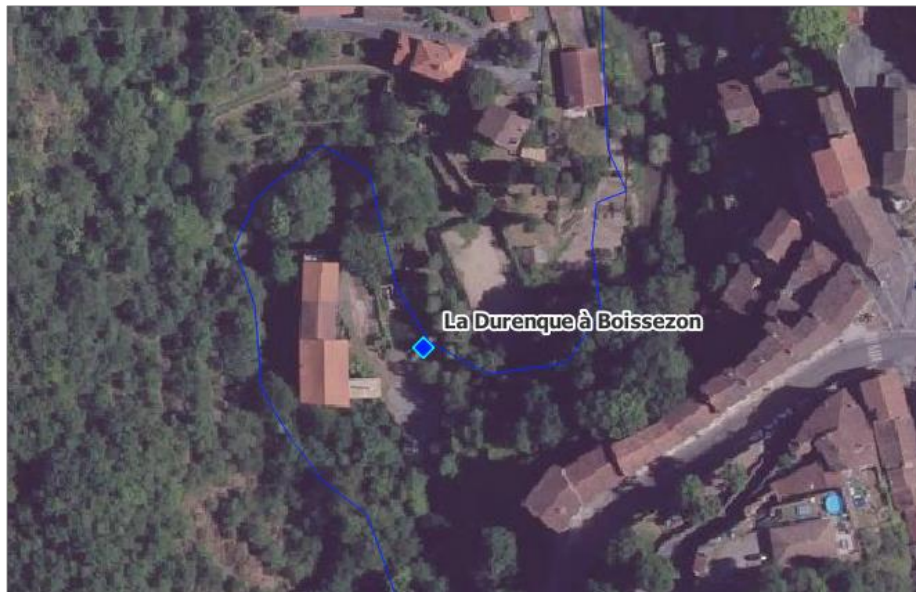


Illustration 90 : Localisation et contexte de la station de Boissezon.

Comme pour la station de Castaunouze, les données topographiques sont grossières. Malgré tout, on peut distinguer le lit de la Durenque.

Les seuils proposés sont les suivants :

- Seuil de pré-alerte : 2 m.
- Seuil d'alerte : 2.5 m.

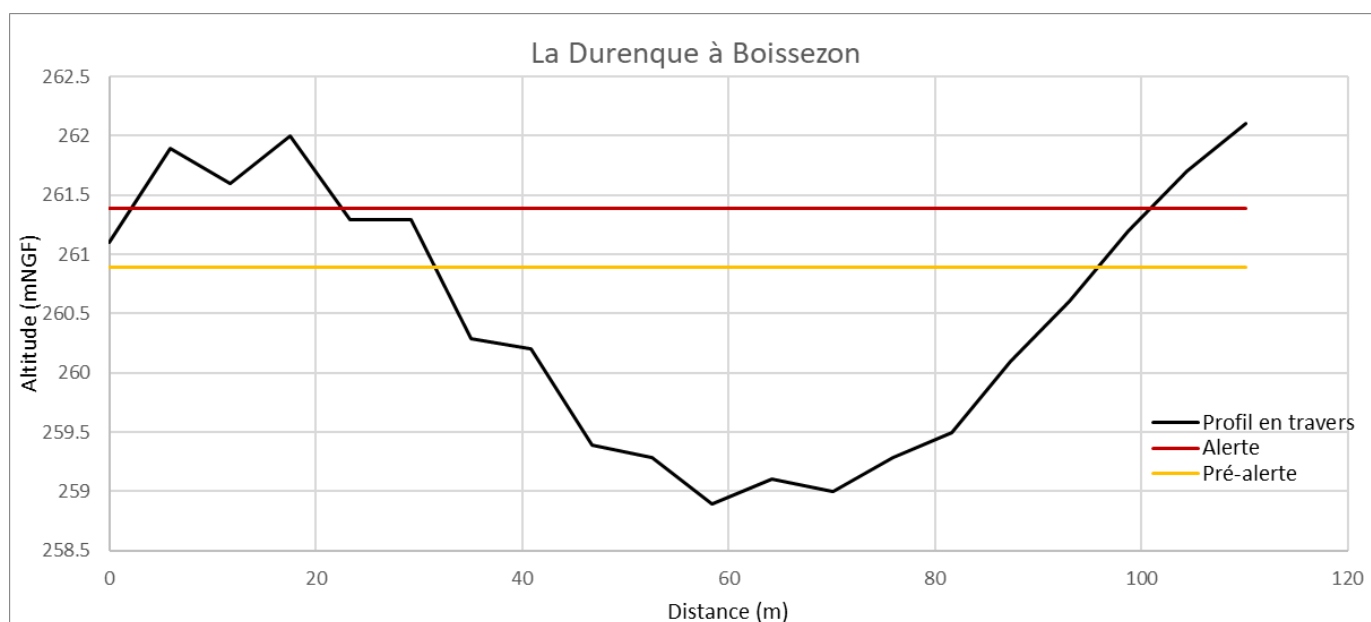


Illustration 91 : Profil en travers au droit de la station de Boissezon (source : RGE 5m).

Station de la Durenque à Castres

La station de Castres se trouve sur la partie terminale du bassin versant de la Durenque et contrôle un bassin versant d'environ 105 km².

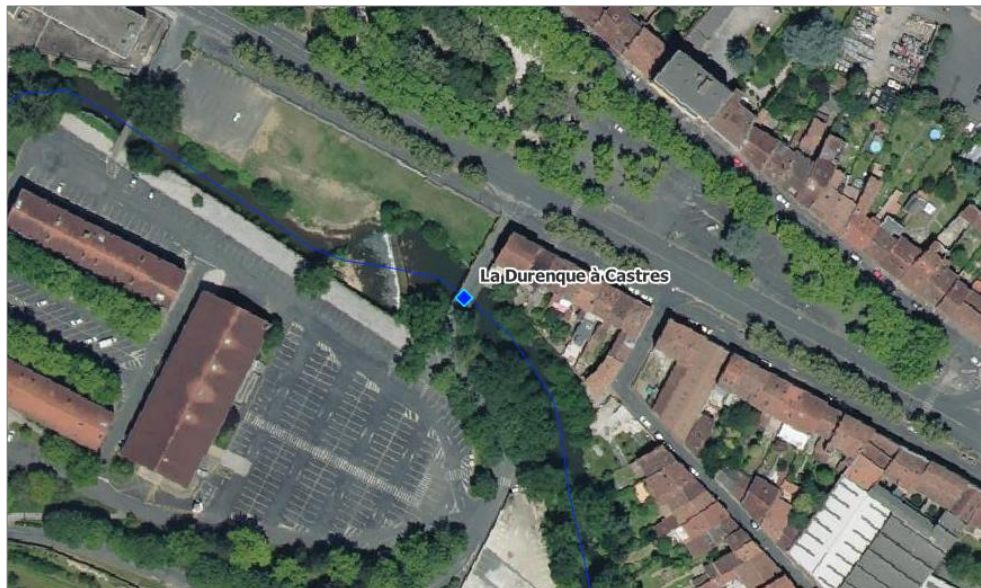


Illustration 92 : Localisation et contexte de la station de Castres.

A la station de Castres, la résolution du RGE altimétrique est moins problématique car le gabarit du cours d'eau est plus important que pour les deux autres stations situées en tête de bassin versant.

Les seuils proposés sont les suivants :

- Seuil de pré-alerte : 2.8 m.
- Seuil d'alerte : 3.1 m.

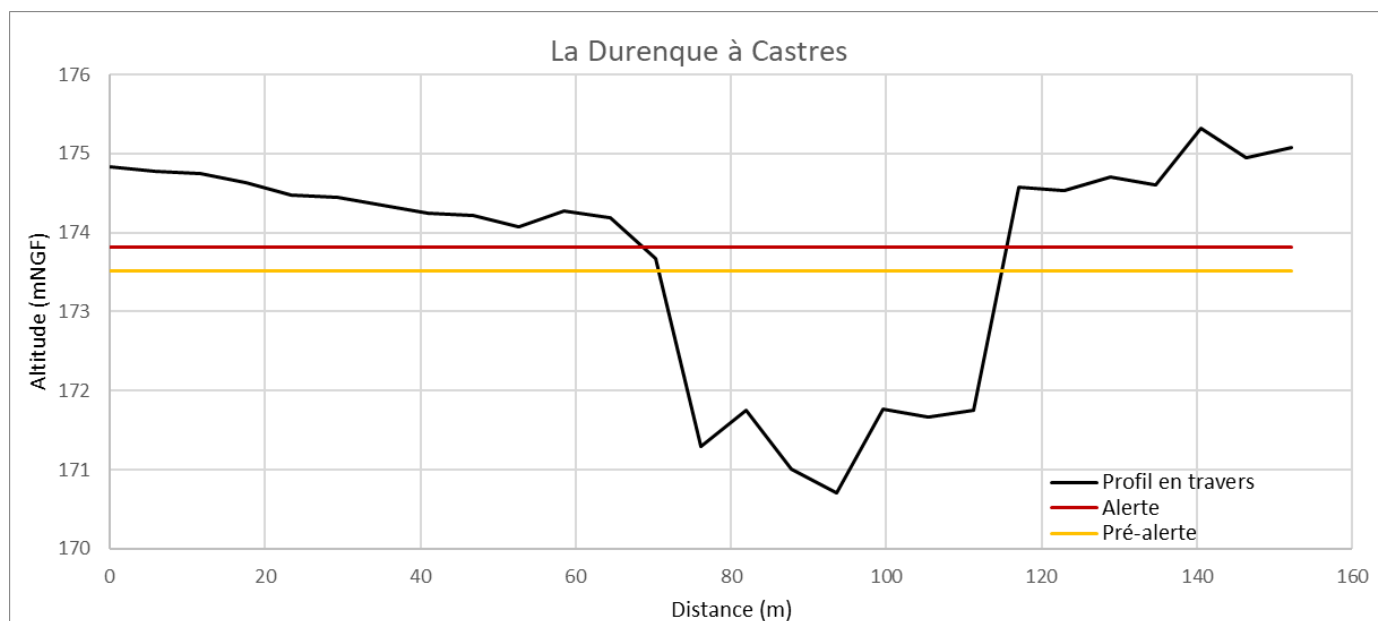


Illustration 93 : Profil en travers au droit de la station de Castres (source : RGE 5m).

 **Synthèse**

Le tableau suivant synthétise les seuils définis pour les trois nouvelles stations gérées par le Syndicat.

Comme expliqué précédemment, les données à disposition sont limitées et les valeurs avancées uniquement issues d'analyses topographiques. Il conviendra donc d'affiner ces seuils au gré des situations rencontrées et des informations techniques disponibles.

	Pré-alerte	Alerte
L'Arnette à Castaunouze	1.5 m	2.0 m
La Durenque à Boissezon	2.0 m	2.5 m
La Durenque à Castres	2.8 m	3.1 m

Tableau 17 : Seuils de pré-alerte et d'alerte sur les hauteurs pour les nouvelles stations.

D.III. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES EVENEMENTS RECENTS

De manière à évaluer la performance de l'outil on se propose d'analyser les résultats qu'il aurait donné au cours des 6 événements de calage étudiés précédemment.

D.III.1.1.1. Mars 2011

On a vu lors de l'analyse de cet événement que les cumuls pluviométriques étaient relativement modestes. La principale particularité de cet épisode réside dans le fait qu'il s'est produit à une période de forte pluviométrie. L'état des sols était donc propice à générer de forts ruissellements.

Nous montrons dans les paragraphes qui suivent les résultats de l'outil pour les situations « sols humides » (paramètres par défaut) et pour une situation « sols saturés ».

Paramètres par défaut

En termes de pluviométrie, la configuration par défaut ne conduit au déclenchement des alertes que pour de longues durées (10h de pluie minimum), uniquement pour les postes de Labastide et Albine.

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	15 min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h
Labastide					Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte
Albine						Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte
St Amans						Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte

Tableau 18 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement de mars 2011 – configuration par défaut.

De ce fait, la pré-alerte et l'alerte pluviométrique sont déclenchées tardivement par rapport aux alertes sur les hauteurs d'eau (plus de 4h de décalage).

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	15/03/2011 00h00	15/03/2011 07h30
Hauteur	14/03/2011 19h30	15/03/2011 02h15

Tableau 19 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de mars 2011 – configuration par défaut.

Ainsi, le dépassement des seuils se produit d'abord sur les hauteurs d'eau puis sur les lames d'eau. Cette paramétrisation par défaut qui ne rend pas bien compte de l'état de saturation des sols (ici gorgés d'eau suite aux averses des 13 et 14 mars 2011).

La figure suivante donne une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables pluviométriques avec les paramètres par défaut.

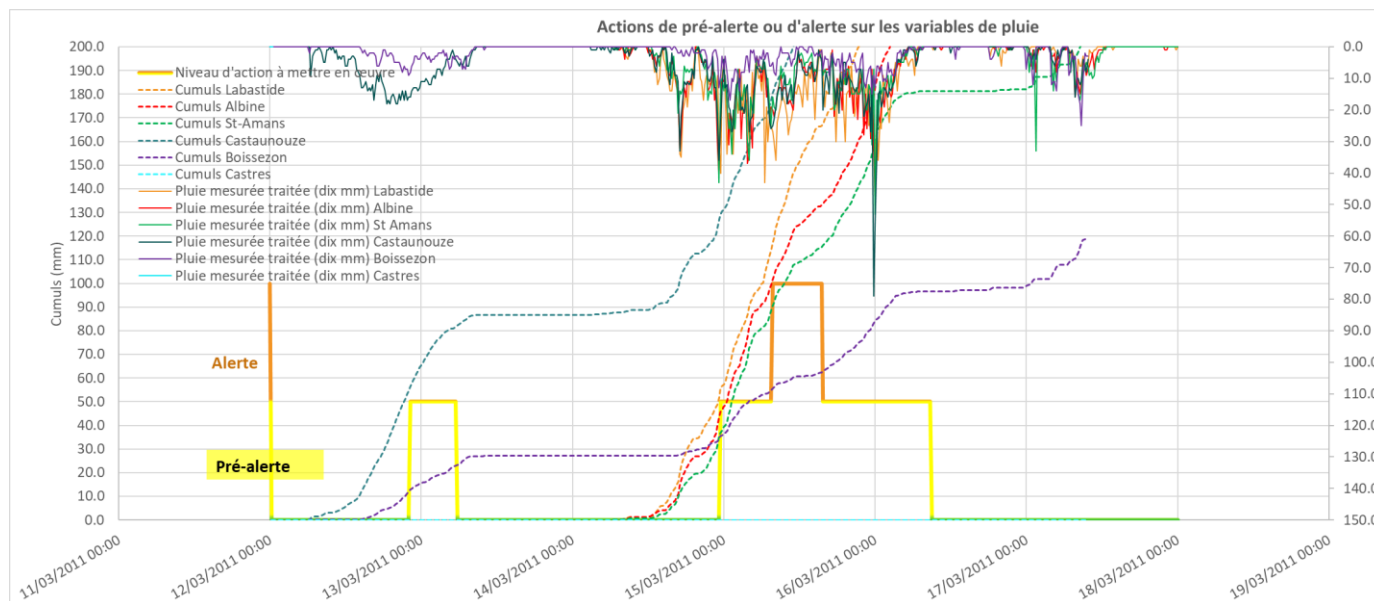


Illustration 94 : Mars 2011 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.

La figure suivante donne une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables de hauteur d'eau avec les paramètres par défaut.

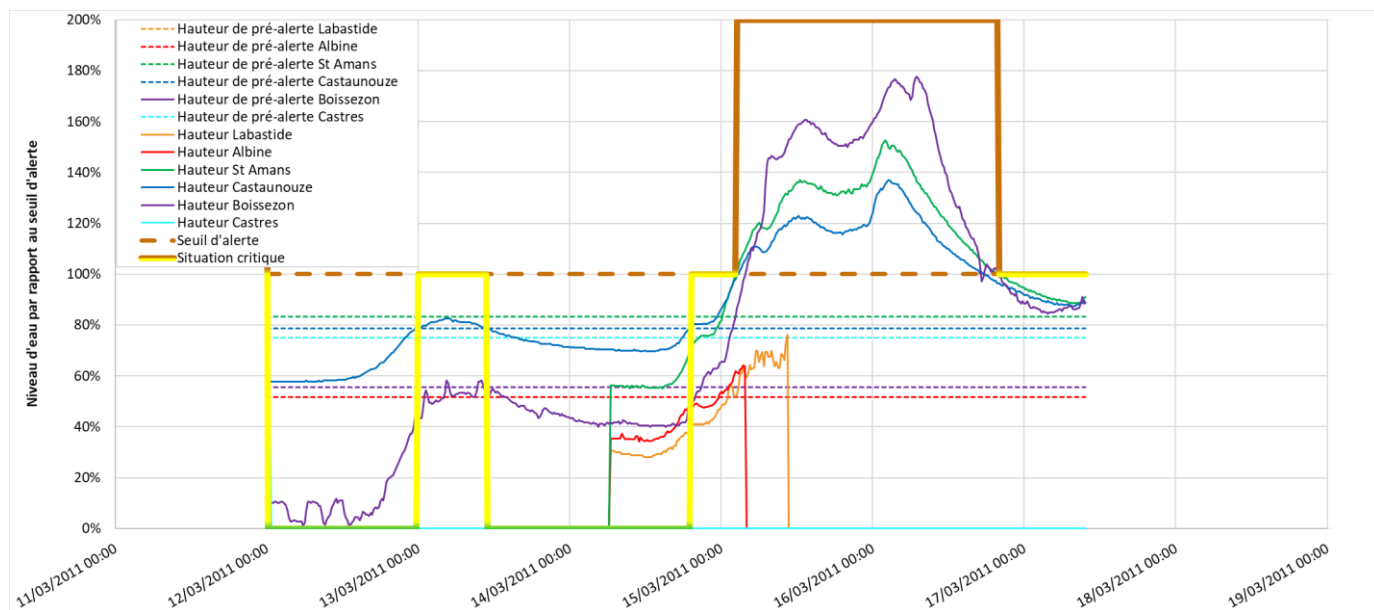


Illustration 95 : Mars 2011 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.

Paramètres ajustés par expertise hydrologique

Compte tenu des averses qui ont eu lieu les jours précédant l'événement, il est raisonnable de penser que les sols présentaient une forte teneur en eau. A partir du 14/03/2011 un utilisateur expert aurait pu modifier les paramètres en indiquant un état hydrologique de type « sols saturés ». Ainsi, l'alerte aurait été donnée bien plus tôt sur les lames d'eau (anticipation de 6h par rapport à une situation avec les paramètres par défaut), ce qui aurait été beaucoup plus cohérent avec la dynamique de montée des eaux dans le réseau hydrographique.

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	15 min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h
Labastide	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte
Albine	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte
St Amans	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte

Tableau 20 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement de mars 2011 – configuration « sols saturés ».

La pré-alerte et l'alerte pluviométrique auraient ainsi devancé la montée des eaux dans le réseau hydrographique :

- Pré-alerte pluie environ 2h avant la pré-alerte hauteur d'eau.
- Alerte pluie déclenché plus de 7h avant l'alerte hauteur d'eau.

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	14/03/2011 17h45 (près de 6h plus tôt)	14/03/2011 18h30 (14h plus tôt)
Hauteur	14/03/2011 19h30	15/03/2011 02h15

Tableau 21 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de mars 2011 – configuration « sols saturés ».

La figure suivante donne une représentation graphique des résultats qui auraient été obtenus sur les variables pluviométriques avec le paramètre de « sols saturés ».

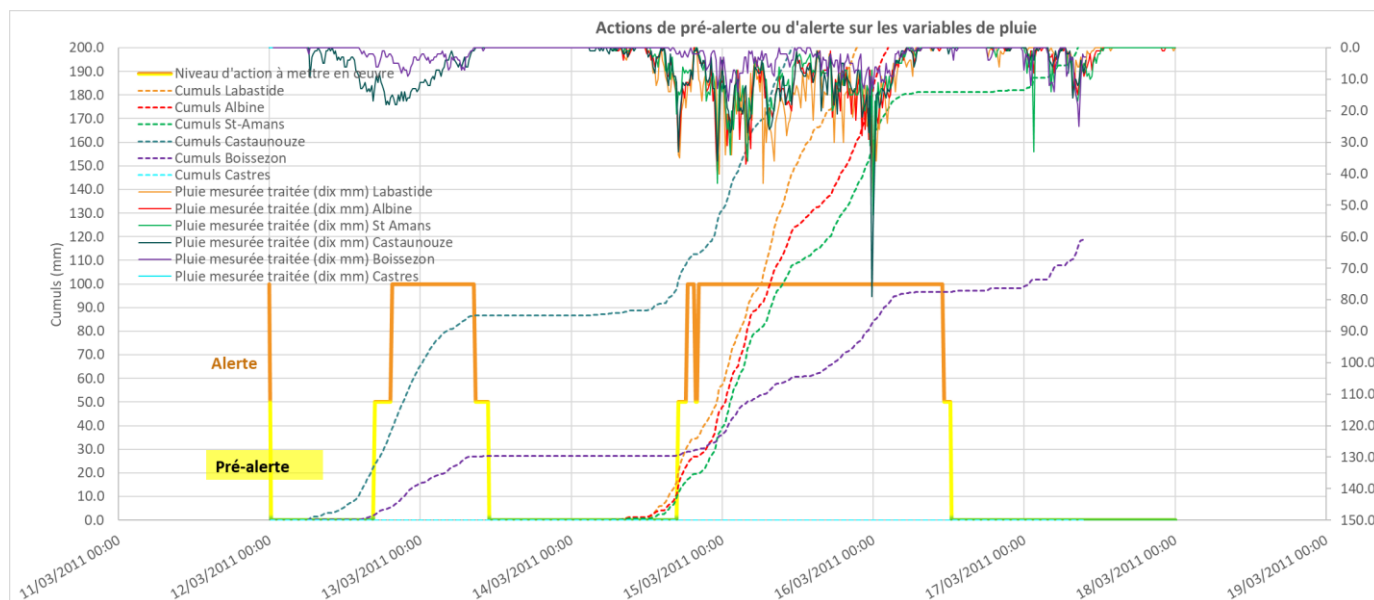


Illustration 96 : Mars 2011 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration « sols saturés ».

D.III.1.1.2. Mai 2013

L'analyse de l'événement avait fait ressortir que les cumuls et intensités de pluies observées étaient très modestes (période de retour inférieure à 5 ans) mais avaient tout de même provoqué une montée des eaux dans le réseau hydrographique. Le niveau de saturation des sols en fin de période hivernale a pu jouer un rôle prédominant dans la dynamique de l'événement.

Configuration par défaut

La configuration par défaut de l'outil n'aurait conduit qu'au dépassement du seuil pluviométrique de pré-alerte sur une seule station (St-Amans) et pour des durées élevées (10h minimum).

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	0.25	0.5	1	2	3	4	6	8	10	12
Labastide										
Albine										
St Amans									Pré-alerte	Pré-alerte

Tableau 22 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement de mai 2013 – configuration par défaut.

Les seuils d'alerte ne sont pas dépassés et les conditions hydrologiques se limitent à de la pré-alerte dans cette configuration.

La pré-alerte pluviométrique se produit 5h avant celle sur le débit

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	30/05/2013 23h00	-
Hauteur	31/05/2013 04h30	-

Tableau 23 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de mai 2013 – configuration par défaut.

Les figures suivantes donnent une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables pluviométriques et hauteurs d'eau avec les paramètres par défaut.

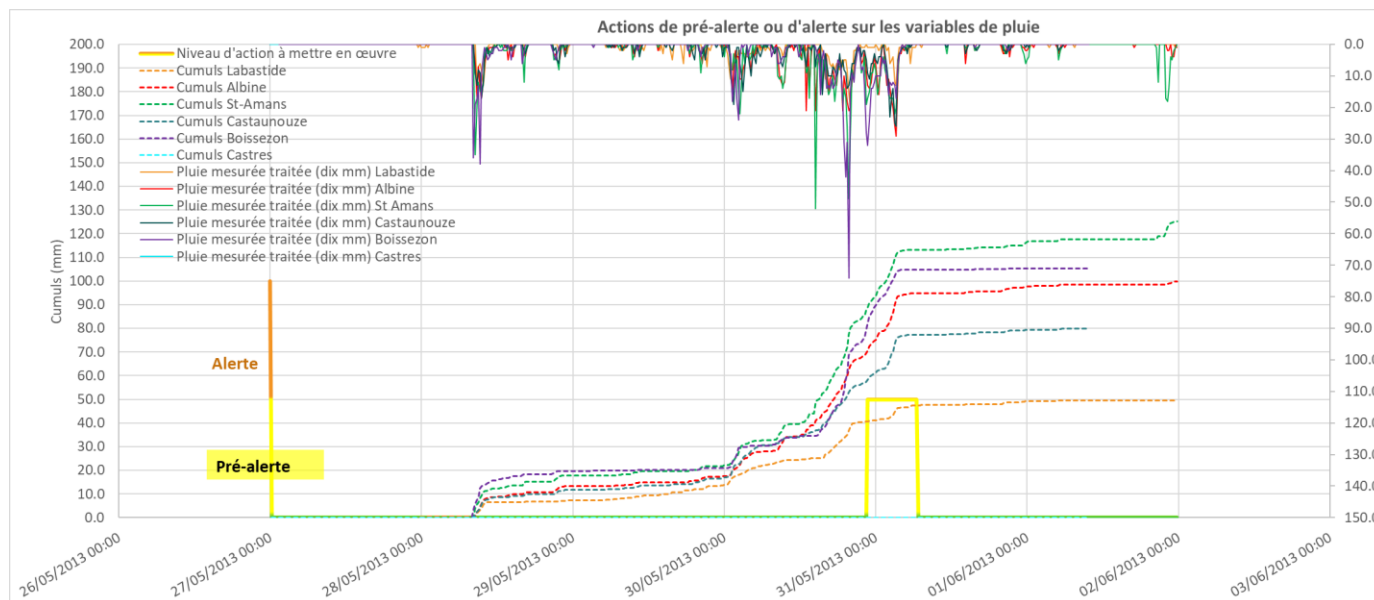


Illustration 97 : Mai 2013 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.

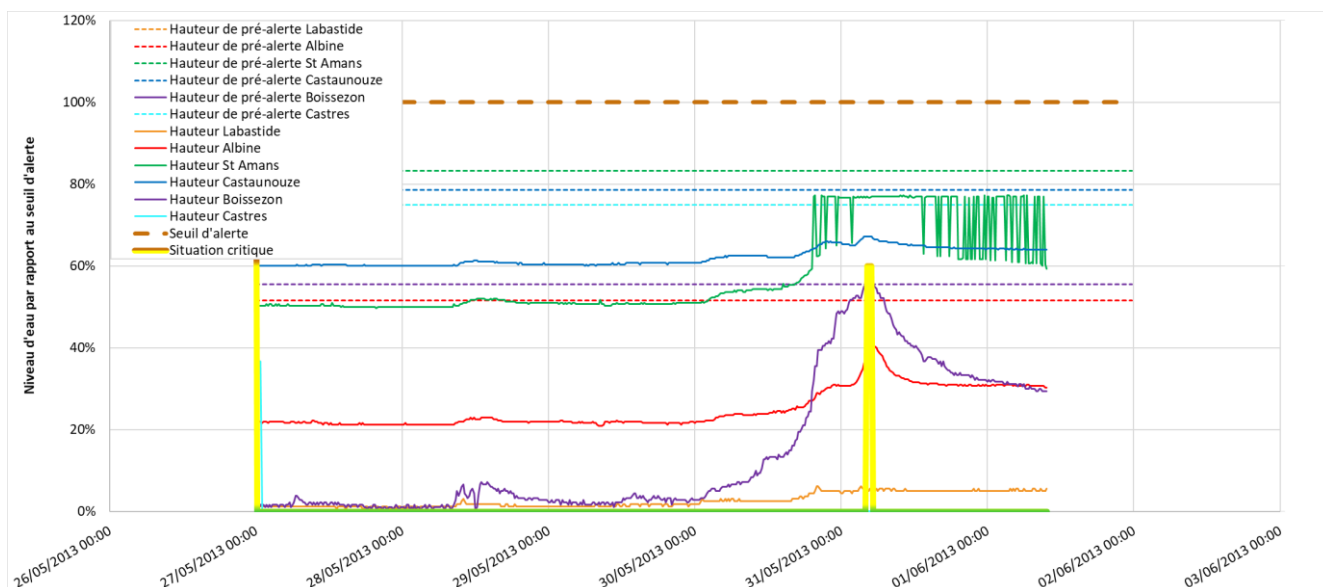


Illustration 98 : Mai 2013 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.

Configuration « sols saturés »

Avec une condition de sols saturés cela conduit à un dépassement du seuil d'alerte sur la pluie. Cela semble légèrement disproportionné dans la mesure où les hauteurs d'eau enregistrées n'ont pas atteint des niveaux suffisants pour déclencher le seuil d'alerte.

Toutefois, cette configuration a le mérite de donner une pré-alerte 6h plus tôt, ce qui aurait permis une amélioration de l'anticipation de la gestion de crise si le phénomène s'était aggravé.

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	30/05/2013 16h45 (6h plus tôt)	30/05/2013 19h45
Hauteur	31/05/2013 04h30	-

Tableau 24 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de mai 2013 – configuration « sols saturés ».

La figure suivante donne une représentation graphique des résultats qui auraient été obtenus sur les variables pluviométriques avec le paramètre de « sols saturés ».

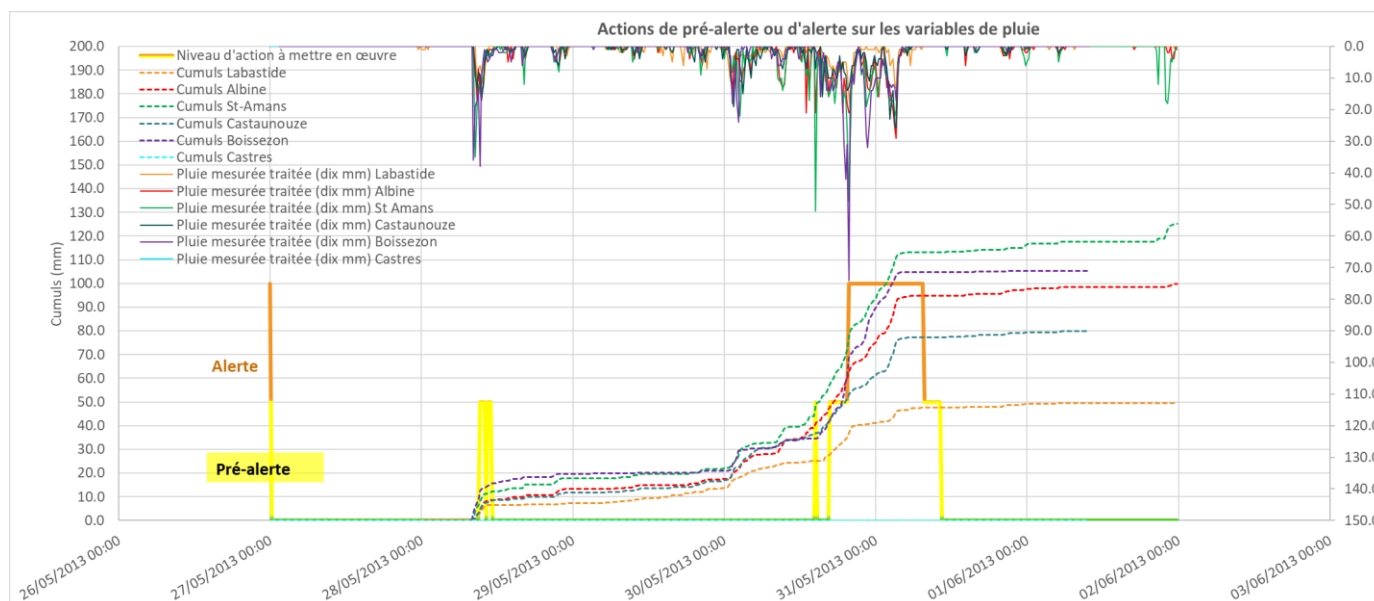


Illustration 99 : Mai 2013 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration « sols saturés ».

D.III.1.1.3. Février 2017

L'événement de février 2017 a été marquant, en particulier sur le Thoré où des débordements sont survenus. D'un point de vue pluviométrique on rappelle que la station de Labastide avait enregistré plus de 350 mm sur l'événement (période de retour de 30 à 50 ans au maximum).

Configuration par défaut

Les fortes intensités enregistrées témoignent de la violence de l'événement sur une courte durée.

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	15 min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h
Labastide		Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte
Albine					Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte
St Amans					Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte

Tableau 25 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement de février 2017 – configuration par défaut.

Ici la pré-alerte survient le 13/02/2017 21h30, soit 2h30 avant le dépassement du seuil de pré-alerte sur les hauteurs d'eau.

Remarque : il n'y a pas de dépassement des seuils d'alerte sur les hauteurs d'eau mais la station de St-Amans était défaillante au cours de l'événement.

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	13/02/2017 21h30	14/02/2017 01h00
Hauteur	14/02/2017 00h00	-

Tableau 26 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de février 2017 – configuration par défaut.

Les figures suivantes donnent une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables pluviométriques et hauteurs d'eau avec les paramètres par défaut.

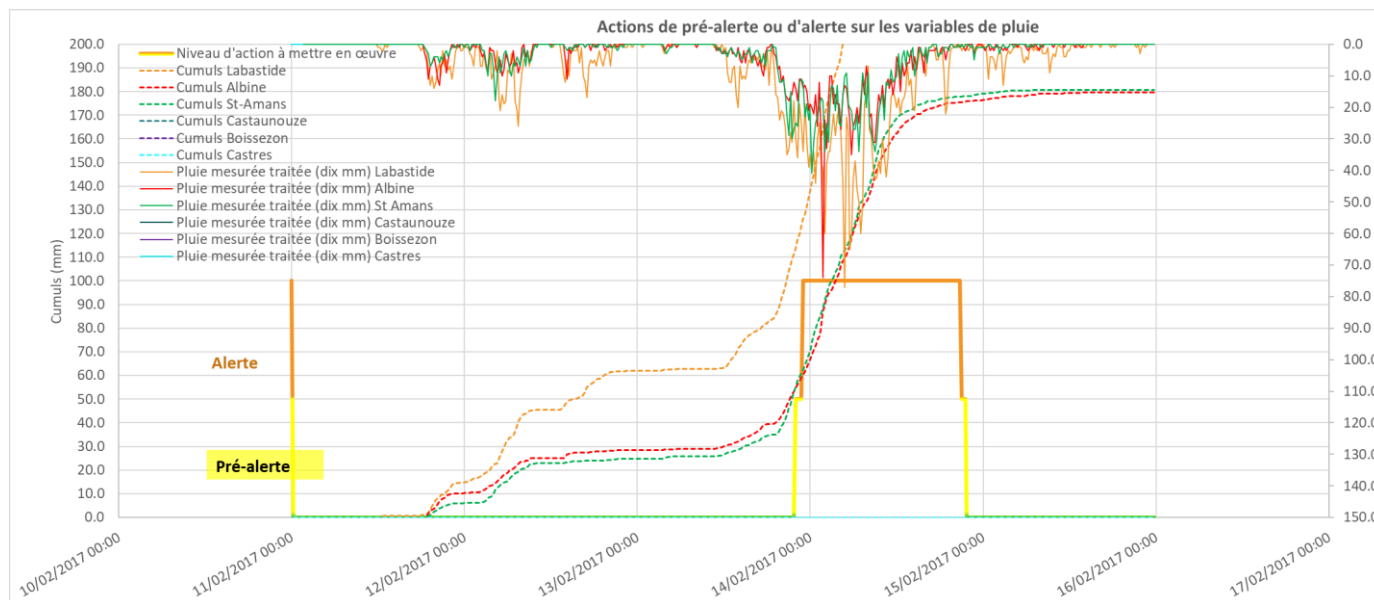


Illustration 100 : Février 2017 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.

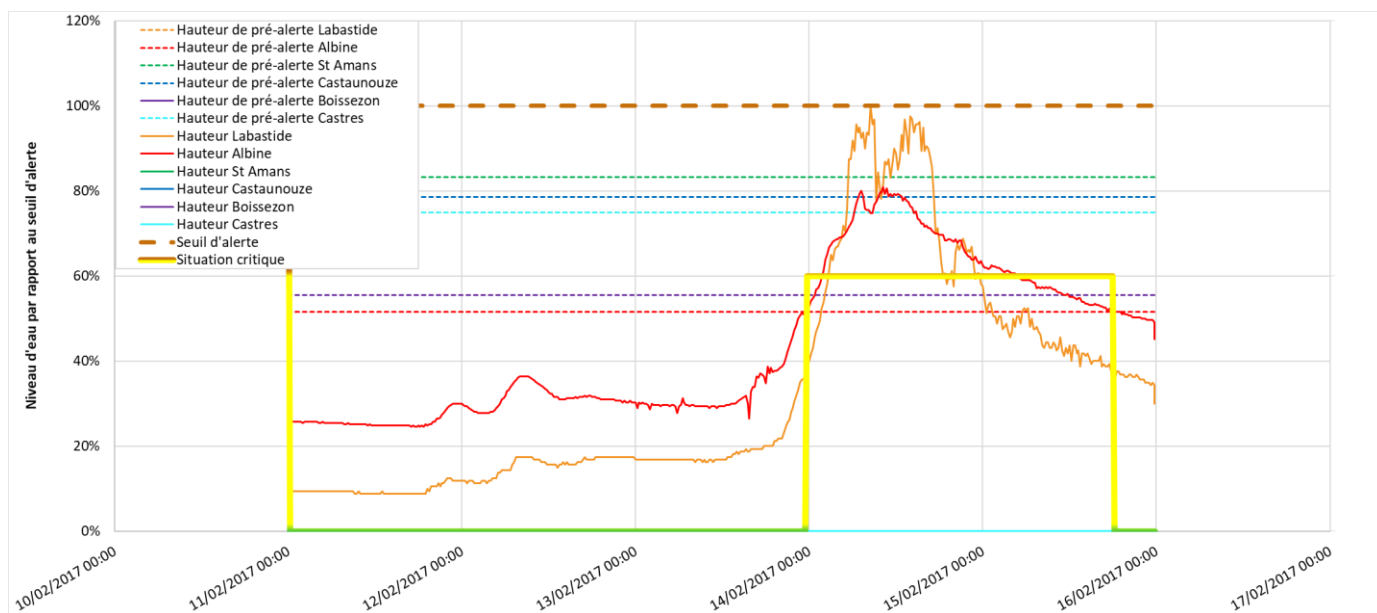


Illustration 101 : Février 2017 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.

Configuration sols saturés

Dans cette configuration, la pré-alerte aurait eu lieu 2h plus tôt et l’alerte environ 4h plus tôt, un gain de temps précieux pour organiser la prévention, les interventions et la mise en sécurité des riverains.

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	13/02/2017 19h30 (2h plus tôt)	13/02/2017 20h45 (4h plus tôt)
Hauteur	14/02/2017 00h00	-

Tableau 27 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d’alerte lors de l’événement de février 2017 – configuration « sols saturés ».

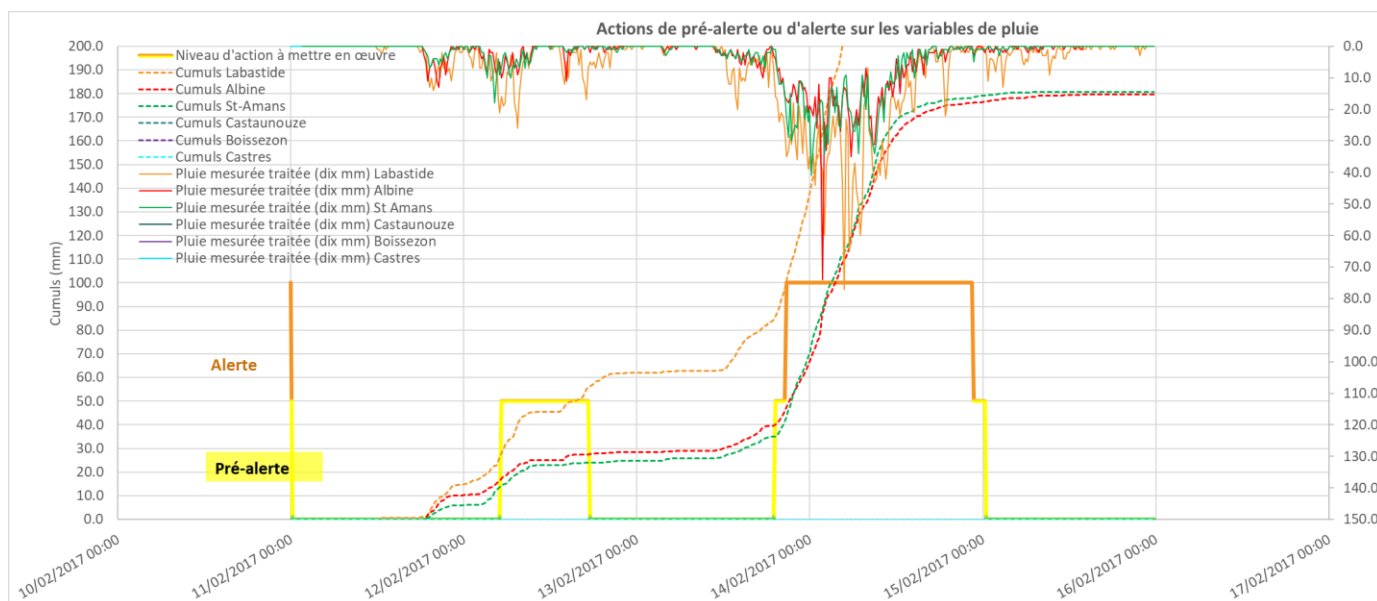


Illustration 102 : Février 2017 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration « sols saturés ».

D.III.1.1.4. Octobre 2018

Pour l'événement de 2018 on enregistre jusqu'à 250 mm de précipitations avec des intensités pouvant atteindre la période de retour 50 ans. En conséquence on atteint rapidement les seuils de pré-alerte et d'alerte sur les variables pluviométriques.

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	0.25	0.5	1	2	3	4	6	8	10	12
Labastide	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte
Albine	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte
St Amans	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte

Tableau 28 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement d'octobre 2018 – configuration par défaut.

Les dépassements des seuils sur la pluviométrie interviennent très tôt par rapport à la montée des eaux dans le réseau hydrographique : plus de 5h pour le seuil de pré-alerte et 7h30 pour l'alerte.

Cet événement est intéressant dans le sens où les alertes de pluie sont actives alors que rien n'est encore constaté au niveau des stations de mesure de hauteur. Cela témoigne également de la nécessité de s'appuyer en priorité sur les informations de pluie pour préparer la prévention et lancer les alertes auprès des riverains.

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	14/10/2018 19h15	15/10/2018 00h30
Hauteur	15/10/2018 05h00	15/10/2018 08h00

Tableau 29 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement d'octobre 2018 – configuration par défaut.

Les figures suivantes donnent une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables pluviométriques et hauteurs d'eau avec les paramètres par défaut.

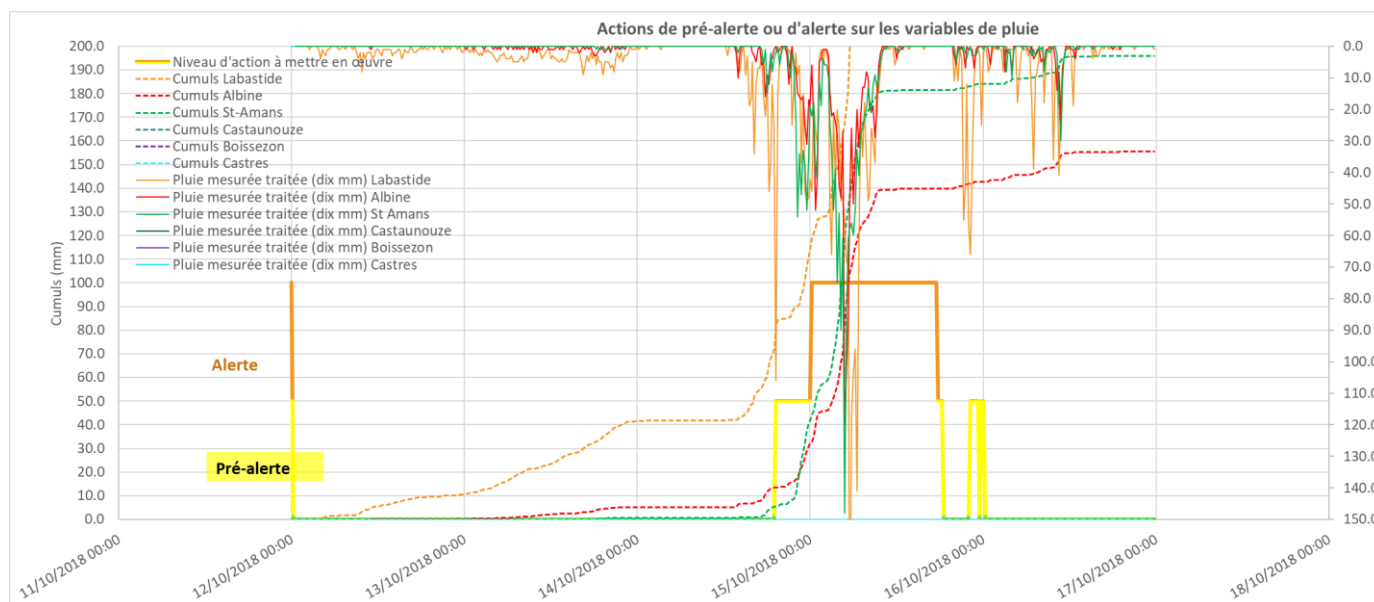


Illustration 103 : Octobre 2018 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.

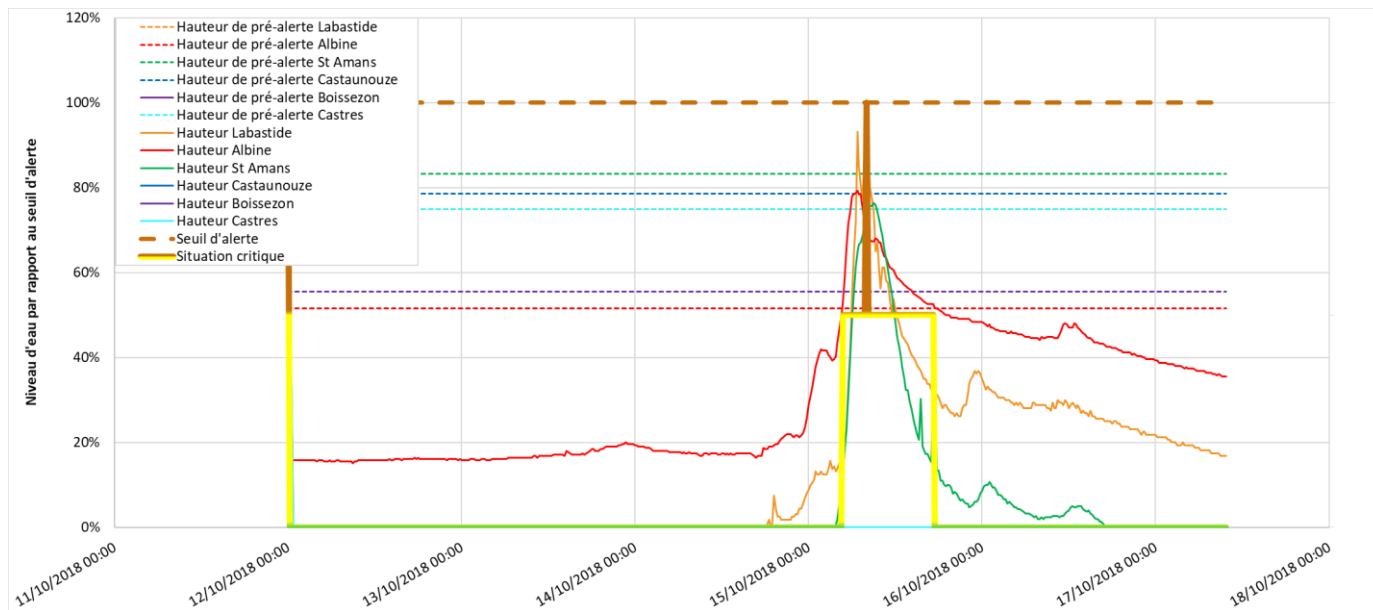


Illustration 104 : Octobre 2018 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.

D.III.1.1.5. Mai 2020

L'événement de mai 2020 a plutôt touché le bassin de la Durenque mais aucune station de mesure (pluie ou hauteur d'eau) n'était disponible à ce moment.

Les cumuls semblent en effet très hétérogènes sur le territoire (entre 110 et 200 mm sur les 3 pluviomètres disponibles) avec une période de retour qui ne dépasse pas 10 ans sur le Thoré.

Malgré tout, les intensités qui se produisent sont suffisantes pour dépasser les seuils de pré-alerte et d'alerte.

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	15 min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h
Labastide				Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte
Albine			Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte
St Amans										Pré-alerte

Tableau 30 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement de mai 2020 – configuration par défaut.

La pré-alerte sur la pluie est donnée très en amont (plus de 7h avant la pré-alerte sur les hauteurs d'eau), en revanche le laps de temps entre l'alerte sur les variables et pluie et l'alerte sur les hauteurs d'eau est plus réduit (2h).

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	11/05/2020 18h15	12/05/2020 02h30
Hauteur	12/05/2020 02h00	12/05/2020 04h30

Tableau 31 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de mai 2020 – configuration par défaut.

Les figures suivantes donnent une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables pluviométriques et hauteurs d'eau avec les paramètres par défaut.

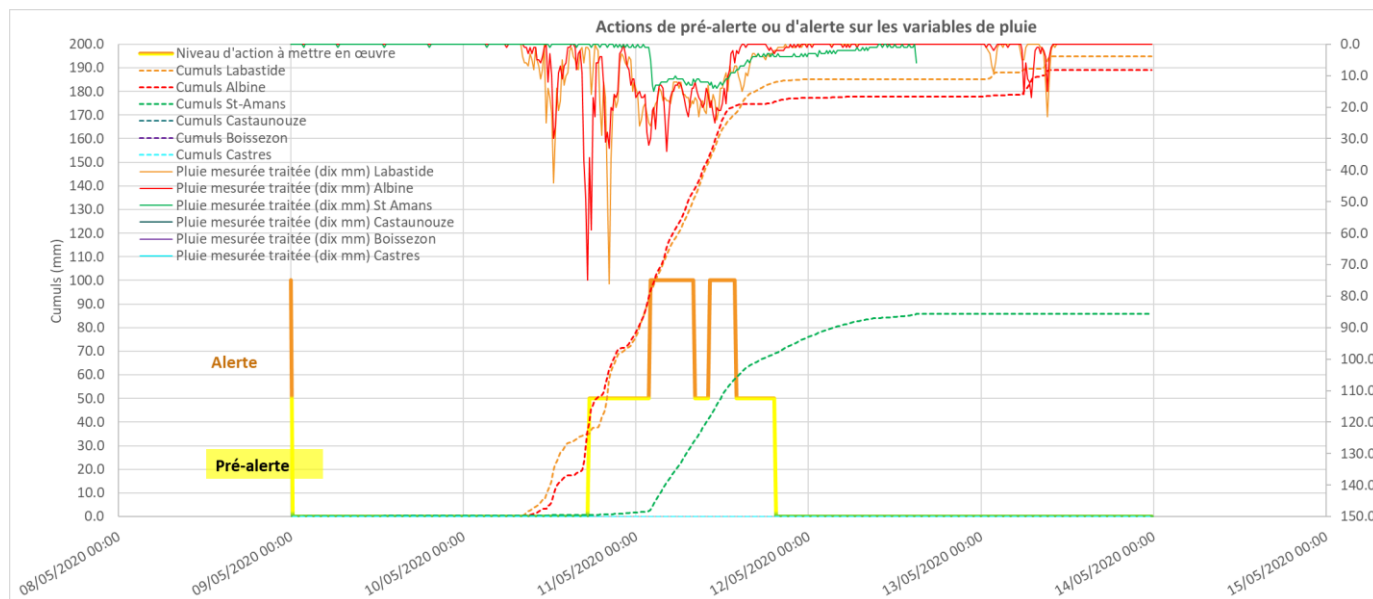


Illustration 105 : Mai 2020 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.

Remarque : sur les mesures de hauteur il faut prendre garde aux artefacts d'acquisition conduisant à des valeurs aberrantes susceptibles de déclencher des alertes sans raison (cas ci-dessous).

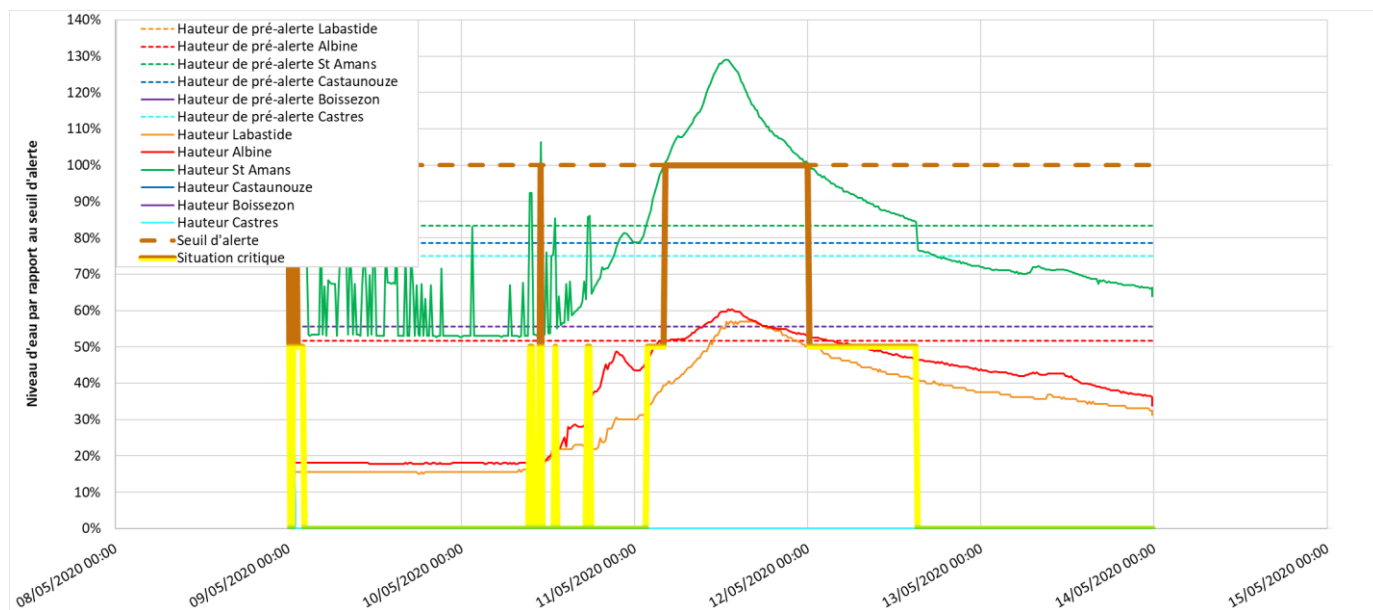


Illustration 106 : Mai 2020 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.

D.III.1.1.6. Février 2021

Comme pour l'épisode de mai 2020, l'événement de février 2021 concerne essentiellement le bassin de la Durenque mais aucune station de mesure n'y était disponible. On enregistre au maximum 200 mm et les intensités sont inférieures à la période de retour 5 ans

La paramétrisation par défaut qui a été renseignée dans l'outil semble bien adaptée ici. Elle permet la mise en œuvre d'une pré-alerte et d'une alerte progressive et cohérente avec la dynamique de l'événement qui s'est produit.

Niveau d'alerte maximal durant l'événement	15 min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h
Labastide				Pré-alerte	Pré-alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte
Albine						Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte
St Amans					Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte	Pré-alerte

Tableau 32 : niveaux d'alerte sur la pluie pour différentes durées lors de l'événement de février 2021 – configuration par défaut.

La pré-alerte sur la pluie apparaît suffisamment tôt (4h30 avant la pré-alerte sur les hauteurs d'eau). Un seul pluviomètre dépasse les seuils d'alerte, ce qui paraît cohérent puisqu'aucune des 3 stations mesurant la hauteur d'eau n'atteint ce niveau d'alerte.

Heure de déclenchement	Pré-alerte	Alerte
Pluie	22/02/2021 13h30	22/02/2021 16h30
Hauteur	22/02/2021 18h00	-

Tableau 33 : Heures de dépassement des seuils de pré-alerte et d'alerte lors de l'événement de février 2021 – configuration par défaut.

Les figures suivantes donnent une représentation graphique des résultats obtenus sur les variables pluviométriques et hauteurs d'eau avec les paramètres par défaut.

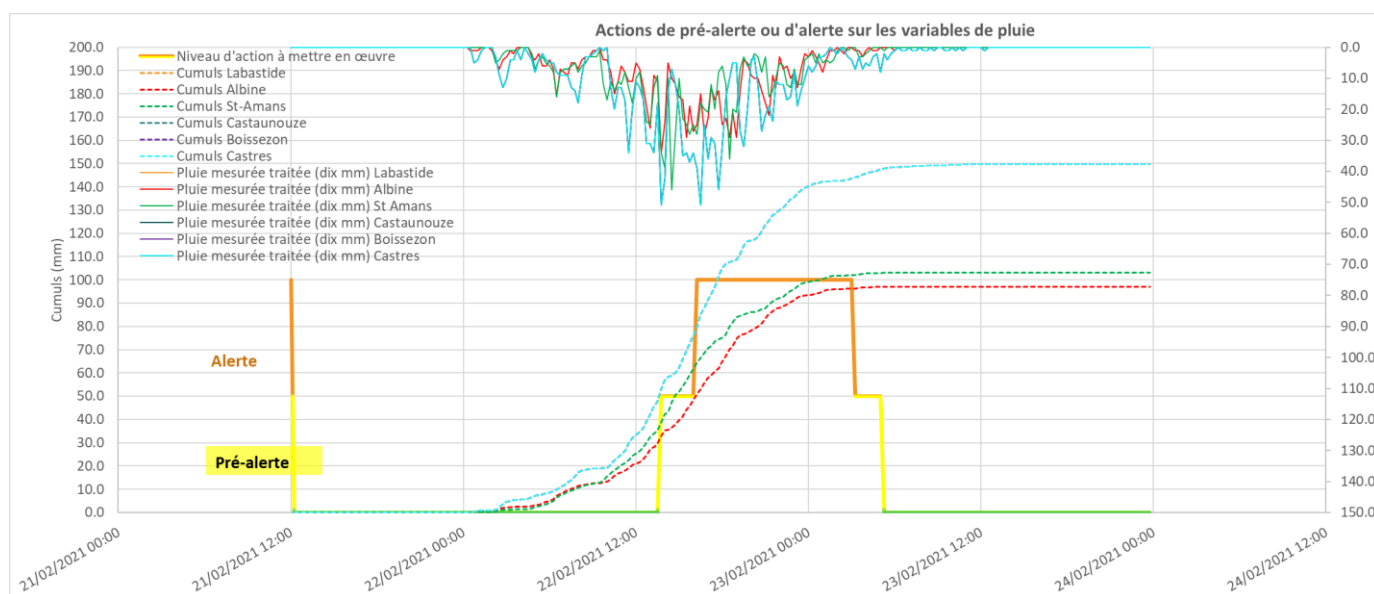


Illustration 107 : Février 2021 - déclenchement des alertes sur les variables pluviométriques – configuration par défaut.

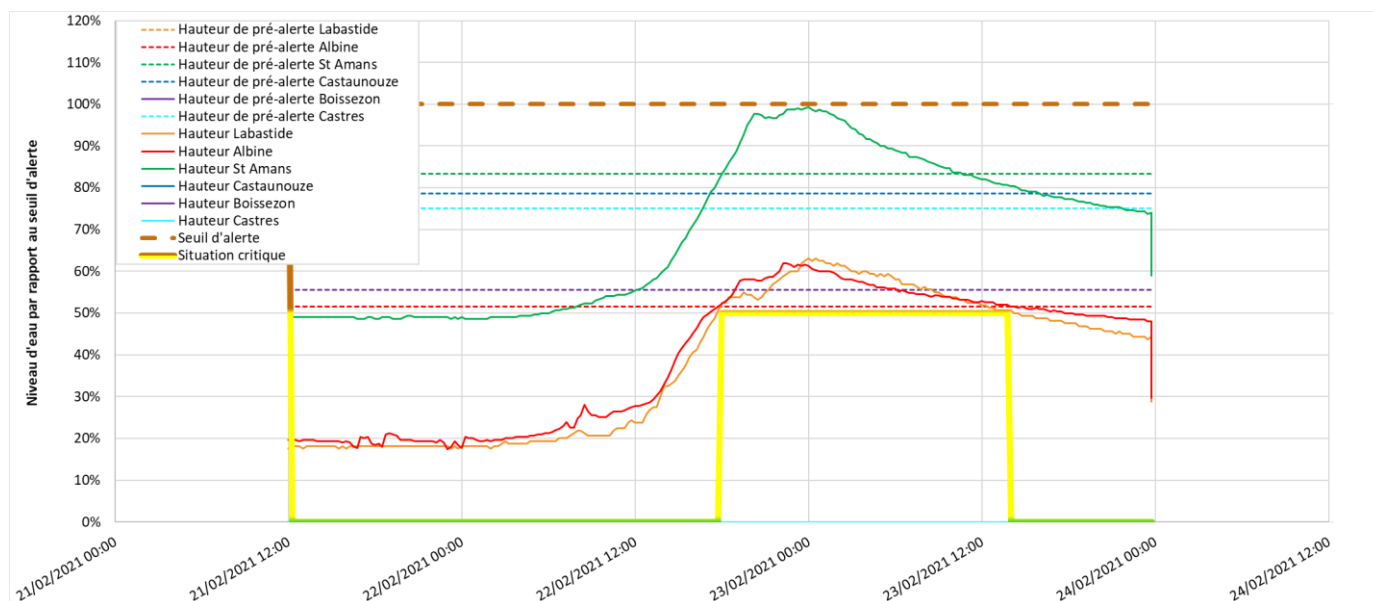


Illustration 108 : Février 2021 - déclenchement des alertes sur les variables de hauteur d'eau.

D.III.1.1.7. Conclusions sur les seuils d’alerte proposés

La configuration proposée des seuils d’alerte pluviométriques donne des résultats satisfaisants sur les 6 événements passés qui ont été analysés. Les seuils d’alerte semblent mieux proportionnés par rapport aux observations de terrain.

Seule l’expérimentation de ces nouveaux seuils permettra de les valider. La modularité de la solution proposée est un gage que le syndicat et/ou les acteurs pourront mettre à jour ces seuils de manière indépendante.

Les résultats issus de l’outil montrent l’importance de bien caractériser l’état des sols en début et en cours d’événement :

- Indiquer des sols saturés risque de produire des alertes disproportionnées si les sols ne sont pas réellement chargés d’eau.
- Au contraire, sous-estimer la saturation des sols peut être préjudiciable dans l’anticipation de l’alerte avec un retard pouvant être important dans le déclenchement des dépassements de seuils pluviométriques.

Un regard d’expert est donc nécessaire pour bien apprécier le niveau de sévérité de l’événement en cours.

D.IV. CONCLUSIONS

La présente étude avait pour premier objectif d'établir un état des lieux des bassins versants du Thoré et de la Durenque. En effet, le dernier diagnostic qui avait eu lieu avait été effectué près de 15 ans plus tôt dans le cadre de la mise en œuvre du premier système d'alerte de crue par le cabinet Hydro-m.

Cette étude méritait quelques compléments :

- D'une part car les outils, notamment cartographiques et SIG, ont nettement évolué.
- D'autre part car les stations de mesure mises en œuvre ont permis l'acquisition de longues chroniques de données qui apportent des éléments d'analyse plus fins que ce qui était à la disposition d'Hydro-m en 2005.
- Enfin, plusieurs événements météorologiques notables sont survenus sur le bassin versant depuis la mise en place du premier SDAL et de ses stations de mesure.

Le SDAL initial était très complet sur l'analyse des événements passés mais, faute de stations de mesure, l'étude des temps de transfert entre les différents points d'intérêt du bassin avaient été calculés par des formules empiriques généralement approximatives.

La méthodologie proposée ici se base sur un modèle hydrologique spatialement distribué permettant d'analyser finement le comportement du bassin versant en crue. Celui-ci a été créé et calé sur 6 événements récents puis utilisé pour tester différents scénarios de pluies statistiques. Les résultats ont permis d'évaluer les temps de transfert entre les stations de mesures et les enjeux.

La principale conclusion suite à l'analyse de ces résultats est que la majorité des enjeux voient arriver le pic de crue en moins de 4h à compter du pic d'intensité de pluie. Ce délai est très court pour permettre d'alerter les riverains et lancer les procédures de mise en sécurité des différents enjeux sur le territoire. En conséquence, nous avons fait le choix de créer un outil d'alerte de crue basé en priorité sur l'exploitation des relevés pluviométriques.

En effet, les données de pluie sont plus pertinentes dans le sens où elles permettent de mieux anticiper la montée des eaux si les seuils de pré-alerte et d'alerte sont correctement définis.

Les relevés de hauteurs servent à valider le degré de gravité de l'événement mais si cette donnée était utilisée seule l'alerte serait systématiquement lancée trop tard.

L'outil développé a été analysé sur les 6 événements récents et permet de bien anticiper l'alerte avec une gestion de la gravité de l'épisode très satisfaisante. Cet outil a été conçu pour être parfaitement adaptable et modulable en fonction de l'expérience acquise par le syndicat et les acteurs de la gestion de crise.

Deux niveaux d'affichage sont disponibles :

- Un **affichage simplifié** permettant d'identifier rapidement les stations sur lesquelles des seuils de pré-alerte ou d'alerte ont été franchis. Une visualisation graphique est également proposée de manière à avoir une idée de la structure et de la dynamique du phénomène en cours. Cette feuille est surtout à destination des personnes n'ayant pas une maîtrise poussée des outils hydrologiques (ex : élus impliqués dans les procédures d'alerte contre les inondations).
- Un **affichage expert** avec la possibilité de modifier les paramètres de déclenchement des seuils en fonction de la structure de l'événement et des conditions hydrologiques (ex : état de saturation des sols). Nous insistons sur le fait qu'une expertise hydrologique est indispensable dans l'analyse des phénomènes météorologiques extrêmes de manière à bien caractériser la gravité de l'événement et de degré d'alerte à mettre en œuvre auprès des riverains.

Une incertitude demeure quant aux seuils de hauteurs sur les trois nouvelles stations gérées par le Syndicat (Castaunouze, Boissezon et Castres) mais celle-ci ne pourra être levée que par l'analyse de terrain et les retours d'expérience sur les événements de crue à venir. Ces seuils pourront être ajustés en fonction des situations rencontrées.

Finalement, l'outil développé permet de disposer d'un outil sobre pour l'alerte de crue. Celui-ci sera intégré au système de supervision actuel de manière à automatiser les exports et le traitement des données enregistrées aux stations.