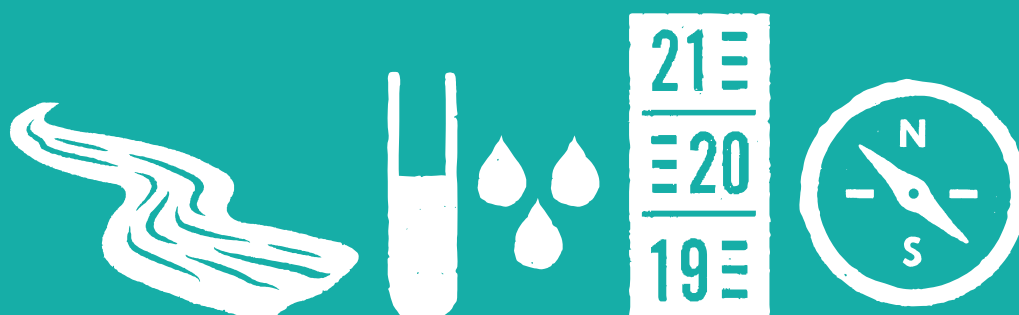




ETUDE POUR L'AMELIORATION DU SYSTEME DE SURVEILLANCE DES CRUES Rapport



Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	22/01/2021	Version 0 – pour relecture SPC-Noel Watrin sur parties pages 1 à 23
1	04/02/2021	Version 1 – pour présentation Cotech du 09/02/2021
2	16/07/2021	Version 2 : complément version 1 avec analyse hydrologique et relecture Philippe Larinier - Oteis
3	30/11/2021	Version 3 : version 2 consolidée avec adaptations en vue de la clôture de la mission (limitation de la mission sur partie analyses hydrauliques et définition des outils de surveillance)
4	15/12/2021	Version 4 : relecture Cotech, intégration des remarques sur V3 et compléments sur analyses hydrauliques et définition des outils de surveillance

Affaire portée par

PNRGC – Naima CATZ, animatrice PAPI Tarn Dourdou Rance avec l'assistance de Noël WATRIN - DREAL-SPC (Etape 1) et de Philippe LARINIER et Guillaume CAVALIER – OTEIS (Etape 2)

Rédacteurs :

Naima CATZ – Noël WATRIN (DREAL-SPC) – Guillaume CAVALIER (PNRGC-OTEIS)

Relecteurs :

Noel Watrin (relecture de la V0)

Philippe LARINIER (relecture de la V2)

Noel Watrin et Anthony Dulain (relecture V3)

SOMMAIRE

SOMMAIRE	5
1. PREAMBULE	1
2. CONTEXTE	1
2.1. LE BASSIN VERSANT TARN-DOURDOU-RANCE.....	1
2.2. LA PROBLEMATIQUE.....	3
2.3. LA STRATEGIE RETENUE POUR L'AMELIORATION DU SYSTEME DE SURVEILLANCE.....	3
3. OBJECTIFS ET DEROULE DE L'ETUDE	5
3.1. OBJECTIFS DU SYSTEME DE SURVEILLANCE DES CRUES A METTRE EN PLACE.....	5
3.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	6
3.3. DEROULE DE L'ETUDE	6
4. RESTITUTION ETAPE 1 : SITES ET SCENARIOS.....	7
4.1. DEFINITION DES SECTEURS D'ETUDE.....	7
4.2. CHOIX DES SITES POTENTIELS DE SURVEILLANCE.....	10
4.2.1. Critères de sélection	10
4.2.2. Remarques sur les équipements.....	11
4.2.3. Bassin versant du Rance.....	13
4.2.4. Bassin versant du Dourdou.....	15
4.2.5. Bassin versant de la Sorgues.....	18
4.3. SYNTHESE ET COUTS A PREVOIR.....	21
4.3.1. Couts d'investissement et dommages évités.....	21
4.3.2. Couts de fonctionnement et scénarios.....	22
4.3.3. Conclusions.....	25
A. Justification économique du projet.....	25
B. Gestion et maintenance.....	25
C. Choix du scénario	25
5. RESTITUTION ETAPE 2 : ANALYSES HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	26
5.1. RAPPEL DU CONTEXTE.....	26
5.2. RAPPEL DES OBJECTIFS, METHODOLOGIE ET RESULTATS ATTENDUS.....	27
5.3. LIMITES DE LA MISSION REALISEE DANS LE CADRE DU PAPI D'INTENTION.....	28
5.3.1. Analyses réalisées.....	28
5.3.2. Sites retenus pour les analyses complémentaires.....	28
A. Choix des 10 sites prioritaires.....	28
B. Autres sites et analyses.....	29
5.4. RECUEIL DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET HYDROMETRIQUES.....	30
5.4.1. Données pluviométriques collectées.....	30
A. Les données aux stations pluviométriques DREAL et EDF.....	31
B. Données issues des radars météorologiques.....	31
C. Les données statistiques issues de traitement régionalisé (données SHYREG – Météo-France-INRAE).....	32
5.4.2. Données hydrométriques collectées.....	32
A. Données disponibles aux stations DREAL-SPC.....	34

B.	Autres données recensées.....	35
5.5.	METHODOLOGIE ET RESULTATS.....	37
5.5.1.	<i>Analyse hydrologique</i>	37
A.	Le logiciel ATHYS.....	37
B.	Présentation des données d'entrée.....	40
C.	Paramètres de calage.....	46
D.	Choix des paramètres et résultats des calages.....	47
E.	Résultats des modélisations au droit des sites de surveillance projetés	50
F.	Conclusions.....	51
5.5.2.	<i>A retenir pour la poursuite du projet</i>	53
5.5.3.	<i>Analyse hydraulique</i>	54
A.	Rappel du contexte et des objectifs.....	54
B.	Approche et outil de modélisation.....	55
C.	Choix des données d'entrées et paramètres de calage.....	59
D.	Calage.....	67
E.	Résultats : cas de Latour.....	70
5.5.4.	<i>Eléments opérationnels à destination des élus</i>	77
A.	Principes et méthodologie.....	77
B.	Illustration d'un outil de gestion opérationnelle	80
C.	Conclusions et remerciements	82
	LISTE DES ANNEXES.....	83

Liste des cartes

Carte 1 : bassins versants et superficies	2
Carte 2 : dispositifs de vigilance et d’alerte sur l’UHR	4
Carte 3: niveau d’exposition des communes du territoire Tarn-Dourdou-Rance	9
Carte 4 : sites de surveillance pré-identifiés.....	12
Carte 5: sites de surveillance projetés et scénarios	24
Carte 6 : localisation des données pluviométriques collectées	30
Carte 7: rappel des stations de surveillance existantes et projetées (surveillance automatisée ou visuelle)	33
Carte 8: Carte lithologique simplifiée (source PNRGC – 2019-2020)	41
Carte 9: Choix des limites de bassin – exemple caractéristique pour la Sorgues	42
Carte 10: Comparaison des limites du BV de la Sorgues définies dans l'étude et calculées par ATHYS.....	43
Carte 11: Cumul des pluies	45
Carte 12 : localisation des levés terrestres	61
Carte 13 : zones inondées pour octobre 2019 (en bleu) et pour une crue "exceptionnelle"	71
Carte 14 : exemple de support type cartographie des zones inondées potentielles.....	82

Liste des tableaux

Tableau 1: Sites de surveillance pré-identifiés et priorités - Rance	13
Tableau 2 : calcul des temps d'anticipation – Rance – scénario minimaliste.....	13
Tableau 3 : calcul des temps d'anticipation – Rance – scénario principal et optimal	14
Tableau 4: Sites de surveillance pré-identifiés et priorités - Dourdou et affluents	15
Tableau 5: calcul des temps d'anticipation – Dourdou et affluent – scénario minimaliste	16
Tableau 6: calcul des temps d'anticipation – Dourdou et affluent – scénario principal.....	17
Tableau 7 : Sites de surveillance pré-identifiés et priorités - Sorgues	18
Tableau 8: calcul des temps d'anticipation – Sorgues – scénario minimaliste.....	19
Tableau 9: calcul des temps d'anticipation – Sorgues – scénario principal	20
Tableau 10: présentation par branche et scénarios des équipements, coûts hors fonctionnement, habitations et dommages évités.....	21
Tableau 11 : synthèse des couts et dommages évités pour les différents scénarios.....	22
Tableau 12 : rappel des sites pertinents pour la mise en place d'une surveillance automatique ou visuelle	29
Tableau 13 : collecte des données pluviométriques aux stations terrestres	31
Tableau 14 : collecte des données pluviométriques radar.....	31
Tableau 15 : informations aux stations DREAL-SPC.....	34
Tableau 16: Récapitulatif des données collectées	36
Tableau 17 : Détermination du paramètre S.....	47
Tableau 18 : Paramètres du modèle hydrologique	48
Tableau 19 : Analyse des volumes précipités / ruisselés	49
Tableau 20 : Temps de propagation calculés	51
Tableau 21 : Choix des types de modèles	58
Tableau 23 : Abaque CEMAGREF - estimation des coefficients de Strickler	66
Tableau 24 : comparaison des débits et débits spécifiques pour la crue d'octobre 2019	68
Tableau 25: exemple de résultats – vitesses moyennes en lit et en berge rive droite, sections d'écoulement et emprise.....	72

Liste des figures

Figure 1 : Comparaison des modèles globaux et distribués	37
Figure 2 : Schéma de principe de la modélisation hydrologique	38
Figure 3 : Schéma de principe du modèle SCS	39
Figure 4 : Modèle numérique de Terrain et détail du modèle de drainage	42
Figure 5 : Modèle de drainage brut avant traitement des dépressions – Détail du plateau du Guilhaumard.....	44
Figure 6 : Hydrogramme de calage du modèle Rance - Novembre 2014	48
Figure 7 : Hydrogramme de calage du modèle Sorgues - Novembre 2014	49
Figure 8 : Hydrogrammes calculés sur le bassin versant de la Sorgues - Septembre 2014	50
Figure 9 : Approche 1D.....	57
Figure 10 : Approche 2D.....	57
Figure 11 : Données topographiques disponibles	59
Figure 12 : Modèle numérique de terrain – site de Fondamente : avant et après intégration des données levées en lit mineur	62
Figure 13 : site de Lascazes - création d'un MNT à partir des données issues des levés terrestres	62
Figure 14 : construction du modèle - exemple de Latour (cf. annexe 9)	63
Figure 15: débits modélisés - exemple de Latour (cf. annexe 9)	64
Figure 16: pente pour condition aval et coefficients de Strickler – exemple de Latour (cf. annexe 9).....	65
Figure 17 : exemple de résultats – profil en long des lignes d'eau, lignes d'énergie et ligne hauteur critique.....	72
Figure 18 : profil des vitesses en lit et rive droite	75
Figure 19 : courbe de tarage - exemple de Latour.....	77
Figure 20 : engagement des communes pour la capitalisation des données au droit des sites avec pose d'échelle.....	79
Figure 21 : rappel de la formule de Myer.....	81

1. Préambule

Le territoire Tarn-Dourdou-Rance (+ de 1700km²) se trouve exposé à des inondations causées essentiellement par des phénomènes de débordements de cours d'eau. On distingue 4 principaux bassins versant : le Tarn, la Sorgues, le Dourdou et le Rance, pour un total de 45 communes soumises au risque inondation, dont 14 avec un niveau d'exposition qui peut être caractérisé de fort à très fort (Cf. rapport d'évaluation des PCS – juin 2020 en annexe).

Les derniers évènements en date de septembre et novembre 2014 et leurs conséquences (hôpital de Saint-Affrique fermé 6 mois, 600 déclarations de sinistres, une soixantaine d'entreprises touchées, de nombreuses infrastructures publiques endommagées) ont remis en lumière la vulnérabilité du territoire, et joué un rôle de catalyseur dans la prise de conscience politique de la prévention des inondations.

Ainsi, les élus ont souhaité s'engager dans une dynamique de PAPI, dont la phase de mise en œuvre a débuté en 2018 et devrait se terminer fin 2021.

Dans ce cadre, il est prévu la réalisation d'une **étude pour l'amélioration du système de surveillance des crues, qui comporte deux étapes** :

- Une première étape visant à identifier les sites potentiels jugés pertinents pour la surveillance des crues et à définir sommairement les types d'équipement envisageables pour la surveillance et les coûts associés ;
- Une seconde étape visant à préciser les éléments hydrologiques et hydrauliques sur les sites de surveillance.

C'est l'objet du présent rapport.

2. Contexte

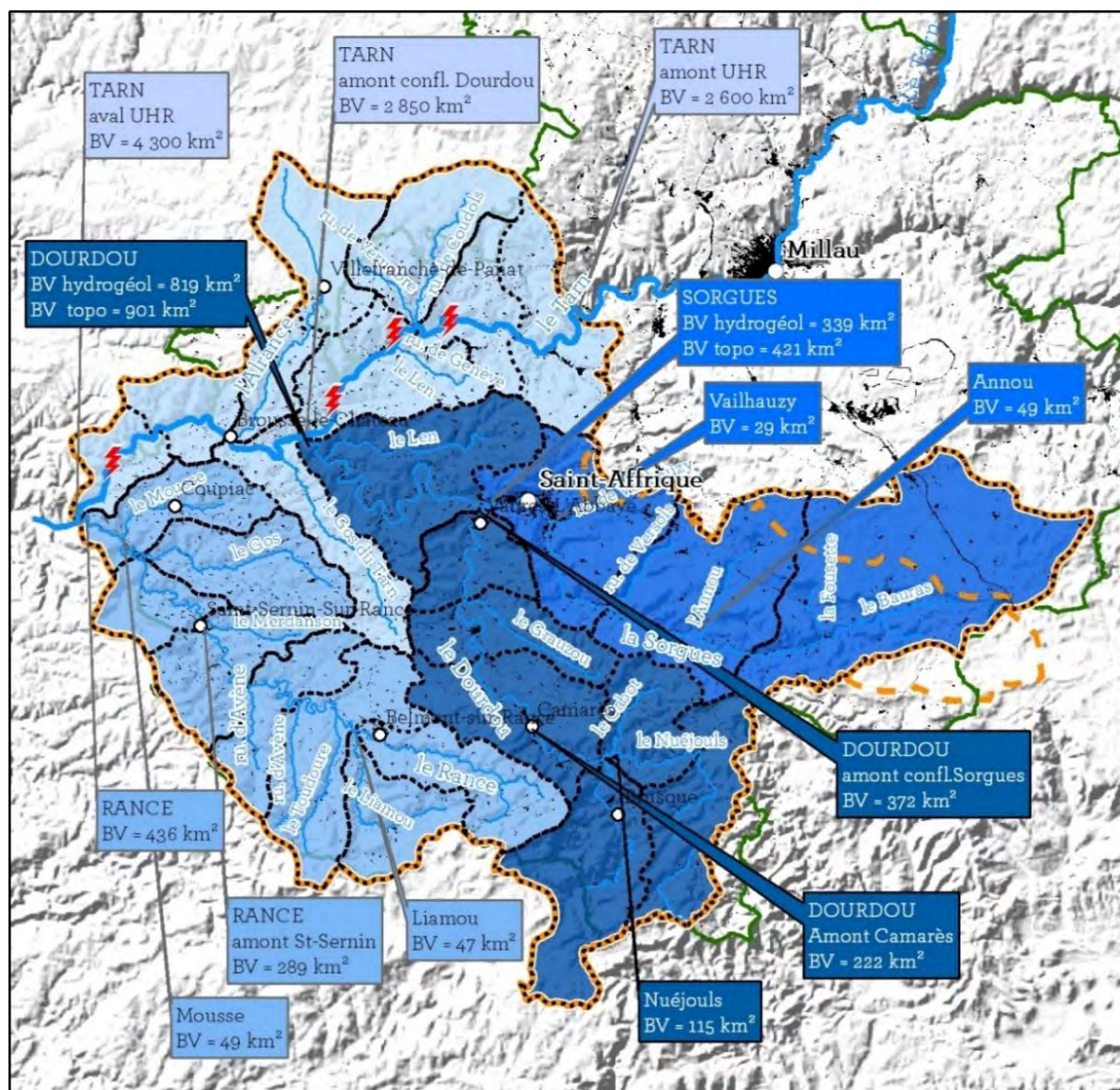
2.1. Le bassin versant Tarn-Dourdou-Rance

Le bassin versant Tarn-Dourdou-Rance correspond à l'unité hydrographique de référence (UHR) défini dans le cadre du SDAGE, entité sur laquelle a été élaboré le PAPI d'Intention Tarn-Dourdou-Rance. Il comprend l'axe Tarn, qui draine une superficie de l'ordre de 2600 km² à l'entrée dans l'UHR, et les sous-bassins versants de ses deux principaux affluents : le Dourdou (et son affluent la Sorgues), et le Rance. La carte 1 en présente les principales caractéristiques.

A noter que le bassin versant comprend une partie karstique, qui impacte de façon non négligeable la définition des bassins versants, notamment sur la branche Sorgues et sur les parties amont des branches du Rance et du Dourdou.

Ces caractéristiques sont bien connues au sein du PNRGC compte tenu des études réalisées et/ou mandatées par le Parc ces dernières années. Elles seront prises en considération dans la définition des bassins versants, et les réactions hydrauliques attendues en cas d'évènements pluvieux intenses à l'origine des crues.

Carte 1 : bassins versants et superficies



Légende

Bassins versants

- La Sorgues
- Le Dourdou
- Le Rance
- Le Tarn
- Sous-bassins versants



Barrages concédés à EDF



Zones urbanisées/artificialisées



UHR Tarn Dourdou Rance



Limites hydrogéologiques



Parc naturel régional des Grands Causses

Carte réalisée par le Parc naturel régional des Grands Causses - Novembre 2017. Extrait des données AEAG, BD CARTEAGE, fond Open Street Map et BD TOPO 2016 de l'IGN, 2017.

2.2. La problématique

Si l'axe Tarn est couvert par les stations du SPC (cf. carte 2 page suivante), avec des délais d'anticipation relativement importants, et suffisants pour mettre en œuvre une gestion de crise satisfaisante, des améliorations pourraient être apportées sur les sous bassins du Dourdou et du Rance, en équipant les têtes de bassins versants par des stations de mesures et d'alerte locale, couplées à une chaîne d'alerte humaine.

En effet, les crues qui affectent la Sorgues, le Dourdou et le Rance sont violentes, rapides et caractérisées par des temps de réaction courts : quelques heures sur les cours d'eau principaux, à moins d'une heure sur certains affluents et têtes de bassin. **Gagner 1 h, 2 h voire 3 h pour mieux anticiper la gestion de crues permettrait de réduire les risques inondation, avec pour rappel trois objectifs stratégiques :**

- Augmenter la sécurité des populations exposées ;
- Réduire le coût des dommages liés aux inondations ;
- Raccourcir les délais de retour à la normale des territoires sinistrés.

Si des stations de mesures peuvent permettre d'améliorer la surveillance, ces équipements nécessitent cependant des analyses préliminaires, afin d'appréhender plus en détails :

- les différents scénarios techniques envisageables au regard des enjeux et du fonctionnement hydrologique des sous-bassins versants, et des effets attendus ;
- les coûts d'investissement à prévoir pour l'achat des équipements et les coûts de fonctionnement et de gestion (gestion de serveur, maintenance, astreinte, traitement de la donnée ...) ;
- la maîtrise d'ouvrage d'un tel système de surveillance nécessitant l'engagement d'un EPCI et une réflexion sur les modes de gestion à prévoir (externalisation ou pas de la maintenance, des procédures d'alerte, ...).

2.3. La stratégie retenue pour l'amélioration du système de surveillance

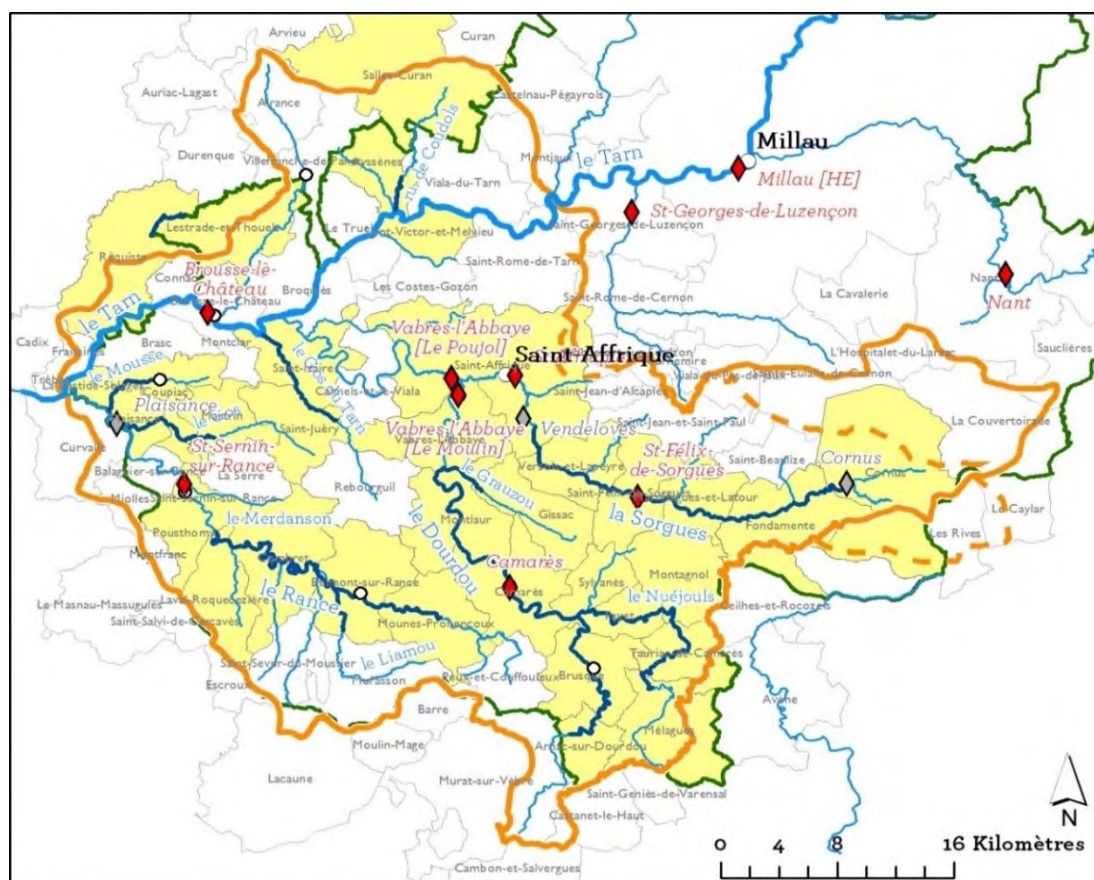
Dans le cadre du PAPI, l'animateur a eu à échanger avec les maires des communes concernées par le risque inondation, lesquels restent responsables, pour rappel, du déclenchement de l'alerte dans leur commune.

Par ailleurs, des discussions et concertations ont été menées avec les partenaires techniques (DDT – Mission RDI – SPC – services techniques de certaines communautés de communes), et un travail sur l'évaluation des PCS a été effectué récemment (avril à juin 2020), synthétisant notamment les niveaux et caractéristiques de l'exposition face au risque inondation des communes.

Sur la base de ces éléments de connaissance, l'amélioration du système de surveillance des cours d'eau apparaît pertinente, et, si l'idée d'un système automatisé est à creuser, il est nécessaire de réfléchir à un projet pouvant à la fois répondre aux attentes des maires, et correspondre aux moyens humains, techniques et financiers que le territoire pourrait engager dans ce projet.

Ainsi, un couplage « réseau de mesures » et « chaîne de surveillance humaine » pourrait être judicieux.

Carte 2 : dispositifs de vigilance et d'alerte sur l'UHR



Légende

Stations hydrométriques

- ◆ en fonctionnement
- ◇ ancienne station

— Tronçon éligible au dispositif d'alerte Vigicrues Flash

■ Communes éligibles au dispositif d'alerte Vigicrues Flash

— Périmètre UHR

- - - Périmètre hydrogéologique

■ Parc naturel régional des Grands Causses

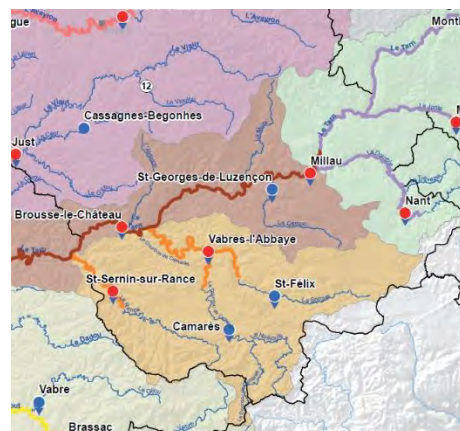
Légende

Stations DREAL

- Observation
- Prévision
- ▼ Pluviomètre

Tronçons de vigilance

- Tarn aval
- Aveyron - Viar
- Tarn moyen
- Haut Tarn
- Agout - Thoré
- Dourdou - Sorgues - Rance



Carte réalisée par le Parc naturel régional des Grands Causses - Novembre 2017. Extrait des données ALAG, BD CARTHAGE, fond Open Street Map et BD TOPO 2016 de l'IGN, 2017.

Le principe du dispositif de surveillance humaine (appelé aussi « réseau sentinelles » sur d'autres territoires ayant mis en place ce type de surveillance), basé sur la solidarité amont-aval, consiste en la mise en place d'un réseau d'observateurs sur le bassin versant, qui ont pour rôle la surveillance des phénomènes de montée des eaux. Les sentinelles contactent leurs élus communaux lorsque des seuils de vigilance et d'alerte sont dépassés dans les cours d'eau. Les élus ont alors pour rôle de transmettre le message d'alerte aux communes situées plus à l'aval.

Concernant le réseau de mesure, la stratégie est la suivante :

- mettre en place un réseau de mesures des hauteurs d'eau et de la pluie dans les cours d'eau, auquel pourront avoir accès les maires du bassin versant en temps réel;
- doter l'ensemble des « sentinelles » du dispositif humain d'alerte, de repères sur le terrain (via la définition de cotes de vigilance et d'alerte au droit d'échelles limnimétriques) leur permettant de déclencher les seuils de vigilance et d'alerte.

Il s'agit ainsi d'aider les maires dans la surveillance et l'analyse de la situation en cas de suspicion d'alerte. Il est bien précisé que la mise en place du réseau de mesures et la détermination des niveaux de vigilance et d'alerte sont envisagés comme des outils d'aides à la décision pour les maires, venant compléter les alertes météo ou préfectorales, et non comme un système autonome de prévision des crues.

3. Objectifs et déroulé de l'étude

3.1. Objectifs du système de surveillance des crues à mettre en place

L'objectif attendu à travers cette action est d'apporter aux communes **un niveau de surveillance des crues optimal** qui permette :

- ➔ d'augmenter les délais d'anticipation vis-à-vis des risques de débordement ;
- ➔ d'améliorer la qualité des prévisions actuelles qui couvrent peu ou mal certains secteurs notamment les communes situées sur l'amont des bassins versants ;
- ➔ d'améliorer la surveillance des crues avec un accompagnement des élus dans l'utilisation croisée des observations de terrain (définition de seuils de vigilance et d'alerte), et des outils existants (APIC, Vigicrues Flash).

A noter que la définition et la mise en place de **stations de mesures limnimétriques pourrait avoir comme objectif secondaire une amélioration des connaissances dans un souci de gestion quantitative de la ressource en eau** : de telles stations pourraient en effet permettre l'enregistrement des débits transitant en temps réel en plusieurs points du bassin versant, et l'alimentation de la base de données hydrologique nationale (banque Hydro), en complément des huit stations existantes (gestionnaire PNR des Grands Causses). Un rapprochement avec le SCHAPI (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations), service d'état gestionnaire de la banque Hydro sera à envisager au préalable, pour vérifier cette faisabilité : ce dernier autorise cette capitalisation en fonction de l'intérêt des stations proposées, mais également selon le gestionnaire de ces données, afin de garantir une qualité dans la production des données.

3.2. Objectifs de l'étude

La présente étude vise un double objectif, à savoir :

1. Apporter les éléments de réflexions aux élus du territoire afin d'enclencher une concertation sur la pertinence d'une telle action, en précisant les choix à envisager en matière de type de surveillance et mode de gouvernance ;
2. Apporter des éléments de connaissance hydrologiques et hydrauliques aux élus pour les accompagner dans une meilleure gestion du risque inondation, en optimisant l'exploitation d'observations de terrain croisée à l'utilisation des outils existants que sont APIC et Vigicrues Flash.

3.3. Déroulé de l'étude

Cette étude a été réalisée avec un déroulé en deux étapes, avec le soutien technique du service de prévision des crues (SPC) pour l'étape I, et du bureau d'étude OTEIS, pour l'étape II.

Etape 1 : Sites et scénarios

Deux phases ont été menées :

1. La définition des sites potentiels pour l'implantation de stations de mesure et/ou de points d'observation pour la surveillance humaine
2. La définition des équipements envisageables et des coûts associés selon différents scénarios (surveillance visuelle et/ou surveillance automatisé, nombre de station et type de matériel constituant le réseau de mesures).

Cette première étape permet d'appréhender, via une approche simplifiée, les besoins et possibilités en matière d'amélioration de la surveillance des crues, cela au vu :

- de l'exposition du territoire ;
- de la situation des enjeux vis-à-vis de la configuration des bassins versants.

Elle permet également d'appréhender les investissements associés à ces potentialités, et réfléchir dès l'amont sur les orientations à prendre pour le territoire.

Etape 2 : Analyses hydrologiques et hydrauliques

Une fois les sites identifiés, la seconde étape consiste :

- à préciser les délais d'anticipation en droit d'être attendus sur les zones à enjeux avec la mise en place de ce réseau de mesures et d'observation ;
- à analyser le fonctionnement hydraulique au droit de ces sites, pour une large gamme de débits, dont ceux estimés pour les crues récentes (septembre et novembre 2014, 2015 et octobre 2019), et établir une première base pour la définition de la courbe de tarage ;
- à définir les côtes de vigilance et d'alerte sur les différents sites recensés, qui correspondront aux stations ou aux points d'observation du bassin versant, en « rejoignant » notamment les événements récemment observés ;

- à établir des procédures type « retour d'expérience » pour capitaliser la donnée de crue sur ces sites, et améliorer progressivement la précision en termes de prévision sur les zones à enjeux.

Cette seconde étape se base sur un travail de modélisation, qui peut s'avérer complexe, avec des limites dans les résultats qui ne peuvent être évaluées en amont.

Ce travail permet néanmoins d'apporter des éclairages dans les fonctionnements hydrologiques et hydrauliques des bassins versants, qui ne remplaceront néanmoins jamais la qualité des données d'observations. D'où l'importance et l'intérêt pour le territoire de veiller à capitaliser ce type de données.

Enfin, les études et les éléments produits et présentés dans ce rapport pourront être exploitées pour approfondir encore ces analyses.

Dans le cadre de cette version consolidée, cette seconde étape a été revue, avec des adaptations en lien avec les contraintes imposées à la mission. Ces adaptations sont explicitées au paragraphe 5.3.

Si l'ensemble des analyses prévues dans cette seconde étape n'a pu être réalisé, elles n'en demeurent pas moins pertinentes ; aussi, on gardera en mémoire ces objectifs, afin de poursuivre ce travail dans le cadre du PAPI Complet, si la volonté de mettre en place un tel système est confirmée.

4. Restitution Etape 1 : Sites et scénarios

4.1. Définition des secteurs d'étude

Cette étape a été menée à partir de reconnaissances de terrain, sur les secteurs pertinents : au droit et en amont des enjeux pour lesquels les caractéristiques morphologiques des bassins versants interceptés permettent d'assurer un gain en matière d'anticipation¹.

Un premier travail d'analyse croisant exposition des enjeux et fonctionnement hydraulique sommaire des bassins a permis d'identifier trois secteurs pertinents :

- le secteur Rance amont ;
- le secteur Dourdou – amont, incluant les sous-secteurs Nuéjols et Cabot ;
- le secteur Sorgues amont.

¹ On rappellera qu'il s'agit d'améliorer la surveillance des cours d'eau, en complément de la surveillance déjà en place assurée par l'Etat via le SPC et l'outil Vigicrues. Aussi, le choix des secteurs tient bien évidemment compte des systèmes déjà en place (Cf. carte 2).

Sur le reste du réseau hydrographique, la configuration² « enjeux et/ou temps de réactions des bassins versants » et surveillance en place ne justifie pas de travailler sur une amélioration de la surveillance des crues.

→ **Sur le Rance amont**, on recense en effet trois communes non couvertes par le système Vigicrues, Mounes-Prohencoux, Belmont-sur-Rance et Combret, et pour lesquelles l'exposition peut être considérée comme « moyenne » à « forte ».

La configuration du bassin du Rance sur ce secteur devrait permettre d'assurer des prévisions avec des délais d'anticipation au-delà d'1h30 notamment sur Belmont, et d'augmenter la qualité des prévisions actuelles via Vigicrues sur les communes situées en aval (Plaisance-Curvalle et Labastide Solages) également exposées en matière de risque inondation.

→ **Sur le Dourdou amont**, et sur les branches Nuéjoul et Cabot, on recense également trois communes non couvertes par le système Vigicrues, Arnac-sur-Dourdou, Brusque et Camarès, pour lesquelles le niveau d'exposition peut être caractérisé de « très fort » ; À ces communes s'ajoutent celles de Fayet et de Sylvanès avec une exposition caractérisée de « moyenne », et une configuration des bassins-versants justifiant la prise en compte de ces affluents (Nuéjoul et Cabot) pour le Dourdou aval.

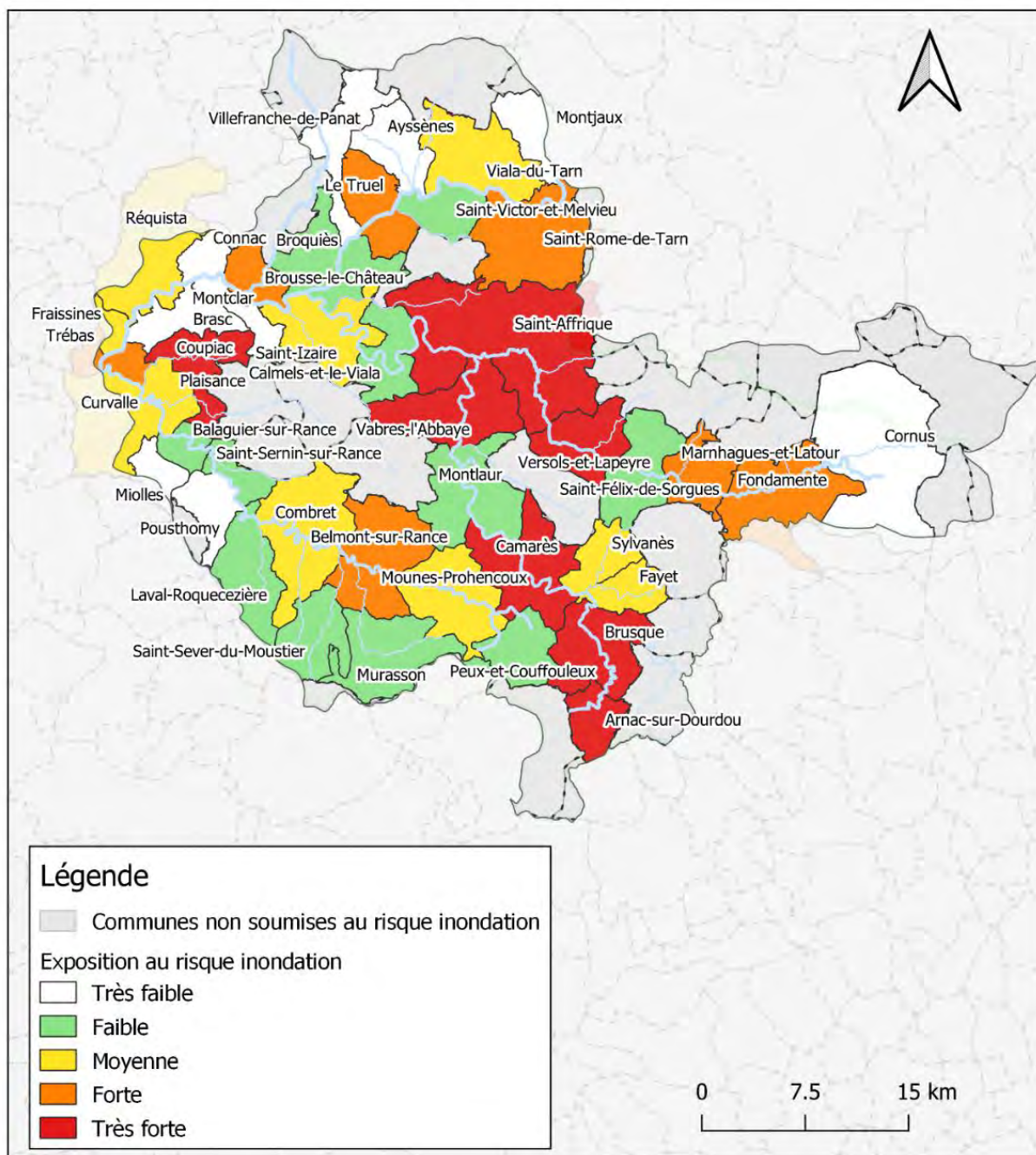
En travaillant sur une surveillance du haut Dourdou et de la Nuéjoul, il paraît possible en première analyse d'arriver à des niveaux d'anticipation de 1h30 à Fayet et à Brusque, et de 3 h à Camarès, en assurant dans le même temps une plus grande anticipation sur Vabres l'Abbaye, avec des anticipations de 5 h contre 2 h environ actuellement.

→ **Sur la Sorgues amont**, on recense deux communes fortement exposées : Fondamente et Marnhagues-et-Latour, non couvertes par le réseau Vigicrues, à laquelle s'ajoutent les communes de Versols-et-Lapeyre et de Saint-Affrique très fortement exposées ; la mise en place d'un réseau de surveillance sur cette branche Sorgue-amont pourrait assurer une anticipation de plus d'1h30 à Fondamente, et Marnhagues, et améliorer la prévision sur les communes aval, pour lesquelles ces délais sont aujourd'hui relativement court (2h à Saint Affrique) au regard des enjeux en présence.

² Cf. tableau en annexe 1

A noter que la connaissance de l'exposition du territoire vis-à-vis des risques inondation est connue de manière relativement précise grâce aux études et analyses réalisées de 2017 à 2020 dans le cadre du PAPI. La carte ci-dessous, issue du rapport d'évaluation des PCS (PNRGC – Juin 2020), synthétise cette exposition à l'échelle communale.

Carte 3: niveau d'exposition des communes du territoire Tarn-Dourdou-Rance



4.2.Choix des sites potentiels de surveillance

4.2.1. Critères de sélection

Sur les secteurs tels que définis précédemment, les sites potentiels ont été identifiés et retenus sur la base de reconnaissances de terrain, réalisées les 02 et 03 décembre 2020, par l'animatrice PAPI du PNRGC, assistée de l'expertise technique de la DREAL-SPC, en la personne de Noël Watrin.

Les critères de sélection sont de deux types :

1. Une sélection sur la pertinence du site vis-à-vis de l'objectif global recherché
2. Une sélection sur la priorisation des sites entre eux vis-à-vis des enjeux

Sur la pertinence des sites, les critères de sélection sont multiples, avec par ordre d'importance :

- ✓ la localisation vis-à-vis des secteurs à enjeux : il importe de n'être pas trop en amont afin de contrôler une part importante des apports du bassin intercepté et pas trop en aval afin de permettre une anticipation en termes de temps de propagation ;
- ✓ la configuration du site : le fonctionnement hydraulique au droit du site doit garantir une mesure de la hauteur de l'eau représentative au plus près de l'évolution de débits (présence d'un contrôle hydraulique stable), avec une sensibilité optimale pour les débits de crue, voire pour des mesures basses eaux³ ; de plus, doivent être pris en compte :
 - ☞ l'accessibilité des installations (échelle, station de télésurveillance, ...) pour la maintenance ;
 - ☞ les possibilités de positionnement des échelles pour qu'elles puissent être à portée de vue depuis un point hors d'eau en cas de forte crue ;
 - ☞ les contraintes d'installation pour un éventuel poste pluviométrique avec un dégagement suffisant (la présence d'arbres ou de bâtiments à proximité pouvant fausser les mesures) ;
 - ☞ et enfin les possibilités de transmission de la donnée (présence à proximité de réseau électrique, ou possibilité d'installer un panneau solaire, couverture du réseau de téléphonie mobile).

Concernant la priorisation des sites entre eux, elle s'est faite afin d'assurer une amélioration de la surveillance des crues en priorisant les secteurs les plus exposés ; ainsi pour chaque secteur, deux voire trois scénarios ont été proposés :

- ✓ Scénario minimaliste : correspond à la mise en place des sites de priorité 1
- ✓ Scénario principal : correspond à la mise en place des sites de priorité 1 et 2
- ✓ Scénario maximaliste le cas échéant : correspond à la mise en place des sites de priorité 1, 2 et 3

³ En lien avec l'objectif secondaire : suivi de la ressource en eau, notamment en période d'étiage

4.2.2. Remarques sur les équipements

Comme explicité précédemment (Cf. &2.3), l'équipement des sites peut être envisagé selon trois niveaux :

1. La pose d'une échelle limnimétrique (**Ech**) : cet équipement de base permet de définir une référence commune, stable et précise pour l'enregistrement des données en crue, que ce soit pour une surveillance visuelle simple, ou pour une surveillance automatisée. Dans ce second cas de figure, la présence de l'échelle limnimétrique garde toute son importance puisqu'elle permet de vérifier le fonctionnement des appareils de télémessure dans le cadre de la maintenance ;
2. La mise en place d'une station de télémessure limnimétrique (**St. H**) : ce type de station permet l'enregistrement en continu, ou à partir de seuils, de la hauteur d'eau dans le cours d'eau, la donnée étant disponible en temps réel, avec consultation à distance via internet ; la transmission se fait généralement par le réseau mobile téléphonique⁴. Elle intègre enfin des systèmes d'avertissement téléphoniques, qui peuvent être actionnés –envoi de sms ou d'appel direct- en cas de dépassement de seuils prédéfinis ;
3. La mise en place d'un poste pluviométrique (**St. P**) : ce type d'installation permet, en complément de la donnée de hauteur d'eau, d'améliorer encore l'anticipation. En effet, un délai non négligeable s'écoule entre la pluie qui tombe sur un bassin versant, et la réaction qui s'observe à l'exutoire de ce bassin versant : c'est ce que les hydrologues appellent le temps de réaction ou de réponse du bassin. Comme pour les relevés des hauteurs d'eau dans le cours d'eau, ces installations peuvent donner des alertes pluviométriques, avec l'envoi de SMS et/ou appels directs en cas de dépassement de cumuls de pluie.

La carte 4 page suivante présente les sites ayant fait l'objet d'une analyse de terrain. Les paragraphes suivants présentent pour chaque sous-bassin versant les sites retenus et les scénarios associés.

⁴ le réseau filaire devrait être abandonné à court terme et si une transmission par satellite ou radio peut être envisagée, cette solution est bien plus coûteuse

4.2.3. Bassin versant du Rance

Le tableau ci-dessous présente les sites potentiels, selon deux scénarios :

- Un scénario minimaliste, qui permet d'assurer une surveillance sur Belmont-sur-Rance ;
- Un scénario principal et optimal, qui assure une surveillance sur Belmont et Combret.

Priorité	Site	Caractéristiques BV – linéaire Rance	Equipement	Remarques concernant la surveillance des crues / basses eaux
1	S1 : Amont Belmont : La Coutarié / hameau de Pébounet	BV = 28 km ² PK = 49.1	H+P ou H	Site pertinent mais problème de réseau (absence de couverture réseaux mobile – projets de suppression des zones blanches ?) – autres sites à étudier si pas de solution (Prohencoux –cf. ci-dessous)
	S1 (alternative) : Prohencoux – pont de la RD	BV = 41 km ² PK = 44		Bon site de mesure avec bonne sensibilité / stabilité du contrôle en étiage pas garantie
1	S2 : Belmont centre	BV = 50 km ² Pk = 40.2	H+P ou H ou échelle seule	Si suivi visuel seul, procédure stricte à définir pour garantir la capitalisation des données
2	S3 : Amont Combret : site de Lascazes	BV = 134 km ² Pk = 34.5	H+P ou H	Site très pertinent / Site également pertinent pour suivi en basse eaux
2	S4 : Combret centre	BV = 198 km ² Pk = 25.6	H ou échelle seule	Echelle déjà en place (depuis 1960) à étendre ; procédure stricte à définir pour garantir la capitalisation des données
/	Saint Sernin	BV = 284 km ² PK = 17.3	Néant	Station de prévision DREAL – SPC déjà existante
2	S5 : Plaisance/Curvalle	BV = 385 km ² Pk = 6.5	Echelle seule	Suivi visuel seul avec procédure à définir pour garantir la capitalisation des données

Tableau 1 : Sites de surveillance pré-identifiés et priorités - Rance

❑ SCENARIO MINIMALISTE

Ce scénario permet une anticipation sur la commune de Belmont à exposition forte. Pour les communes plus à l'aval (Combret, Plaisance/Curvalle et la Bastide Solage), ce scénario ne permet pas une réelle surveillance avec un bassin-versant contrôlé qui reste trop limité (28 km² à 50 km² de La Coutarié à Belmont contre 200 km² à Combret, et 385 km² à Plaisance/Curvalle ...).

Données de base : Pente = 1.3 % à entre S1 et Belmont Linéaire = 8.9 km entre S1 et Belmont, et 23.5 km jusqu'à Combret, à 42.6 km jusqu'à Plaisance-Curvalle				
Anticipation	Totale	Dont temps de propagation depuis S1 (avec hyp. de 2.9 m/s)	Temps de réponse en S1	Superficie du BV et % contrôlée en S1 (BV = 28 km ²) ou S2 (BV=41 km ²)
Belmont avec hypothèse station S1 à Prohencoux :	~1h45 ~ 1h20	1 h ~ 20 min	+45 min + 1 h	50 (56 %) ou (82 %)
Combret	~ 3 h	2h30 ou 2h10	+ 45 min	200 (14 %) ou (20%)
Plaisance/Curvalle	~5 h	>4 h	+ 45 min	385 (7 %) ou (11 %)

Tableau 2 : calcul des temps d'anticipation – Rance – scénario minimaliste

L'équipement à prévoir pour ce scénario consiste donc à minima en une station H+P (S1) ainsi qu'une échelle E1.

❑ SCENARIO PRINCIPAL OU OPTIMAL

Ce scénario permet une anticipation sur la commune de Belmont à exposition forte, mais également sur la commune de Combret, à exposition modérée, avec des prévisions bien plus fiables que pour le scénario 1 en lien avec le bassin versant contrôlé (134 km² au lieu des 28 à 50 km² en scénario 1 pour 200 km² à Combret).

Ce scénario assure également une meilleure anticipation sur les communes situées plus à l'aval (Plaisance/Curvalle et la Bastide Solage), déjà couvertes par le réseau Vigicrues : avec une prévision actuelle à Plaisance donnant un délai d'anticipation de 1h30 (temps de propagation entre Saint-Sernin et Curvalle-Plaisance), on passerait à un délai de 3h30, avec en sus de l'information sur la tendance via les données de pluies, apportant un éclairage sur l'évolution à +3 -4h

<u>Données de base :</u> Pente = 0.5 % entre S3 et Combret Linéaire = 8.9 km entre S3 et Combret, 17.2 km entre S3 et Saint Sernin et 28 km jusqu'à Plaisance-Curvalle				
<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis S3 (avec hyp. de 2.2 m/s)</u>	<u>Temps de réponse en S3</u>	<u>Superficie du BV et % contrôlée en S3</u> <u>(BV = 134 km²)</u>
Combret	~ 4-5 h	1 h	+3-4 h	200 (67 %)
Saint Sernin	> 5h	2 h	+3-4 h	284 (47 %)
Plaisance/Curvalle	>6 h	3h30	+3-4 h	385 (34 %)

Tableau 3 : calcul des temps d'anticipation – Rance – scénario principal et optimal

L'équipement à prévoir pour ce scénario consiste donc à minima en deux station H+P (S1 + S3) ainsi que des échelles simples en S2, S4 voire S5.

4.2.4. Bassin versant du Dourdou

Le tableau ci-dessous présente les sites potentiels, selon **trois scénarios** :

- Un scénario minimaliste, qui permet d'assurer une bonne surveillance sur Brusque, et une meilleure vigilance sur Arnac-sur-Dourdou ;
- Un scénario principal, qui assure une bonne surveillance sur Brusque, Camarès et sur Fayet, avec une vigilance sur Arnac et sur Sylvanès ;
- Un scénario optimal, qui assure une surveillance sur Brusque, Fayet et Sylvanès, et plus à l'aval sur Camarès, Montlaur et Vabres-l'Abbaye avec un engagement de la DREAL-SPC.

Priorité	Site	Caractéristiques BV	Equipement	Remarques concernant la surveillance des crues / basses eaux
1	S1 : Amont Brusque - Arnac bourg	Dourdou BV = 49 km ² PK* = 44.2	St. H+P ou H	Site le plus pertinent même si profil large et peu sensible ; un contrôle en aval a comme avantage de rendre le site sensible aux apports de l'affluent rive gauche (Rimoustel) dont une partie conflue en aval immédiat de la passerelle / pour suivi en basse eaux, travaux sur seuil à prévoir
3	S2bis : Brusque - Sanctus	Sanctus BV = 12.5 km ² Pk** = 0.5	Ech. + SAL	Plusieurs ponts sur le Sanctus en amont immédiat du bourg de Brusque, pouvant être équipé d'une échelle et d'un système d'Alerte Local (SAL) / sans objet
1	S2 : Brusque centre	Dourdou BV = 61 km ² Pk* = 35.2	St. H+P ou H ou Ech. seule	Si suivi visuel seul, procédure stricte à définir pour garantir la capitalisation des données Présence de repères de crues (1930 et 1982) sur le pont de Brusque ; plusieurs sites possibles : au droit du pont ou en amont du seuil sur le quai rive droite
2	S3 : Amont La Roque/Fayet - site de Tauriac	Nuéjols BV = 43 km ² Pk** = 13.1	St. H+P ou H	Site pertinent au droit du pont de la RD52 / courbe de tarage sensible en basses eaux mais stabilité du contrôle aval incertaine
2	S4 : La Roque bourg/Fayet	Nuéjols BV = 76.6 km ² Pk** = 6.7	St. H+P ou H ou Ech. seule	Si suivi visuel seul, procédure stricte à définir pour garantir la capitalisation des données Repères de crues informels 2014 et 2015 à lever sur La Roque avec M. le Maire 2 sites possibles : au droit de la passerelle (meilleure sensibilité en crue qu'à l'aval car lit plus contraint) ou à l'aval de la chaussée
2	S5 : La Baume/Sylvanès	Cabot BV = 24.5 km ² Pk*** = 1.3	Ech. + SAL	Hameau de la Baume sensible – combiner la pose d'une échelle avec un SAL permet de mieux informer les communes à l'aval (suivi visuel) tout en assurant une alerte sur ce hameau via un SAL
3	Camarès bourg	Dourdou BV = 251 km ² PK = 23.5	Néant	Station d'observation DREAL – SPC déjà existante / suivi ressource ?
3	Montlaur	Dourdou BV = 317 km ² PK = 13.1	Echelle	Suivi visuel seul avec procédure à définir pour garantir la capitalisation des données Au droit du pont, nombreux repères de crues à prendre en compte
3	Vabres bourg	Dourdou BV = 402 km ² PK = 1.4	Néant	Station de prévision DREAL – SPC déjà existante

Tableau 4 : Sites de surveillance pré-identifiés et priorités - Dourdou et affluents

(*) : PK mesuré depuis le point de confluence de la Sorgue – ~ 27.5 km entre ce point et la confluence au Tarn

(**) : PK mesuré depuis le point de confluence au Dourdou

(***) : PK mesuré depuis le point de confluence à la Nuéjols

Pour ce secteur Dourdou-Nuéjols/Cabot, on retiendra les ordres de grandeurs suivants, selon les scénarios et options :

❑ SCENARIO MINIMALISTE

Le **scénario minimaliste** permet une anticipation sur la commune de Brusque dont l'exposition est très forte, en assurant également une meilleure vigilance et/ou anticipation sur les communes exposées situées plus à l'aval (Camarès, Montlaur et Vabres l'Abbaye), même si le bassin-versant surveillé reste limité (49 km² à 60 km² de Arnac à Brusque contre 250 km² à Camarès, et plus de 350 km² à Vabres-l'Abbaye ...). Sans permettre d'anticipation, il assure une « alerte » sur la commune d'Arnac et les 3 hameaux concernés par le risque inondation de cette commune (Arnac, Les Devèzes,, La Mouline), ainsi qu'une plus forte vigilance sur le camping de Céras, en amont de Brusque (situé à environ 7,5 km en aval du bourg de Arnac).

<u>Données de base :</u> <u>Pente</u> = 1 % à entre S1 et Brusque <u>Linéaire</u> = 9 km entre S1 et Brusque, 2 km jusqu'à La Mouline (Arnac-sur-Dourdou), et 20,7 km entre S1 et Camarès				
<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis S1 (avec hyp. de 2,7 m/s)</u>	<u>Temps de réponse en S1</u>	<u>Superficie du BV et % contrôlée en S1 (BV = 49 km²)</u>
La Mouline	~45 min	15 min	/	51 (95 %)
Brusque	~ 2 h	1h	+ 60 min	61 (80 %)
Camarès	~3 h	2 h	+ 60 min	250 (20 %)

Tableau 5: calcul des temps d'anticipation – Dourdou et affluent – scénario minimaliste

L'équipement à prévoir pour ce scénario consiste donc à minima en une station H+P (S1) ainsi qu'une échelle en S2.

❑ SCENARIO PRINCIPAL

Le **scénario principal** permet d'améliorer l'anticipation sur Camarès par rapport au scénario 1, avec une superficie de bassin contrôlé plus importante (90-140 km² voire 160 km² surveillés contre 40-60 km² dans le scénario 1 pour un bassin de 250 km² à Camarès) avec le positionnement de stations sur la Nuéjols et le Cabot, dont les apports peuvent être très différents de ceux du Dourdou vu la position géographique de ces sous-bassins.

<u>Données de base :</u> <u>Pente</u> = 0.8 % à entre S3(Tauriac) et La Roque <u>Linéaire</u> = 6.4 km entre S3(Tauriac) et La Roque				
<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis S3 (avec hyp. de 2.5 m/s)</u>	<u>Temps de réponse en S3</u>	<u>Superficie du BV et % contrôlée en S3 (BV = 43 km²)</u>
La Roque/Fayet	~1h40	40 min	+ 60 min	77 (57 %)
<u>Données de base :</u> <u>Pente</u> = 0.9 % à 0.55 % <u>Linéaire</u> = 14 km depuis Brusque et Laroque (S2+S4) à 21 km depuis Arnac et Tauriac (S1+S3)				
<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis S1 et S3 ou S2 et S4 (avec hyp. de 2.5 m/s)</u>	<u>Temps de réponse en S1 et S3 Et en S2 et S4</u>	<u>Superficie du BV et % contrôlée en S1+S3 ou S2+S4 (BV = 91 km² à 137 km²)</u>
Camarès	>3 h20	1h45 à 2h20	+ 60 min + 1h40 à 2h	250 (36 % à 55 %)
<u>Données de base :</u> <u>Pente</u> = 0.55 % <u>Linéaire</u> = 10.4 km de Camarès à Montlaur et 22 km jusqu'à Vabres-l'Abbaye				
<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis Camarès (avec hyp. de 2.2 m/s)</u>	<u>Temps de réponse à Camarès (Station DREAL-SPC)</u>	<u>Superficie du BV et % contrôlée à Camarès (station DREAL-SPC) (BV = 250 km²)</u>
Montlaur	>3h30	1h30	>2 h	317 (80 %)
Vabres	>5h	3 h	>2 h	402 (60%)

Tableau 6: calcul des temps d'anticipation – Dourdou et affluent – scénario principal

On voit que pour ce scénario, deux options peuvent être envisagées :

- Une option économique, avec l'équipement de deux stations (S1 : Arnac et S3 : Tauriac), et 4 échelles avec un suivi visuel (Brusque, Fayet, Sylvanès et Montlaur) ;
- Une option plus couteuse, avec l'équipement en sus de 2 stations respectivement à Fayet et à Brusque, d'un système d'alerte locale (SAL) à Sylvanès, hameau de la Baume, afin d'assurer une vigilance renforcée sur ce hameau très exposé.

❑ SCENARIO OPTIMAL

Enfin, le **scénario optimal**, qui implique un engagement de la DREAL pour assurer une surveillance de type prévision sur Camarès, en intégrant les équipements qui seraient mis en place tout ou partie dans les scénarios 1 et 2. Ce scénario n'implique pas de coûts supplémentaires, mais n'est envisageable que s'il y a une volonté de la DREAL-SPC en ce sens.

Cet engagement dépend des moyens et perspectives du service de Prévisions des crues (SPC) de la DREAL. Bien évidemment, elle **pourra être sollicitée dans ce sens, si et seulement si le territoire s'engage dans les scénarios précédemment définis.**

Une option pourrait être ajoutée à ce scénario, avec l'installation d'un SAL sur le Sanctus, dont le BV de 12 km² conflue directement dans le bourg de Brusque.

4.2.5. Bassin versant de la Sorgues

Le tableau ci-dessous présente les sites potentiels, selon **trois scénarios** envisageables :

- Un **scénario minimaliste**, qui permet d'assurer une bonne surveillance sur l'amont du bassin, et notamment sur les communes de Fondamente et Latour ;
- Un **scénario principal**, qui assure une meilleure surveillance sur Fondamente et Latour, et améliore la surveillance sur les communes de Versols et Saint Affrique ;
- Un **scénario optimal**, qui assure une meilleure surveillance sur Fondamente et Latour, et améliore la surveillance sur les communes de Versols et Saint Affrique avec un engagement de la DREAL-SPC pour transformer la station de Saint Félix en station de prévision.

Priorité	Site	Détails Cours d'eau – BV - PK	Equipement	Remarques concernant la surveillance des crues / basses eaux
3	S1 : Amont Fondamente - station PNRGC	Sorgues 46 km ² PK = 41.2	St. H	Station ressource en place - à équiper d'une sonde avec télétransmission intégrée et alerte sms pour surveillance des crues - bon indicateur des réactions des karsts/utilité pour suivi de la ressource
1	S2 : Amont Fondamente - Pont de Mescladou	Sorgues 67.8 km ² PK = 38.9	St. H+P ou St. H	Site propice et chemin communal (selon C. Laborie) / moyen sur mesure basses eaux
1	E1 : Fondamente bourg	Sorgues BV = 98 km ² PK = 33.4	Ech	Echelle existante sur pont de Fondamente bourg (à étendre) Si volonté d'équipement de type station H ou H+P, site RD7E (gare de Montpaon) en aval de Fondamente plus propice. Corrélations à faire entre station et bourg si équipement gare de Montpaon
2	S3 : Aval Fondamente de Montpaon)	Sorgues BV = 118 km ² PK = 32.0	St. H+P ou St. H	Site propice: L'équipement d'une station sur site propice permet de justifier d'un simple suivi visuel sur les communes aval / moyen sur mesure basses eaux
1	E2 : St Maurice / Fondamente	Sorgues BV = 132 km ² PK = 27.5	Ech.	Echelle à mettre en place sur le pont de St Maurice pour suivi visuel
2	E2 : Latour / Marnhagues et Latour	Sorgues BV = 153 km ² PK = 24.2	Ech	Echelle à mettre en place sur pont de Latour avec procédure stricte à définir pour garantir la capitalisation des données et corrélation avec stations amont
3	S_DREAL St Felix	Sorgues BV = 210 km ² PK = 21.2	Néant	Station d'observation DREAL – SPC déjà existante / suivi ressource ?
2	E3 : Versols bourg / Versols-et- Lapeyre	Sorgues BV = 252 km ² PK = 16.4	Ech (2)	Echelles à mettre en place pour permettre le suivi visuel, avec procédure stricte à définir pour garantir la capitalisation des données et corrélation avec stations amont Au droit des ponts, nombreux repères de crues à prendre en compte
2	E4 : Lapeyre bourg / Versols- et-Lapeyre	Sorgues BV = 261 km ² PK = 13.6		
/	S_DREAL Saint- Affrique	Sorgues BV = 307.4 km ² PK = 5.2	Néant	Station de prévision DREAL – SPC déjà existante

Tableau 7 : Sites de surveillance pré-identifiés et priorités - Sorgues

Pour ce secteur Sorgues, on retiendra les ordres de grandeurs suivants, selon les scénarios et options :

❑ SCENARIO MINIMALISTE

Le **scénario minimaliste** permet une anticipation sur la commune de Latour de près de 2 h, ainsi que sur la commune de Fondamente, avec une anticipation de plus d'1h à St Maurice, et 45 min sur le bourg, communes toutes deux caractérisées comme fortement exposées.

Ces temps sont estimés sur la seule propagation de la crue ; en intégrant le temps de réponse du bassin, les délais d'anticipation peuvent encore être augmentés de 45 à 60 min, avec des prévisions fiables.

Il assure également une meilleure vigilance et/ou anticipation sur les communes très fortement exposées situées plus à l'aval (Versols-et-Lapeyre et Saint-Affrique), même si le bassin-versant surveillé reste limité (70 km² en amont de Fondamente contre 250 km² à Versols, et plus de 300 km² à Saint-Affrique...).

Données de base :

Pente = 0.9 % à 0.6 % entre S2 et Fondamente puis Latour

Linéaire = 5.5 km entre S2 et Fondamente, 10 km jusqu'à Saint Maurice, et 14.7 km entre S2 et Latour

<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis S2 (avec hyp. de 2.5 m/s)</u>	<u>Temps de réponse en S2</u>	<u>Superficie du BV et % contrôlée en S2 (BV = 67.8 km²)</u>
Fondamente	~1h30	40 min	+45 à 60 min	98 (70 %)
Saint Maurice	~ 2 h	1h10	+45 à 60 min	132 (50 %)
Latour	~2h30	1h40 min	+45 à 60 min	153 (45 %)

Tableau 8: calcul des temps d'anticipation – Sorgues – scénario minimaliste

L'équipement à prévoir pour ce scénario consiste en une station H+P (S2) ainsi que trois échelles (dont une échelle déjà existante mais à prolonger en hauteur pour couvrir les plus hautes eaux).

❑ SCENARIO PRINCIPAL

Le **scénario principal** permet d'améliorer l'anticipation sur les communes fortement exposées de Versols-et-Lapeyre et Saint Affrique par rapport au scénario 1 ; en ajoutant une station en aval de Fondamente (S3), cela permet en effet de contrôler une superficie de bassin plus importante (120 km² surveillés contre 70 km² dans le scénario 1), surveillance qui viendrait en complément de la surveillance actuelle assurée par la DREAL-SPC sur Saint Félix (bassin de 210 km²) ; dans ce scénario, et en première estimation, on gagnerait fortement en matière d'anticipation puisqu'on passerait de 30 min à 2 h sur Versols et de 2 h à 3h30 à Saint Affrique, sans compter les gains pouvant être attendus en termes de tendance si l'on considère les données de pluies.

Données de base :

Pente = 0.6 % à 0.5 % entre S3 et Latour puis Versols, Lapeyre et Saint-Affrique

Linéaire = 7.2 km entre S3 et Latour, 15.6 km jusqu'à Versols, 18.4 jusqu'à Lapeyre et 26.8 km jusqu'à Saint-Affrique

<u>Anticipation</u>	<u>Totale</u>	<u>dont temps de propagation depuis</u> <u>amont (avec hyp. de 2.3</u> <u>m/s)</u>	<u>Anticipation amont</u>	<u>Superficie du BV et (%</u> <u>contrôlée en S3 – et à St</u> <u>Félix Station DREAL)</u> <u>(BV = 118 km² - 210 km²)</u>
Saint Maurice	~ 2 h	~30 min	1h30 à Fondamente	132 (90 %)
Latour	~2h30	~30 min	+45 à 60 min	153 (77 %)
Versols	> 2 h (contre 30 min actuellement)	~ 2h depuis S3 ~30 min depuis S_St Félix	+1h30 à Fondamente	252 (47 % à 83 %)
Lapeyre	> 2 h 30 (contre 60 min actuellement)	~ 2h 30 depuis S3 ~60 min depuis S_St Félix	+1h30 à Fondamente	261 (45 % à 80 %)
Saint-Affrique	> 3 h30 (contre 2 h actuellement)	~ 3h30 depuis S3 ~2 h depuis S_St Félix	+1h30 à Fondamente	307 (38 % à 68 %)

Tableau 9: calcul des temps d'anticipation – Sorgues – scénario principal

L'équipement à prévoir pour ce scénario consiste donc à ajouter à la station H+P (S2), une seconde station H+P (S3) et deux nouvelles échelles (respectivement à Versols et Lapeyre) aux 3 échelles du précédent scénario.

❑ SCENARIO OPTIMAL

Enfin, le scénario optimal consisterait en un engagement de la DREAL pour assurer une surveillance de type prévision sur Saint-Félix, en intégrant les équipements qui seraient mis en place tout ou partie dans les scénarios 1 et 2.

Comme pour le Dourdou, cet engagement dépend des moyens et perspectives du service de Prévisions des crues (SPC) de la DREAL. Bien évidemment, elle pourra être sollicitée dans ce sens, si et seulement si le territoire s'engage dans les scénarios précédemment définis.

Enfin, ce scénario prévoit également la mise en place d'une sonde sur la station existante PNRGC (S1) en aval de la Mouline : en effet, avec un investissement réduit (<1500 €) compte tenu des aménagements génie-civil déjà en place, cette station permettrait d'améliorer la surveillance sur Fondamente, en gagnant en temps de propagation (anticipation de 40 min en scénario 1 à 60 min en scénario 3), en donnant un bon indicateur sur la réponse du karst, et en assurant une surveillance de secours par rapport à la station S2.

L'équipement à prévoir pour ce scénario consiste donc à ajouter aux équipements précédents une sonde + logiciel.

4.3. Synthèse et coûts à prévoir

4.3.1. Coûts d'investissement et dommages évités

Le tableau ci-dessous synthétise pour chaque branche et chaque scénario, les équipements à prévoir, ainsi que les coûts d'investissement, d'installation et de mise en service⁵.

Afin de mettre en balance ces coûts avec le coût des dommages qui pourraient être évités, un chiffrage simplifié a été proposé : à défaut de cadrages méthodologiques existants pour ce type de projet, il est basé sur un montant forfaitaire et minimaliste de 2000 €/habitations en zone inondable, correspondant au montant des dégâts évités avec mise hors d'eau de biens de valeur sensibles dont mobilier, véhicules, ..., et temps permettant l'installation de batardeaux ou de systèmes équivalents (bâches, sacs de sable, ... permettant de réduire les dégâts sur le bâti- sols, murs, réseau électrique ...

SECTEUR	Zones d'habitations concernées	Scénario	Equipement de surveillance					Coût des dommages évités	Base d'estimation	
			Station	Échelle	Sal	Sonde	Cout* (k€)		Nbre d'habitations en zone inondable	Détails par commune
RANCE	Belmont	Sc1	1	1			12	30	15	Belmont (+19 à Mounes-Prohencoux non comptés)
			2				23			
	Belmont + Combret (+ Plaisance)	Sc2 = Sc3	2	2			23	122	61	Belmont +10 à Combret+ 4 Laval-Roquecezière +12 à Poushtomy -St Serin - Balaguier + 10 à Plaisance-Curvalle + 10 à La Bastide-Solage
			4	1			44			
DOURDOU	Brusque	Sc1	1	1			12	128	64	Brusque +13 à Arnac non comptés
			2				23			
	Brusque + Camares + Fayet + communes aval	Sc2	2	4			25	620	310	Brusque +92 à Camarès + 4 Montlaur +150 à Vabres
			4	1	1		50			
	Brusque + Camares + Fayet + vigilance Brusque / petit affluent	Sc3	2	4			25	674	337	Brusque, Camarès, Montlaur et Vabres +19 à Sylvanès +8 à Fayet
			4	1	2		54			
SORGUES	Fondamente	Sc1	1	2			13	54	27	Fondamente
	Fondamente + Latour + communes aval	Sc2	2	5			26	1 504	752	Fondamente +15 à Latour + 4 à St Félix + 106 à Versols-et-Lapeyre + 600 à St Affrique
	Fondamente + Latour + communes aval	Sc3	2	5		1	28			

Tableau 10: présentation par branche et scénarios des équipements, coûts hors fonctionnement, habitations et dommages évités

⁵ Ces couts ne comprennent pas les frais de fonctionnement et maintenance ; Ils comprennent : le matériel pour la station ainsi que son l'alimentation électrique (220 V ou panneau solaire), ainsi qu'un lot de matériel pour la maintenance – coût pour un lot de 10 stations, et les frais d'installation et de mise en service : génie-civil, formation, et concentrateur/superviseur.

4.3.2. Coûts de fonctionnement et scénarios

A ces frais, comme détaillé en annexe 2 (source DREAL – Noel WATRIN), il faut ajouter :

- les frais de transmission : ~60 €/an/station : abonnement annuel GPRS/3G ;
- les frais de gestion pour la maintenance : ~1000 €/an/station, même si ces frais peuvent être très variables selon le type de gestion (gestion via une prestation externalisée, astreinte d'un prévisionniste ou gestion en interne et astreinte assurée par les élus ...) et doivent être précisés selon le nombre de stations concernées.

Vue la technicité du matériel, et les objectifs visés, ces frais de fonctionnement sont conséquents ; de plus, ils sont d'autant plus lourds voire non justifiables, que le nombre de stations concernées est faible.

De ces considérations, il importe de raisonner à l'échelle du territoire : ainsi, sur la base des scénarios appréhendés sur chacune des branches, trois scénarios seront proposés à l'échelle globale.

1. un scénario minimaliste comportant 3 stations et 4 échelles ;
2. un scénario principal comportant 6 stations et 11 échelles ;
3. un scénario optimal comportant 10 stations, 7 échelles, 2 SAL et 1 sonde⁶;

Les frais de fonctionnement associés à chacun de ces scénarios sont présentés dans le tableau ci-dessous, pour un fonctionnement calculé classiquement pour une période de 10 ans.

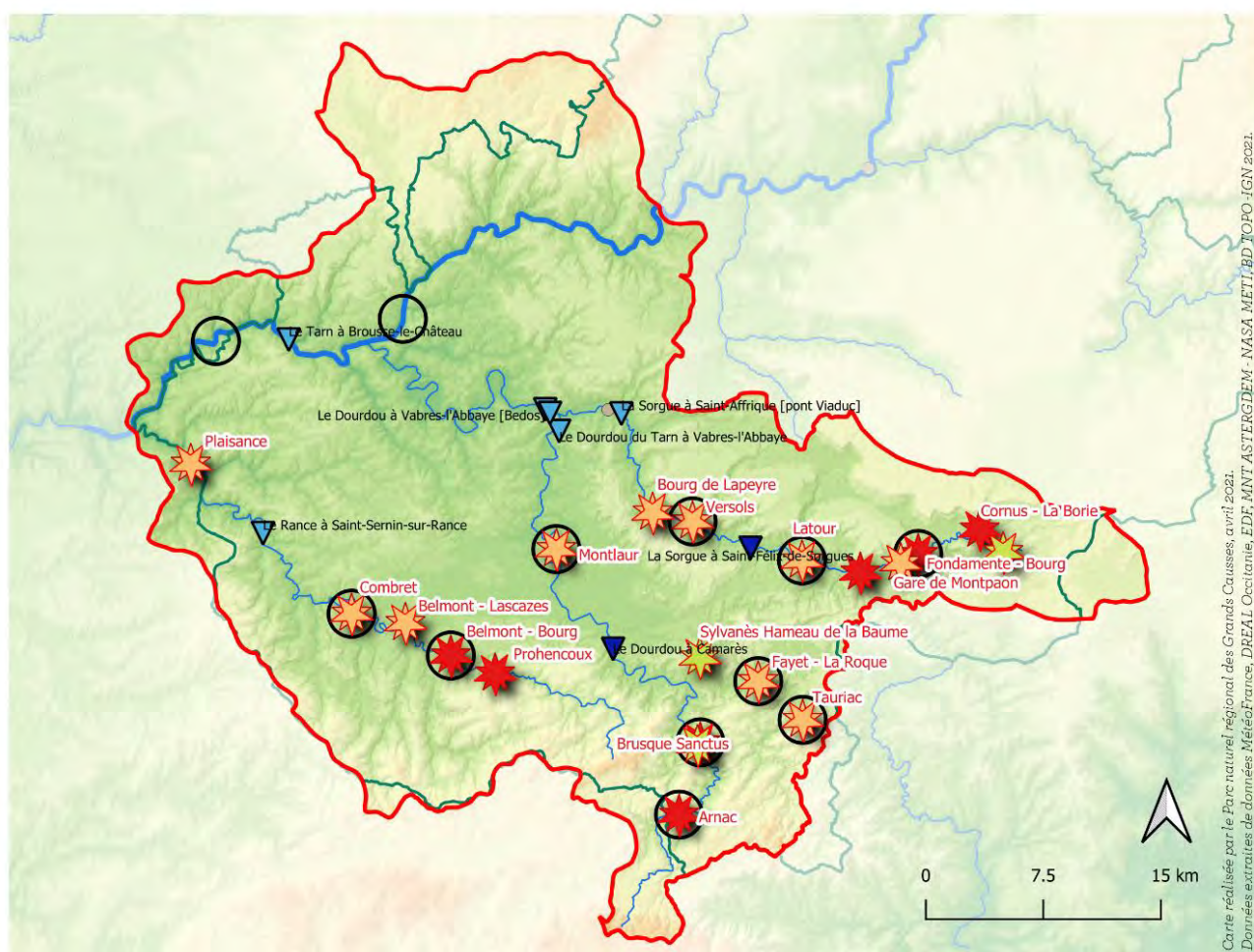
La carte page suivante rappelle la localisation des points de surveillance proposés, et intègre les sites d'implantation d'échelles limnimétrique en cours.

SCENARIO A L'ECHELLE DU TERRITOIRE TDR	Coûts du projet			Coûts des dommages évités
	Investissement	Fonctionnement (10 ans)	Total	
1. surveillance sur Belmont + Brusque + Fondamente avec stations automatiques (3) en amont de ces bourgs et des échelles (4) en centre bourg + 1 à St Maurice-de-Sorgues	40 k€	50 k€	90 k€	212 k€
2. scénario 1 + surveillance sur Combret + Camarès + Latour et communes aval, avec stations automatiques (6) en amont de ces bourgs et des échelles (11) en centre bourg des communes + communes aval (Plaisance, Montlaur, Versols et Lapeyre)	75 k€	65 k€	140 k€	2 246 k€
3. scénario 1+2 avec des stations automatiques (10) en amont et au droit des bourgs sauf sur branche Sorgues, ainsi que des échelles (7) au droit des bourgs sans stations (Fondamente + St Maurice + Latour + 4 bourgs aval) + deux SAL sur Sylvanès et Brusque +équipement d'une sonde sur la station existante en amont de la Sorgues (Cornus-pisciculture)	125 k€	105 k€	230 k€	2 246 k€

Tableau 11 : synthèse des coûts et dommages évités pour les différents scénarios

⁶ Sonde pour automatisation du transfert des données relevées sur la station de suivi quantitatif de la ressource existante sur la Sorgues (Cornus- pisciculture / station PNRGC – suivi des ressources karstiques)

Carte 5: sites de surveillance projetés et scénarios



Légende

sites pour implantation d'une station de surveillance des crues sites en cours d'équipement (échelle)



Scénario 1 = scénario minimaliste



Scénario 2 = scénario principal (Sc1+2)



Scénario 3 = scénario optimal (1+2+3)



perimetre_UHR_TDR_hydrogeol

Stations existantes Vigicrues gérées par l'Etat (DREAL - SPC)



stations d'observation (relevés hauteur et pluviométrie)



stations de prévision (relevés hauteur et pluviométrie)

4.3.3. Conclusions

En synthèse et conclusions, on retiendra les points suivants :

A. Justification économique du projet

Les couts de ces scénarios projet restent bien inférieurs aux couts des dommages évités, avec une pertinence d'autant plus forte que les enjeux concernés sont nombreux.

Si les branches doivent être équipées d'un système de surveillance pour la prévision des crues, on privilégiera donc, au vu des enjeux, la branche Sorgues, puis le Dourdou, et enfin le Rance.

B. Gestion et maintenance

Concernant la surveillance et la maintenance, on rappellera que le PNR des Grands Causses assure ce genre de mission depuis plusieurs années sur le réseau de suivi quantitatif et qualitatif de la ressource, qui compte une cinquantaine de stations sur le territoire du Parc.

Ainsi, l'option consistant à confier la gestion de ces stations projet au PNRGC pourrait être pertinente, techniquement, et financièrement, avec :

- ☞ du personnel déjà formé,
- ☞ des coûts encadrés pour ses collectivités membres,
- ☞ une souplesse et une réactivité dans l'entretien, le suivi, et les interventions en urgence si besoin.

C. Choix du scénario

Le scénario 2, dit scénario principal peut être considéré comme le scénario de référence, puisque présentant le meilleur ratio cout/dommages évités, et avec un nombre de stations pertinent vis-à-vis de la gestion à prévoir.

Si le territoire faisait le choix de mettre en œuvre un projet de ce type, ce scénario pourrait constituer la 1^{ère} étape d'un équipement du bassin versant dans le cadre du PAPI Complet, le scénario 3 pouvant être envisagé alors dans un second temps.

Pour rappel, les subventions attendues dans ce cadre devraient atteindre les 70 % sur les coûts hors frais de fonctionnement et maintenance (50 % Etat et 20 % Région).

Dans ce contexte, les coûts à supporter par le territoire seraient les suivants pour les scénarios 2 (6 stations) et 3 (10 stations) :

- Cout d'investissement : Sc2 : 22 k€ - Sc 3 : 38 k€
- Cout de maintenance et de fonctionnement : 6 à 10 k€ /an.

5. Restitution Etape 2 : Analyses hydrologique et hydraulique

5.1. Rappel du contexte

Comme explicité précédemment, l'objectif recherché à travers la présente étude est d'aider les maires dans la surveillance et l'analyse de la situation en cas de suspicion d'alerte de crue.

La première étape a permis de définir les sites de surveillance potentiels, et de préciser les coûts associés selon les choix pouvant s'avérer pertinents en matière de surveillance :

→ **Surveillance visuelle simple**, associée à la mise en place d'échelles limnimétriques, et la définition de seuils de vigilance ; Le principe de ce dispositif de surveillance humaine (appelé aussi « réseau sentinelles » sur d'autres territoires ayant mis en place ce type de surveillance), basé sur la solidarité amont-aval, consiste en la mise en place d'un réseau d'observateurs sur le bassin versant, qui ont pour rôle la surveillance des phénomènes de montée des eaux. Les sentinelles contactent leurs élus communaux lorsque des seuils de vigilance et/ou d'alerte sont dépassés⁷ dans les cours d'eau. Les élus ont alors pour rôle de transmettre le message d'alerte aux communes situées plus à l'aval.

→ **Surveillance automatisée**, via la mise en œuvre de stations limnimétriques⁸ et pluviométriques qui mesurent et transmettent en temps réel les données relevées, lesquelles sont accessibles aux élus du territoire également en temps réel ;

Le couplage « réseau de mesures » et « chaîne de surveillance humaine » s'avère généralement judicieux, puisqu'il permet de limiter les coûts d'équipement et d'assurer une double veille.

Pour rappel, la mise en place du réseau de mesures et la détermination des niveaux de vigilance et d'alerte sont envisagés comme des outils d'aides à la décision pour les maires, qui viennent compléter les alertes météo ou préfectorales, et non comme un système autonome de prévision des crues.

Note importante : Ces outils sont voués à être réactualisés au fil des crues, les connaissances en termes de fonctionnement hydrologiques et hydrauliques acquises via des événements observés permettant d'affiner les seuils de déclenchement des niveaux de vigilance, voire d'alerte.

Aussi, il est important que cette étude soit suivie, au niveau de chaque commune concernée, et à l'échelle de chaque branche, de la mise en place de procédure type REX-CRUE (formalisation des retours d'expérience suite à une crue). A ce sujet, et suite au constat qu'aucune commune sur le territoire ne disposait de ce type de capitalisation, alors que ces éléments auraient été facilement disponibles post-crue, un cadre a été proposé via une fiche annexée au présent rapport. Cette formalisation est également inscrite dans les conventions établies dans le cadre de la fourniture et la pose d'échelle limnimétrique réalisée en parallèle à la présente étude.

Enfin, il sera également judicieux que les procédures associées à la surveillance des crues et à la gestion de crise soient formalisées dans les plans communaux de sauvegarde, lesquels devront être réactualisés au besoin.

⁷ La définition de ces seuils de déclenchement est importante, et c'est un des objectifs de l'analyse de cette seconde étape ; il s'agit de doter l'ensemble des « sentinelles » du dispositif humain d'alerte, de repères sur le terrain (au droit d'échelles limnimétriques ou au droit d'ouvrage ou d'enjeux) leur permettant de déclencher les seuils de vigilance et d'alerte.

⁸ Les stations limnimétriques relèvent le niveau de l'eau en un point donné et à pas de temps donné ou évolutif selon les variations ou selon des seuils à définir

5.2. Rappel des objectifs, méthodologie et résultats attendus

Si l'objectif recherché à travers la présente étude est d'aider les maires dans la surveillance et l'analyse de la situation en cas de suspicion d'alerte de crue, il s'agit plus précisément, sur la base du réseau de surveillance tel que défini précédemment de permettre :

- Une meilleure anticipation des phénomènes de montée des eaux avec un suivi amont - aval de la propagation des crues ;
- La définition de seuil de vigilance au droit des stations de surveillance pour mieux gérer le suivi des cours d'eau lors des fortes pluies, et améliorer les procédures notamment pour la gestion de crise ;
- La définition d'outils d'aide à la décision.

Pour atteindre ces objectifs, l'analyse était prévue selon trois niveaux de priorité :

1. Analyse hydrologique

Via un travail de modélisation (modèle pluie-débit ATHYS) d'évènements pluviométriques intenses ayant touché tout ou partie des bassins versants, il s'agira de reconstituer les hydrogrammes aux différents points de surveillance projetés, avec comme point de référence ou point de calage la station du SPC.

Ces hydrogrammes obtenus pour les différents évènements étudiés apporteront des éléments de connaissance en matière de temps de propagation amont – aval, et en matière de corrélation sur les niveaux atteints. Notamment, cela permettra de préciser les délais d'anticipation en droit d'être attendus sur les zones à enjeux avec la mise en place de ce réseau de mesures et d'observations.

2. Analyse hydraulique

Via un travail de modélisation hydraulique (modèle hydraulique HEC-RAS), et sur la base des hydrogrammes résultants de la modélisation hydrologique, il s'agira au droit de chaque site étudié :

- d'établir des courbes de tarage (lien hauteurs/débits) ;
- de définir les côtes de vigilance et d'alerte sur les différents sites concernés ;

Ces éléments viendront également alimenter les procédures type « retour d'expérience » (REX) pour capitaliser la donnée de crue sur ces sites, et améliorer progressivement la précision en termes de prévision sur les zones à enjeux.

3. Définition d'outils d'aide à la décision

Sur la base des éléments hydrauliques et hydrologiques, et en concertation étroite avec les élus des communes concernées, il s'agira de proposer un outil simple d'aide à la décision pour le suivi des crues et les procédures de mise en vigilance et alerte pour la bonne gestion des risques inondation.

Pour rappel, ces outils constitueront une base évolutive, qu'il s'agira d'affiner au fil des évènements, pour préciser notamment les niveaux « seuils ».

5.3. Limites de la mission réalisée dans le cadre du PAPI d'Intention

5.3.1. Analyses réalisées

Si les objectifs et résultats attendus tels que définis précédemment gardent toute leur pertinence pour améliorer la surveillance et la prévision des crues, les limites imposées à la mission⁹ en termes de délais de mise en œuvre n'ont pas permis de mener à terme ces trois niveaux d'analyses.

Si l'analyse hydrologique a pu être menée à bien, l'analyse hydraulique n'a pu être finalisée : pour cette phase d'analyse, seuls les levés topographiques et les hydrogrammes de crue pourront être transmis. Enfin, concernant les outils d'aide à la décision, un travail a été fait sur les supports et des exemples seront proposés.

Ces éléments pourront être exploités comme base de travail, pour la réalisation d'études complémentaires à inscrire au PAPI Complet, si le territoire souhaite avancer dans ce projet.

5.3.2. Sites retenus pour les analyses complémentaires

A. Choix des 10 sites prioritaires

La seconde étape de l'étude consistant à préciser les fonctionnements hydrologiques et hydrauliques au droit des stations de surveillance et/ou de suivi prévoyait un nombre de sites limité à 10.

Cette limitation s'est imposée de par les besoins évalués au préalable¹⁰, et de par l'aspect expérimental de cette phase d'analyse.

Sur la base des scénarios et sites tels que définis dans la 1^{ère} étape de la mission (cf. tableau page suivante), considérant le caractère prioritaire des sites et l'importance de la surveillance en regard des enjeux en présence, la sélection a été la suivante :

- ☞ Choix des 6 sites classés en priorité 1,
- ☞ Choix de 4 sites complémentaires – choisis en fonction des enjeux associés - avec :
 - ✓ sur le Dourdou (2+2) : Arnac + Brusque + Tauriac + Fayet (La Roque)
 - ✓ sur Sorgues (2+2) : Amont Fondamente (Mescladou/La Borie) + Fondamente + Gare de Montpaon + Latour

⁹ Pour rappel, la présente étude a été réalisée par le PNRGC avec une assistance technique du bureau d'étude OTEIS et d'un stagiaire, dans le cadre de la mission PAPI d'INTENTION, laquelle a dû faire face à la contrainte suivante : demande expresse par le SM TSDR de clôturer cette mission au 31.12.2021 sans délais supplémentaires envisageables, malgré les contraintes sanitaires à prévoir (dont arrêts de travail) et la plus faible disponibilité de l'animateur avec les actions complémentaires demandées par les élus (échelles limnimétriques et études AMC)

¹⁰ Remarque sur les besoins évalués : contrairement à notre perception, les rencontres et les échanges qui ont eu lieu dans le cadre de cette mission ont révélé un fort intérêt des élus pour ce projet ; en témoigne la mise en œuvre des échelles limnimétriques dans le cadre de cette mission, action non prévue initialement mais réalisée pour répondre à la demande forte des élus, et au vu de la pertinence d'une telle action, en cohérence totale avec le projet étudié ici.

✓ sur le Rance (2) : Amont Belmont (Prohencoux) + Belmont.

Tableau de rappel des sites pertinents pour la mise en place d'une surveillance automatique ou visuelle avec :

P1 : priorité 1 correspondant aux sites du scénario 1 (scénario minimaliste)

P2 : priorité 2 correspondant aux sites supplémentaires pour le scénario 2 (Sc1+2 = scénario principal)

P3 : priorité 3 correspondant aux sites supplémentaires du scénario 3 (Sc1+2 +3= scénario optimal).

Tableau 12 : rappel des sites pertinents pour la mise en place d'une surveillance automatique ou visuelle

Secteur	Nombre total de sites	Nombres de sites et localisation		
		Scénario 1 Priorité P1	Scénario 2 Priorité P2	Scénario 3 priorité P3
DOURDOU	7	2	+4	+1
		Arnac + Brusque	+ Tauriac + Fayet + Montlaur + Sylvanès	+ Sanctus
SORGUES	8	3	+4	+1
		Amont Fondamente (Mescladou/La Borie) + Fondamente + St Maurice	+ Gare de Montpaon + Latour + Versols + Lapeyre	+ station PNR amont
RANCE	5	2	+3	+0
		Amont Belmont (Prohencoux) + Belmont	Lascazes + Combret + Plaisance	
Total	20	7	+11	+2

B. Autres sites et analyses

Compte tenu de l'intérêt de certains maires pour le projet, des adaptations ont été faites par rapport à ce qui avait été prévu initialement : ainsi, ont été intégrés à l'analyse hydrologique deux sites supplémentaires : les sites de Lascazes et de Combret sur le Rance, le maire ayant montré beaucoup d'intérêt dans la mise en œuvre de stations de surveillance.

Enfin, compte tenu des contraintes et limites qui se sont imposées pour la réalisation de la présente mission, des adaptations ont été faites en fin de mission pour exploiter au mieux les budgets disponibles et engagés sur cette action : ainsi, les 7 sites supplémentaires concernés, à savoir Montlaur et Sylvanès sur le bassin du Dourdou, Saint Maurice, Lapeyre et Versols sur la Sorgues et enfin Plaisance sur le Rance ont été couverts par des levés topographiques, données qui seront utiles pour la poursuite des analyses hydrauliques à réaliser (courbes de tarage, carto ZIP, ...).

Ces données ont été levées du 22 novembre au 10 décembre 2021.

5.4. Recueil des données pluviométriques et hydrométriques

Afin de mener la présente étude, deux types de données sont nécessaires :

- ➔ les données de pluies ou données pluviométriques;
- ➔ les données de débits ou données hydrométriques.

5.4.1. Données pluviométriques collectées

Trois types de données pluviométriques ont pu être collectés pour la présente étude :

- Les données mesurées issues de réseaux de pluviomètres (données DREAL-SPC et EDF);
- Les données mesurées issues des radars météorologiques (données PANTHERE-MeteoFrance);
- Les données statistiques issues de traitement régionalisé (données SHYREG – Météo-France-INRAE).

Pour une présentation détaillée de ces données, des précisions sont fournies en annexe 4.

La carte ci-dessous localise les différents points et sources de données.

Carte 6 : localisation des données pluviométriques collectées



A. Les données aux stations pluviométriques DREAL et EDF

Les données pluviométriques horaires ont pu être collectées en 12 stations dont 6 gérées par la DREAL-SPC et 6 autres gérées par EDF.

Le tableau ci-dessous synthétise les périodes de données dont on dispose :

Station	Brousse	Camarès	Millau	Vabres	St Félix	St Sernin	St Beaulize	St Affrique	Tauriac	Alrance	Belmont	Roqueredonde
Gestionnaire	SPC						EDF					
Période début	01/07/2007						01/10/1986	07/06/1988	09/09/1987	06/10/1983	27/08/1990	01/10/1986
Fin	16/02/2021						31/01/2021					
Soit en années	13,6						34,3	32,7	33,4	37,3	30,5	34,3

Tableau 13 : collecte des données pluviométriques aux stations terrestres

B. Données issues des radars météorologiques

4 évènements récents ont marqué le territoire. S'ils diffèrent par leur étendue et leur dynamique, ils ont chacun touché à minima un des secteurs étudiés, et sont suffisamment récents pour que l'on puisse les considérer, la donnée (pluviométrique et hydrométrique) étant disponible sur ces périodes¹¹.

Il s'agit des évènements suivants :

- Septembre 2014 (qui a plutôt fait réagir les petits affluents)
- Novembre 2014 (qui a touché tout le territoire)
- Septembre 2015 (qui a touché la Nuéjols)
- Octobre 2019 (qui a touché préférentiellement la Sorgues et le Dourdou)

Afin d'analyser ces évènements, les données radar (données PANTHERE¹²) ont été commandées à Météo-France, sur les périodes suivantes¹³ :

Evènement	Début	Fin	durée	soit nombre d'images (durée / 5 min)
Septembre 2014	16/09/2014 20:00	18/09/2014 01:00	1 jour et 5 h	348
Novembre 2014	28/11/2014 00:00	30/11/2014 04:30	2 jours et 4 h 30	630
Septembre 2015	12/09/2015 05:00	13/09/2015 01:00	20 h	240
Octobre 2019	20/10/2019 08:00	23/10/2019 17:00	3 jours et 9 h	972

Tableau 14 : collecte des données pluviométriques radar

¹¹ A noter qu'il était prévu initialement de travailler sur l'épisode de 1999, mais les informations collectées – plus précisément les formats des données – ne nous ont pas permis finalement d'exploiter cet évènement ;

¹² Ces données panthères fournissent le cumul pluviométrique à l'échelle de mailles de 1 km² avec des enregistrements au pas de temps 5 min

¹³ Ces périodes ont été déterminées sur la base de l'analyse croisée des hydrogrammes aux stations SPC de Camarès et St Félix et des données de pluies aux droits de 4 stations EDF (Belmont, Tauriac, Roqueredonde et Saint Affrique).

C. [Les données statistiques issues de traitement régionalisé \(données SHYREG – Météo-France-INRAE\).](#)

Afin de caractériser les événements pluviométriques en termes d'occurrence, il est nécessaire de disposer d'analyses statistiques sur les pluies. Sur le territoire, la seule donnée disponible au public concerne la station de Millau, pas forcément représentative sur la totalité de la zone d'étude.

Si un traitement pourrait être effectué sur la base des données pluviométriques collectées aux 12 stations (EDF + SPC) sur le territoire, avec des échantillons relativement longs (plus de 10 ans, voire près de 40 ans de données), la représentativité en terme géographique n'est pas suffisante pour donner des résultats pertinents¹⁴.

C'est d'ailleurs pour arriver à une approche satisfaisante que ce travail de traitement statistique a été mené à une échelle régionale, avec des moyens conséquents, ayant nécessité plusieurs années de recherche par des équipes et laboratoires entièrement dédiés à cette mission : les résultats sont aujourd'hui disponibles sur tout le territoire français, au droit de points de calculs couvrant des mailles de 5km ; il s'agit des données dites SHYREG¹⁵.

Ces données ont été commandées sur le territoire d'étude, selon un maillage tous les 10 km².

5.4.2. Données hydrométriques collectées

Les données hydrométriques consistent en des informations sur les débits et hauteurs d'eau qui auraient pu être observées, mesurées et enregistrées aux différentes stations de surveillance des crues existantes et projetées (Cf. localisation en carte 2).

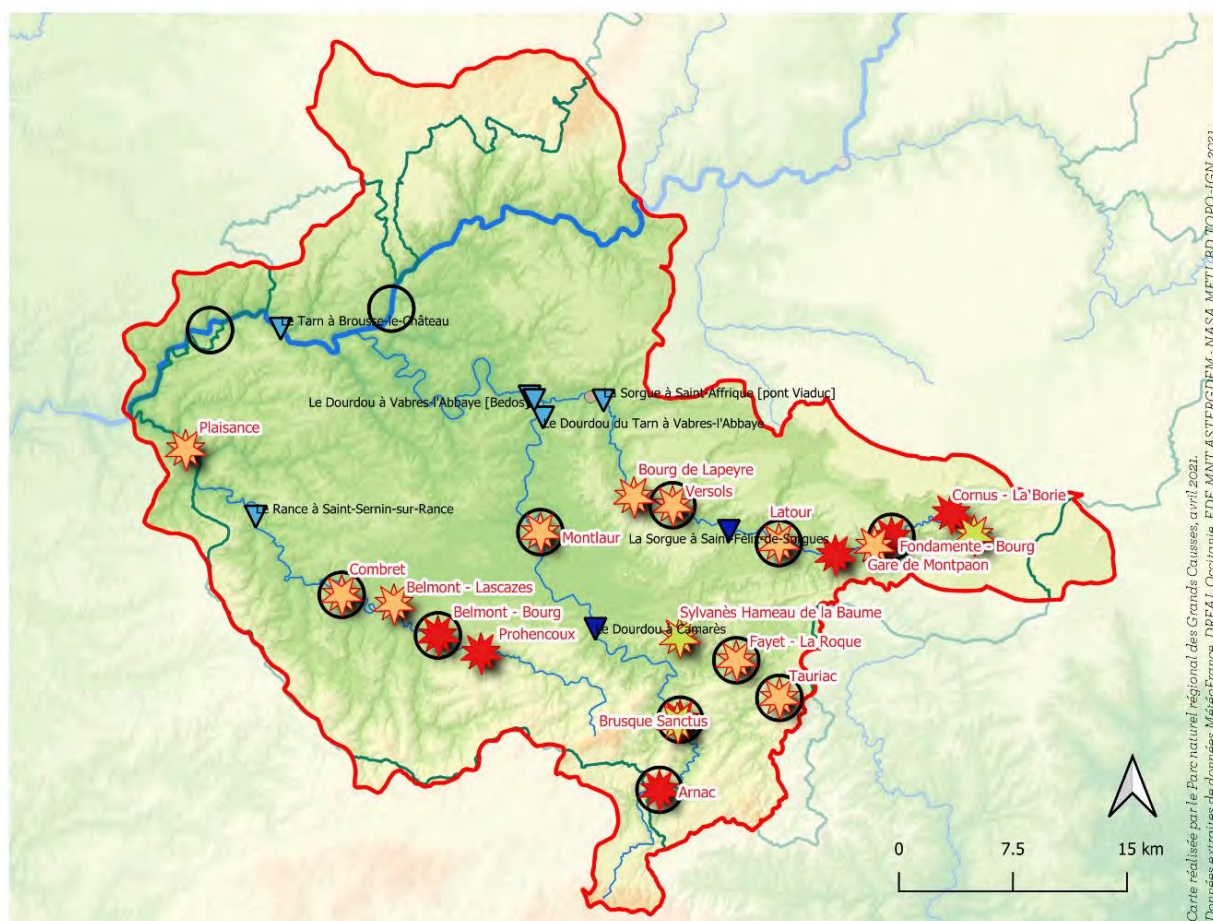
Trois sources de données ont été exploitées pour la présente étude :

- ✓ Les données disponibles aux 3 stations du service de prévision des crues, à savoir St Sernin, sur le Rance, Camarès, sur le Dourdou et St Félix, sur la Sorgues : sur ces stations, les données de hauteurs sont disponibles via les mesures limnimétriques réalisées en continue ; les débits sont également disponibles, issus d'estimations sur la base des courbes de tarage définies par le SPC ;
- ✓ Les données disponibles dans la base de données nationale de repères de crue (DREAL) : sont recensés un certain nombre de laisses et repères de crue, qui peuvent être exploitables pour la présente étude ;
- ✓ Les données recensées par le PNRGC dans le cadre de sa mission PAPI, et en particulier via les reconnaissances de terrain et les informations recueillies auprès des élus et des riverains : ces données consistent généralement en des informations sur les hauteurs maximales atteintes pour les crues passées ; les données plus complètes quant aux déroulés des crues sont rarement disponibles, de même que des documents communaux type Retour d'Expériences qui auraient pu permettre une capitalisation de ces informations très utiles pour travailler sur cette thématique.

¹⁴ Cf. M. LANG et P. ARNAUD « la détermination des valeurs extrêmes de pluie et de crue en France » INRAE - 2019

¹⁵ La méthode statistique SHYREG version 2016 a été élaborée par l'INRAE. Elle utilise les données de base des réseaux pluviométriques de Météo-France sur une période allant jusqu'en 2013. Une convention d'archivage et de mise à disposition par Météo-France des produits SHYREG a été signée par Météo-France et INRAE.

Carte 7: rappel des stations de surveillance existantes et projetées (surveillance automatisée ou visuelle)



Légende

sites pour implantation d'une station de surveillance des crues sites en cours d'équipement (échelle)



Scénario 1 = scénario minimaliste



Scénario 2 = scénario principal (Sc1+2)



Scénario 3 = scénario optimal (1+2+3)



perimetre_UHR_TDR_hydrogeol

Stations existantes Vigicrues gérées par l'Etat (DREAL - SPC)



stations d'observation (relevés hauteur et pluviométrie)



stations de prévision (relevés hauteur et pluviométrie)

A. Données disponibles aux stations DREAL-SPC

Les données disponibles aux stations DREAL-SPC de St Félix, Camarès et St Sernin vont servir de référence pour le calage des modélisations hydrologiques sur chacune des trois branches.

Les données de hauteurs - débits ont ainsi été collectées directement auprès du SPC dans le cadre du PAPI et des études en cours sur Saint-Affrique/Vabres¹⁶, et sur la Banque Hydro pour le reste.

Les éléments disponibles¹⁷ sur la qualité des courbes de tarage fournis par la DREAL ont également été pris en compte afin de compléter l'approche quantitative prévue par une approche qualitative.

Le tableau ci-dessous synthétise les informations aux stations DREAL-SPC.

Code Hydro3 (PhyC)	Cours d'eau/station	Données H en cm	Données Q en m ³ /s
O353401001	Le Dourdou à Camarès	20/12/1994 au 14/01/2021 (données non présentes en Banque Hydro)	Depuis 01/01/2008 d'après dates de validité de la courbe de tarage et bonne précision sauf en basses eaux (< 30 m ³ /s)
O357461001	La Sorgues à Saint-Félix-de-Sorgues	24/11/1994 au 14/01/2021 (données non présentes en Banque Hydro)	Depuis 24/09/2006 au 29/03/2009 d'après dates de validité des courbes de tarage avec bonne précision
O3754010	Le Rance à Saint Sernin	01/01/1990 au 14/01/2021 (données disponibles en Banque Hydro)	01/01/1990 au 14/01/2021
O355401101	Le Dourdou [du Tarn] à Vabres-l'Abbaye [Le Moulin]	13/10/2015 au 14/01/2021	Pas de débits car pas de courbe de tarage
O358461003	La Sorgues à Saint-Affrique (pont RD999)	23/09/2015 au 25/1/2020 (station fermée ensuite)	28/09/2015 au 25/1/2020 (station fermée ensuite)
O358461004	La Sorgues à Saint-Affrique - Viaduc	04/12/2016 au 14/01/2021	04/12/2016 au 14/01/2021
O359402002	Le Dourdou à Vabres-l'Abbaye - Le Poujol	04/09/1987 au 31/12/1991 (données non présentes en Banque Hydro)	Depuis 01/01/1988 d'après dates de validité des courbes de tarage

Tableau 15 : informations aux stations DREAL-SPC

¹⁶ Etude hydraulique de la Sorgues et du Dourdou (Communes de Saint-Affrique et Vabres-l'Abbaye) - WSP - 2019/2021

¹⁷ Cf. annexe 4

B. Autres données recensées

Sur les autres sites intéressants la présente étude, à savoir les sites identifiés pour l'implantation de nouvelles stations de surveillance, qu'elles soient visuelles et/ou automatisées, les informations sur les niveaux atteints et toute autre information quant aux déroulés des crues passées permettent d'analyser et d'affiner le travail de modélisation. Elles apportent des éléments de connaissance très importants puisqu'issus d'observations, donc sans les incertitudes et marges d'erreur liées aux approches de type modélisation.

Ainsi, dès le démarrage de la mission, ce travail de recensement des connaissances a été mené : en recherchant les informations disponibles au niveau du PNRGC, mais également au travers des autres actions menées dans le cadre du PAPI¹⁸, auprès des élus et riverains rencontrés et interrogés sur les données historiques connues, et via les reconnaissances de terrain réalisées.

A noter qu'un travail de levés topographiques était intégré à la présente mission pour les besoins des modélisations hydrauliques. Dans ce cadre, des levés complémentaires ont pu être réalisés sur des niveaux de plus hautes eaux atteints identifiés et/ou recensés dans la base de données nationale, là où ces éléments n'étaient pas disponibles. Ils ont été fournis à la DREAL pour information, et capitalisation dans la base nationale de repères de crue, travail mené dans le cadre de l'action 1.3 du PAPI.

Le tableau 16 ci-après synthétise les données complémentaires recensées.

¹⁸ Notamment étude historique et étude hydraulique globale (action 1.4), pose de repères de crue (action 1.3)

Vallée	Commune	Site	Données collectées					
			Personnes ressources (cf. annexe 8)	PHE BDRC	Autres PHE (autres crues / hors BDRC)	Déroulé crue (t, h)	Rex formalisé	Autres données
Sorgues	Cornus	Pont du Mescladou	-	-	-	-	-	-
	Fondamente	Fondamente (échelle existante)	-	✓	✓	-	-	-
		Gare de Montpaon	-	-	-	-	-	-
	Marnhagues-et-Latour	Latour (échelle existante)	✓	✓	✓	-	-	-
	Saint-Felix-de-Sorgues	Station DREAL	<i>Sans objet - données disponibles précises au droit de la station DREAL-SPC</i>					
	Versols-et-Lapeyre	Versols - pont de Versols	Sites en aval de la station DREAL-SPC : non concernées directement par analyse hydrologique et hydraulique					
	Saint-Affrique	Station DREAL						
Dourdou et affluents	Arnac	Arnac - passerelle sur le Dourdou	✓	-	✓	-	-	-
	Brusque	Brusque - Pont sur le Dourdou	-	✓	✓	-	-	-
		Brusque - Pont sur le Sanctus	-	✓	✓	-	-	-
	Tauriac	Tauriac - Pont sur le Nuéjouis	-	-	-	-	-	-
	Fayet	La Roques - Passerelle sur le Nuéjouis	✓	✓	✓	-	-	-
	Sylvanès	La Baume	-	-	✓	-	-	-
	Camarès	Station DREAL	<i>Sans objet - données disponibles précises au droit de la station DREAL-SPC</i>					
	Montlaur	Bourg - pont RD 101	Sites en aval de la station DREAL-SPC : non concernées directement par analyse hydrologique et hydraulique					
	Vabres-l'Abbaye	Station DREAL						
Rance	Mounes-Prohencoux	Prohencoux - pont de Prohencoux	✓	-	✓	-	-	-
	Belmont-sur-Rance	Bourg - Vieux pont	✓	✓	✓	-	-	-
	Belmont/Combret	Lascazes	✓	-	✓	-	-	-
	Combret	Bourg - pont RD 91	✓	✓	✓	-	-	-
	Saint-Sernin	Station DREAL	<i>Sans objet - données disponibles précises au droit de la station DREAL-SPC</i>					
	Plaisance/Curvalle	Bourg - pont RD 33	Sites en aval de la station DREAL-SPC : non concernées directement par analyse hydrologique et hydraulique					
	La Bastide-Solage	Hameau de St Pierre						

Tableau 16: Récapitulatif des données collectées

5.5. Méthodologie et résultats

5.5.1. Analyse hydrologique

L'objectif de la modélisation hydrologique est de définir la réponse des bassins versants pour des événements de pluie donnés. Les événements historiques pour lesquels les données d'entrées (données de pluie) et de sorties (données de débit au droit des stations du SPC) sont connues permettent de définir les paramètres du modèle et de vérifier sa capacité à se rapprocher de la réponse hydrologique réelle.

Une fois les paramètres définis, le modèle permet alors de calculer les hydrogrammes en n'importe quel point du cours d'eau et notamment au droit des différents sites de surveillance projetés.

Plusieurs logiciels permettent la modélisation hydrologique de bassins versants. Le choix s'est porté sur ATHYS, logiciel robuste et fiable, qui permet d'intégrer les images radars type PANTHERE comme données d'entrée pluviométriques.

A. Le logiciel ATHYS

ATHYS (Atelier HYdrologique Spatialisé) est un logiciel libre et ouvert développé par l'équipe d'HydroSciences Montpellier pour diverses applications hydrologiques et en particulier la prévision des crues.

ATHYS propose un ensemble de modèles majoritairement distribués (l'organisation spatiale des données est prise en compte) et événementiels (le modèle ne décrit que l'épisode de crue, et les conditions initiales doivent être fixées de façon externe). La structure distribuée permet d'exploiter l'information spatiale disponible, sans complexification excessive du modèle.

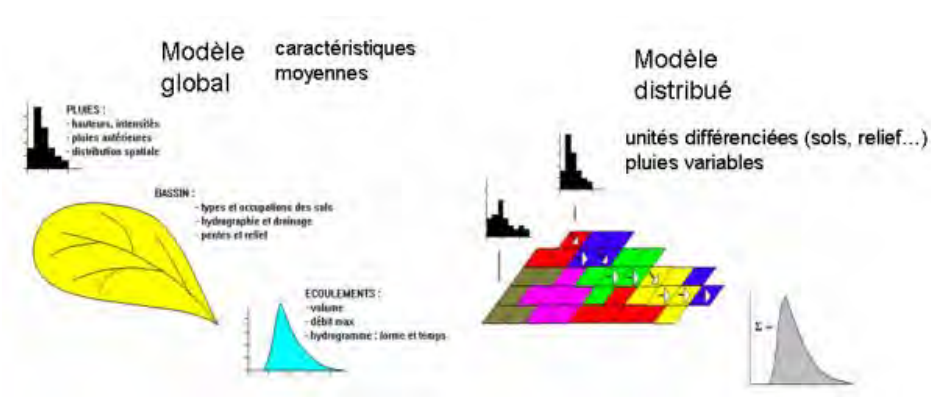


Figure 1 : Comparaison des modèles globaux et distribués

Ainsi un modèle distribué va mieux représenter la réponse d'un bassin versant soumis à une pluie nettement localisée comme c'est le cas pour les épisodes méditerranéens qui touchent principalement l'amont des bassins étudiés.

Les modèles implantés dans le logiciel ATHYS opèrent sur une structure de mailles carrées régulières. Cette structure est adaptée à la plupart des sources de données spatialisées telles que celles dont nous disposons (pluie radar et modèles numériques de terrain -MNT- pour le relief).

Un modèle est composé de deux fonctions qui permettent de transformer la hauteur d'eau de pluie brute précipitée en débit d'eau à l'exutoire :

- La fonction de production permet de définir la partie de la pluie précipitée (pluie brute) qui va effectivement s'écouler à l'exutoire du bassin versant. Le résultat de cette première transformation est un hyétogramme de pluie nette. Il s'agit d'une grandeur fictive. La pluie nette est calculée par différence entre la pluie brute et les pertes au ruissellement (évaporation, interception par la végétation, rétention en surface, infiltration, stockage moteur nécessaire pour que s'engage le processus de ruissellement). La pluie nette est ensuite exprimée sous la forme d'un débit de pluie nette en multipliant l'intensité instantanée de pluie nette par la surface du bassin versant.
- La fonction de transfert va transformer le débit de pluie nette en débit à l'exutoire : le volume de l'hydrogramme de pluie nette est le même que celui de l'hydrogramme à l'exutoire. Son but est de représenter les transformations de la forme de l'onde de débit lors de son passage à travers le bassin versant.

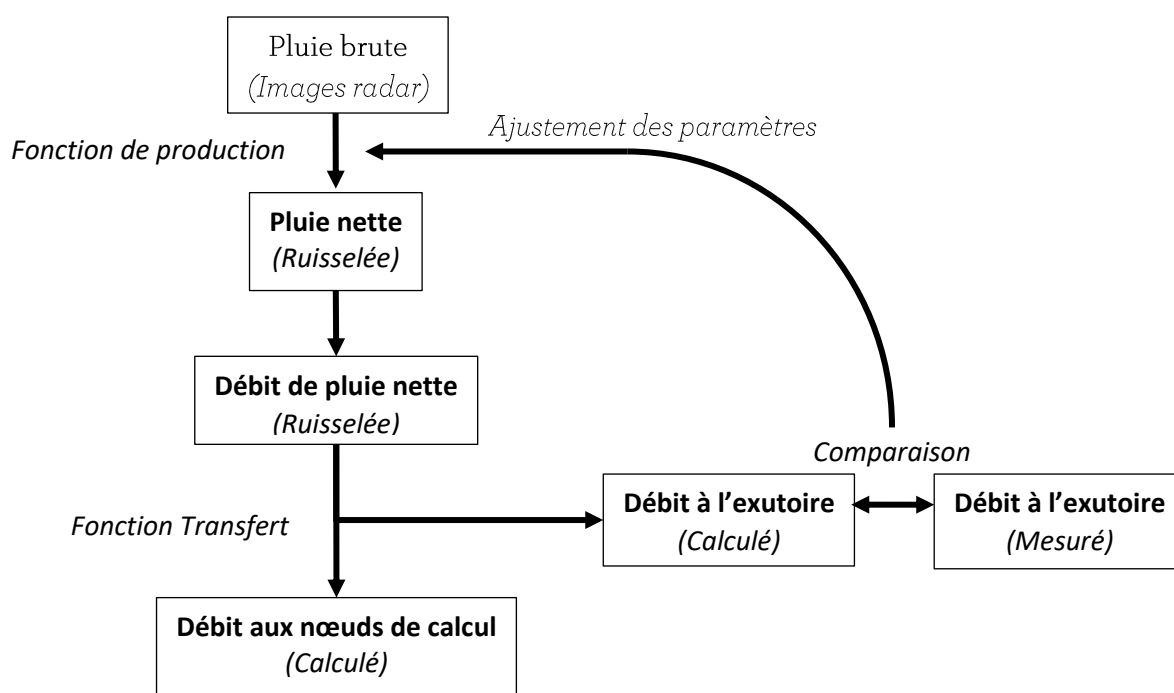


Figure 2 : Schéma de principe de la modélisation hydrologique

La fonction de production choisie est le modèle SCS (de *Soil Conservation Service*, organisme américain qui a conçu ce modèle). Ce modèle de production très souple, est capable de s'adapter à différents types de processus de formation de crues et est applicable sur les bassins versants ruraux ou peu urbanisés. Il est caractérisé par :

- un coefficient de ruissellement instantané, fonction du cumul de pluie depuis le début de l'épisode ;
- un réservoir sol, alimenté par la fraction de la pluie qui s'infiltré, et soumis à une vidange ;
- un écoulement retardé, correspondant à une fraction de la vidange du réservoir sol.

Dans la version utilisée, le volume d'eau ruisselé R (mm) est calculé en fonction de :

- P (mm) : Hauteur de précipitation (cumul de pluie brute) ;
- S (mm) : Infiltration potentielle maximale du sol ;
- I_a (mm) : Hauteur initiale de précipitation échappant au ruissellement (interception par la végétation et les dépressions dans le sol).

Deux autres paramètres permettent de caractériser la vidange du réservoir. Pour simplifier le modèle, l'écoulement retardé sera considéré nul et ces paramètres fixés à zéro :

- ds (j^{-1}) : facteur de vidange, correspondant à un temps de ressuyage des sols ;
- ω (adimensionnel) : facteur de reprise de vidange.

Le volume de pluie nette est calculé comme suit :

- Pour $P < I_a$: $R = 0$
- Pour $P > I_a$: $R = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a-S}$
- Pour P_∞ : $R = P - I_a - S$

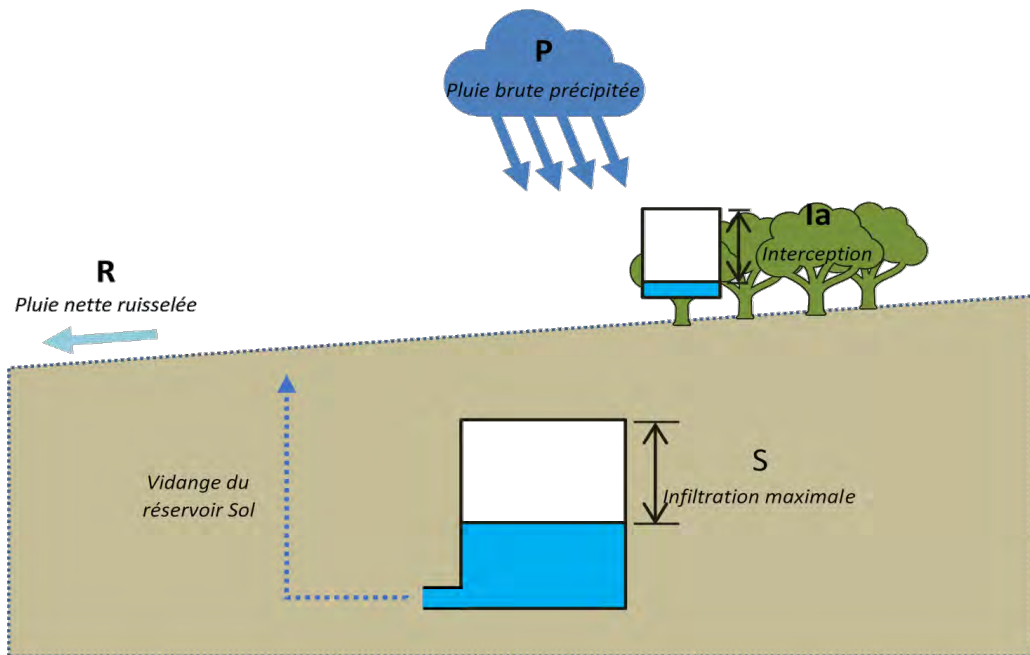


Figure 3 : Schéma de principe du modèle SCS

La fonction de transfert utilisée est une fonction Lag & Route à mailles indépendantes. La pluie nette produite à chaque maille est transférée intégralement à l'exutoire. Chaque maille produit donc, à chaque pas de temps, un hydrogramme élémentaire à l'exutoire qui dépend :

- d'un temps de transfert T (route) entre la maille m et l'exutoire du bassin, déterminé par les vitesses d'écoulement V sur les mailles et de la longueur L de la trajectoire entre la maille m et l'exutoire du bassin ;
- d'un temps d'amortissement (lag) entre la maille m et l'exutoire du bassin, simulé par un réservoir linéaire de capacité K .

La somme de tous les hydrogrammes élémentaires, pour toutes les mailles et tous les pas de temps, fournit l'hydrogramme complet de la crue.

B. Présentation des données d'entrée

☐ Remarques préliminaires

Pour chaque bassin versant et stations de surveillance à l'étude, un seul point de calage est disponible avec :

- Station de St Félix pour la Sorgues ;
- Station de Camarès pour le Dourdou ;
- Station de Saint Sernin pour le Rance.

Dans ce contexte, il a été fait le choix de caler le modèle en jouant sur les deux paramètres les plus influents, à savoir S pour la réponse quantitative, et V la réponse dynamique.

Les données d'entrée réellement prises en compte pour le modèle seront donc les suivantes :

- Limites des bassins-versants et topographie,
- Données pluviométriques ;
- Données débitométriques.

Elles sont présentées ci-après.

A noter que d'autres éléments auraient pu en théorie être pris en compte comme la géologie, la couverture des sols (données CorineLandCover) à un niveau quantitatif. Elles seront considérées sur le seul plan qualitatif, les éléments de calage n'étant pas suffisants pour justifier un travail à ce niveau, qui ne s'avérerait pas pertinent.

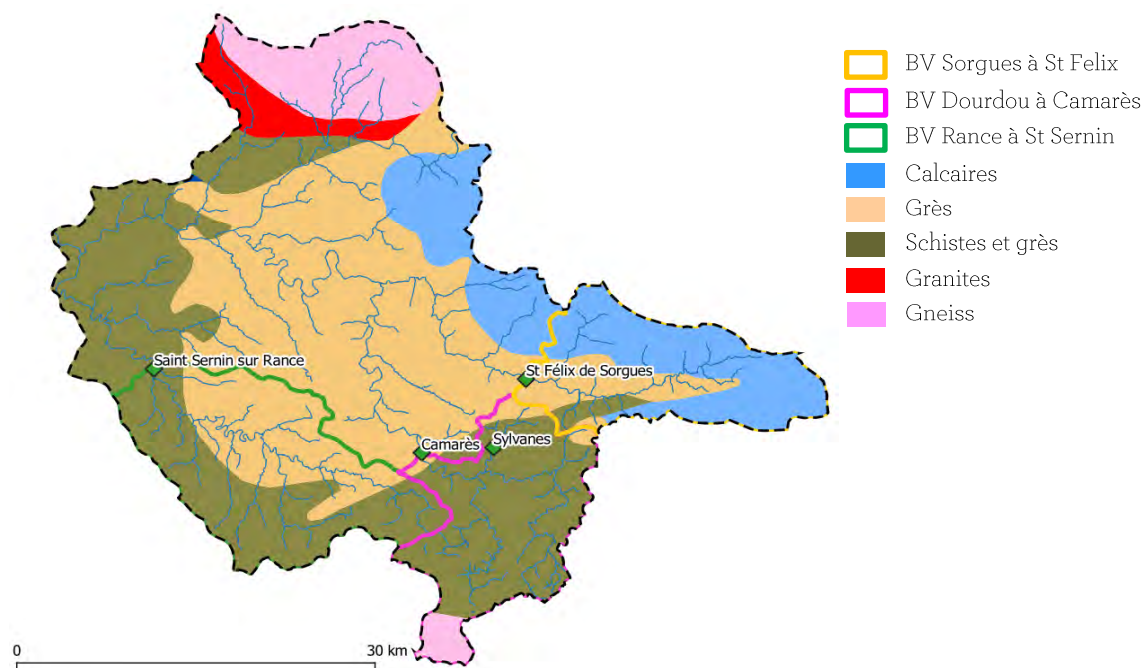
☐ Limites des bassins-versants

La zone d'étude concerne les bassins versants de la Sorgues, du Dourdou et du Rance. Si ces bassins versants sont définis par le relief, et les limites topographiques associées, certains, notamment celui de la Sorgues, comprennent des zones karstiques très développées, situées sur le causse du Larzac et le plateau du Guilhaumard.

La carte ci-dessous présente les différentes unités géologiques pour ces bassins versants, avec les proportions suivantes pour chaque unité :

- Pour la Sorgues à St Felix : Calcaires (69%), Grès (25%), Schistes (6%) ;
- Pour le Dourdou à Camares : Schistes (86%), Grès (6%), Gneiss (8%) ;
- Pour le Rance à St Sernin : Schistes (58%), Grès (42%).

Carte 8: Carte lithologique simplifiée (source PNRGC – 2019-2020)



L'influence de ces caractéristiques hydrogéologiques sur les débits peut être importante. Les limites hydrogéologiques des bassins, connues grâce au travail réalisé depuis de nombreuses années par le PNRGC, à travers des campagnes de traçage, ont donc été considérées pour le choix des surfaces d'apport.

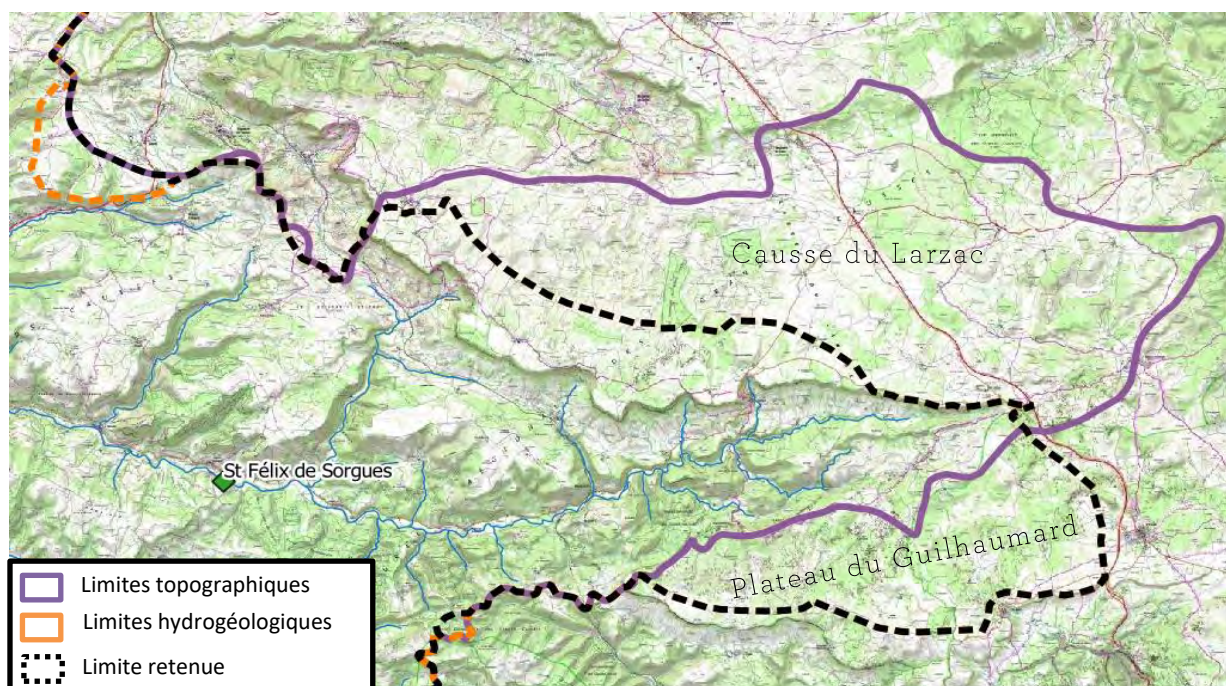
Pour illustrer ce contexte, la carte page suivante rappelle les limites topographiques et hydrogéologiques zoomée sur l'amont de la Sorgue, mettant en évidence les différences importantes sur ce secteur.

La présente étude se focalise sur la réponse hydrologique des bassins lors des précipitations intenses. Pour ces événements, le relief joue un rôle prépondérant dans le transfert des eaux précipitées¹⁹ ; ainsi, pour les zones où diffèrent bassins versants topographiques et hydrogéologiques, les choix ont été fait comme suit :

- les limites topographiques ont été retenues sur les secteurs de relief prononcé,
- les limites hydrogéologiques ont été retenues sur les secteurs sans relief marqué type plateaux (causses).

¹⁹ On se référera notamment à l'étude hydraulique et hydrogéologique portée par le syndicat Tarn Amont sur le Cernon, et réalisée par les bureaux d'étude CEREG – CALIGEE en 2017-2018

Carte 9: Choix des limites de bassin – exemple caractéristique pour la Sorgues



□ Données topographiques

Les données topographiques utilisées en entrée dans ATHYS sont les suivantes :

- Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu du LIDAR au pas de 25 m : Altitudes (en m) pour chaque nœud ;
- Modèle de drainage issu du MNT au pas de 25 m : Directions de drainage codées de 0 à 8 pour chaque nœud (représentées par des flèches – cf. zoom ci-dessous);

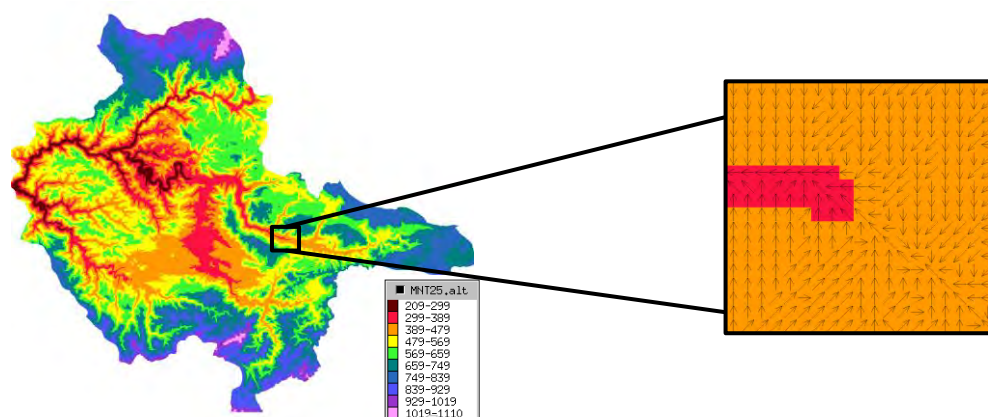


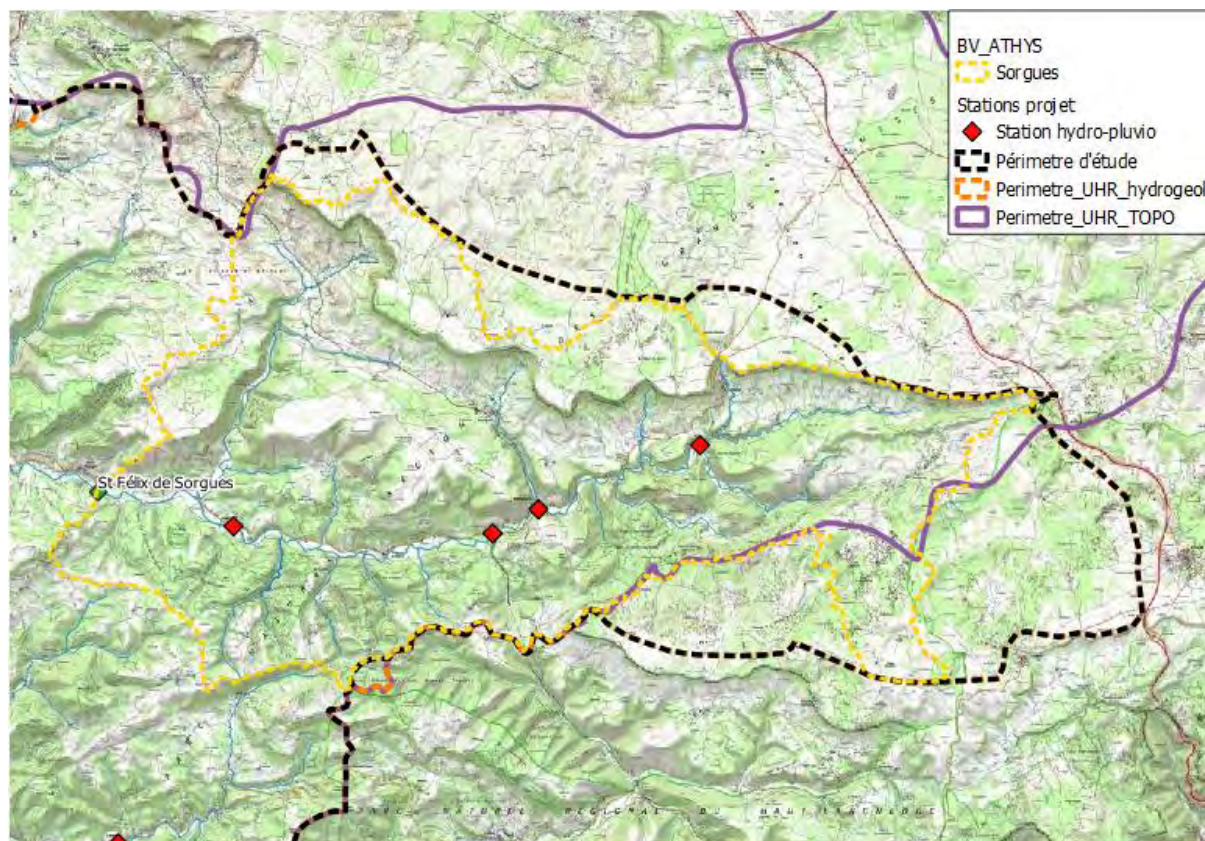
Figure 4 : Modèle numérique de Terrain et détail du modèle de drainage

□ Limites des bassins versants prises en compte

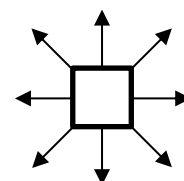
Si pour le Rance et le Dourdou les limites des bassins versants retenus pour l'analyse hydrologique sont cohérentes avec le fonctionnement réel tel qu'appréhendé, il n'en est pas de même pour la Sorgues : en effet, les limites retenues via la modélisation pluie-débit avec le modèle ATHYS pour ce sous-bassin ne correspondent pas aux limites telles que prévues.

L'extrait cartographique ci-dessous présente ces différences :

Carte 10: Comparaison des limites du BV de la Sorgues définies dans l'étude et calculées par ATHYS



Le logiciel ATHYS définit les bassins versants à partir du modèle numérique de terrain, via une matrice dite directions de drainage, dont les mailles, identiques à celles du MNT, sont des carrés de 25 m de côté, et sont codées de 0 à 8, définissant pour chacune des mailles 8 directions de drainage (et 1 dépression) de 45 en 45°.



Les directions de drainage sont calculées en fonction des altitudes des 8 mailles environnantes : on retient la maille dont l'altitude est la plus faible, c'est-à-dire la ligne de plus grande pente. Lorsqu'aucune des mailles environnantes ne présente une altitude inférieure à la maille considérée, cette maille est codée par 0 (dépression). Le module de calcul ne pouvant pas traiter ces dépressions dans la modélisation des écoulements, et afin de reconstituer convenablement les bassins versants, ces dépressions doivent être éliminées. Une fonction automatique disponible dans le logiciel permet d'effectuer ces corrections.

Le modèle des directions de drainage s'appuie donc dans un premier temps sur les limites du bassin versant topographique. Les zones de plateau, telles que le causse du Larzac et le plateau du Guilhaumard sont des zones où le logiciel va modéliser un grand nombre de dépressions comme on peut l'observer sur la carte ci-contre (points rouges). La fonction de traitement va donc chercher à leur trouver un exutoire en modifiant la direction de drainage de ces mailles de telle sorte à ce que soient éliminés :

- Les dépressions ;
- Les parcours en boucle ;
- Les franchissements (directions de drainage diagonales et convergentes sur 2 mailles adjacentes).

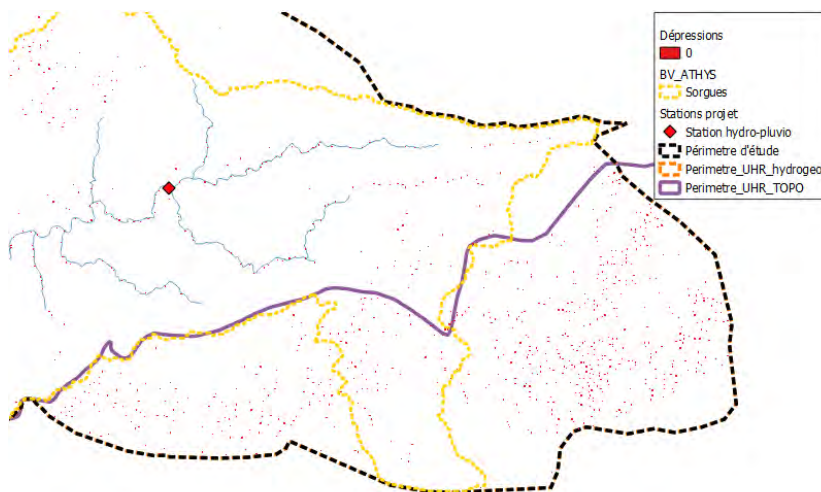


Figure 5 : Modèle de drainage brut avant traitement des dépressions – Détail du plateau du Guilhaumard

Ce sont ces modifications qui conduisent à la définition du bassin versant de la Sorgues par le logiciel ATHYS comme présenté dans la figure 7.

La superficie drainée à St Félix passe donc de 210 km² pour le bassin défini au préalable à 155 km² pour le bassin calculé par ATHYS.

Cette différence de 54 km² aura un impact sur le volume d'eau total ruisselé au cours de l'épisode. Au vu de la topographie, cet apport se fera plutôt en fin de crue et n'aura pas d'incidence sur les pics de crue car les temps de transfert depuis les causses sont beaucoup plus importants (passage par les systèmes karstiques) que depuis les autres points du bassin versant topographique évident (vallée de la Sorgues).

Une modification maille par maille des directions de drainage aurait pu être envisagée pour prendre en compte les limites hydrogéologiques du bassin versant telles que retenue initialement. Cependant, ce travail très chronophage n'aurait pu apporter une précision supplémentaire, la caractérisation des réactions pluie-débits sur ces zones karstiques étant complexe, avec des paramètres difficiles voire impossibles à appréhender dans le cadre de la présente étude.

Ainsi, l'objectif de cette étude étant de définir les hydrogrammes, notamment au moment du pic de crue, au droit de chaque station ainsi que les temps de propagation entre celles-ci, il a été fait le choix de conserver les limites du modèle calculé par le logiciel.

□ Données pluviométriques

La pluviométrie utilisée est issue des données PANTHERE de Météo France. Ces données permettent le calcul de la lame d'eau précipitée au pas de temps de 5 minutes à partir de mesures radar.

Les données, au format raster, sont extraites sur la zone définie par le périmètre d'étude pour les quatre épisodes suivants :

- Septembre 2014 : 16/09/2014 20:00 au 18/09/2014 01:00 ;
- Novembre 2014 : 28/11/2014 00:00 au 30/11/2014 04:30 ;
- Septembre 2015 : 12/09/2015 05:00 au 13/09/2015 01:00 ;
- Octobre 2019 : 20/10/2019 08:00 au 23/10/2019 17:00 ;

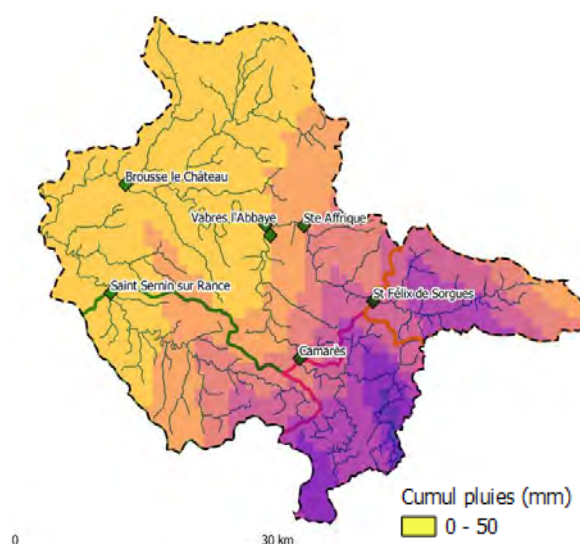
Les cartes ci-dessous synthétisent le cumul des pluies pour ces 4 évènements. Ces évènements font l'objet d'une présentation générale, qui figure en annexe 5.

Carte 11: Cumul des pluies

Septembre 2014



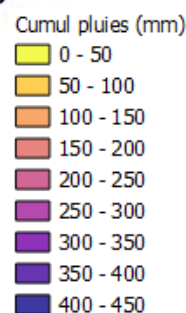
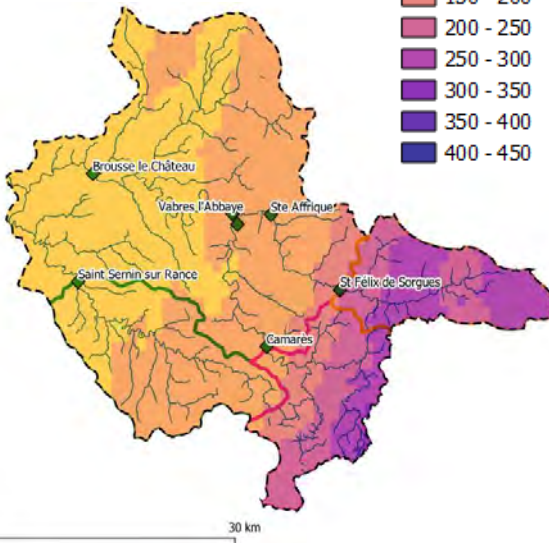
Novembre 2014



Septembre 2015



Octobre 2019



□ Données débitmétriques

La zone d'étude est équipée de plusieurs stations de mesures gérées par la DREAL-SPC qui mesurent au pas de temps horaire la hauteur d'eau dans le cours d'eau, et permettent d'estimer le débit grâce à des courbes de tarage établies par le gestionnaire. Ces valeurs de débits sont extraites pour chaque station sur la durée des épisodes considérés.

Pour rappel, les stations de mesure exploitées sont les suivantes :

- Station de St-Félix-sur-Sorgues pour la Sorgues
- Station de Camarès pour le Dourdou
- Station de St-Sernin-sur Rance pour le Rance

Ces hydrogrammes serviront de référence pour caler les paramètres du modèle.

C. Paramètres de calage

Les fonctions de production et de transfert comportent plusieurs paramètres à déterminer.

Le modèle de production SCS comporte quatre paramètres :

- S (mm) est la capacité maximale du réservoir sol. Elle dépend de nombreuses caractéristiques du sol : profondeur, hétérogénéité, porosité, conductivité hydraulique, pendage du sous-sol, etc.
- Ia/S définit la proportion des pertes initiales par rapport à la capacité maximale du réservoir sol. Cette proportion est généralement estimée à 0.2.
- ω et ds permettent de caractériser la vidange du réservoir. Pour simplifier le modèle, l'écoulement retardé sera considéré nul et ces paramètres fixés à zéro.

Il existe plusieurs façons d'estimer la valeur de S .

- Tables du coefficient d'aptitude au ruissellement (Curve Number) qui dépend du type de sol et de son occupation. Cette méthode n'est pas adaptée au vu de l'hétérogénéité et de la taille des bassins versants.
- Résolution de l'équation $R = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S}$ pour les valeurs mesurées de R (Volume ruisselé) et de P (Volume précipité) pour chaque épisode sur chaque bassin versant ;
- Module d'optimisation intégré à ATHYS qui repose sur la minimisation d'un critère d'erreur en comparant les hydrogrammes observés et calculés. Le critère d'erreur calculé est l'écart quadratique moyen. Cette procédure permet d'optimiser également les paramètres de la fonction transfert. Le paramètre S initial peut être celui calculé par la résolution d'équation.

La fonction de transfert comporte deux paramètres. Ceux-ci peuvent être prédéterminés selon des règles simples. La règle dite uniforme considère que :

- La constante V_0 peut être estimée comme étant la vitesse maximale atteinte à l'exutoire au cours de l'événement ;
- L'expérience montre que la constante de proportionnalité K_0 peut être empiriquement fixée à $K_0 = 0.7$.

Dans la pratique, vu qu'on ne dispose pas des vitesses maximales à l'exutoire, on définira le paramètre V_0 en calant temporellement la pointe de l'hydrogramme calculé sur celle de l'hydrogramme mesuré.

D. Choix des paramètres et résultats des calages

Le calage des modèles repose donc sur l'analyse des 12 hydrogrammes en comparant les débits observés (DREAL-SPC) et calculés (ATHYS) pour les 3 bassins versants et les 4 épisodes.

Les deux paramètres de calage retenus S et V_0 permettent respectivement d'appréhender au mieux la valeur du débit et l'heure d'atteinte du pic de crue (débit maximum).

Ce calage a été appréhendé pour chaque épisode et chaque branche, soit un total de 12 jeux de paramètres (3 bassins versants et 4 épisodes).

Le paramètre S a fait l'objet de plusieurs estimations itératives. Les tableaux suivants présentent les résultats des différentes méthodes pour S et les paramètres finalement retenus.

Episode	BV	H précipitée	H ruisselée	S équation	S optim auto	S choisi = S affiné
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
sept-14	Sorgues	110	46	91	241	255
	Dourdou	151	73	103	296	260
	Rance	43	11	58	150	130
nov-14	Sorgues	226*	250*	.*	181	300
	Dourdou	277*	366*	.*	121	250
	Rance	136	125	10	52	40
sept-15	Sorgues	142	43	166	334	320
	Dourdou	101	27	132	300	170
	Rance	23	0	115	264	230
oct-19	Sorgues	249	69	315	428	500
	Dourdou	212	71	225	300	310
	Rance	109	24	165	181	110

(*) Les valeurs de S pour les bassins versant de la Sorgues et du Dourdou pour l'épisode de novembre 2014 ne sont pas réalistes car le volume d'eau ruisselé est supérieur au volume précipité, ce qui s'explique du fait de la saturation des bassins lors de cet épisode, et des phénomènes de réessuyage, en lien avec les fortes pluies observées, notamment en septembre 2014.

Tableau 17 : Détermination du paramètre S

Episode	BV	Production				Transfert	
		S	Ia/S	ω	ds	V_0	K_0
		(mm)	(-)	(-)	(j-1)	(m/s)	(-)
sept-14	Sorgues	255	0.2	0	0	3	0.7
	Dourdou	260	0.2	0	0	4.7	0.7
	Rance	130	0.2	0	0	2.6	0.7
nov-14	Sorgues	300	0.2	0	0	2.5	0.7
	Dourdou	250	0.2	0	0	3	0.7
	Rance	40	0.2	0	0	3	0.7
sept-15	Sorgues	320	0.2	0	0	2.2	0.7
	Dourdou	170	0.2	0	0	2.6	0.7
	Rance	230	0.2	0	0	3	0.7

oct-19	<i>Sorgues</i>	500	0.2	0	0	2.7	0.7
	<i>Dourdou</i>	310	0.2	0	0	2.5	0.7
	<i>Rance</i>	110	0.2	0	0	1.7	0.7

Tableau 18 : Paramètres du modèle hydrologique

Est présenté ci-dessous pour exemple, l'hydrogramme de l'épisode de novembre 2014 au droit de la station de St Sernin sur Rance : Il ressort que la réponse hydrologique calculée du bassin versant pour cet évènement représente très finement la réponse réelle mesurée.

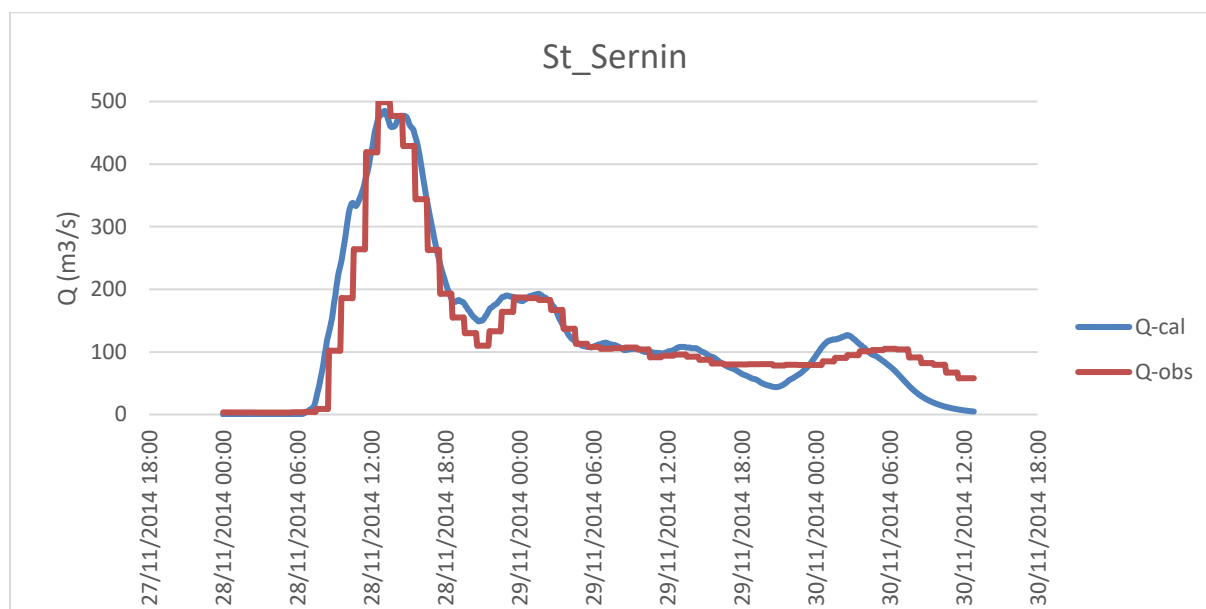


Figure 6 : Hydrogramme de calage du modèle Rance - Novembre 2014

Les autres hydrogrammes de calage sont présentés en annexe 7.1.

A noter que pour l'épisode de septembre 2015, il n'y a pas eu de crue sur le Rance, les pluies ayant touché les seuls bassins de la Sorgues et du Dourdou ; l'hydrogramme n'est donc pas présenté.

Pour l'épisode de novembre 2014, les hydrogrammes calculés pour les bassins de la Sorgues et du Dourdou ne permettent pas de représenter les volumes mesurés (cf. figure 7 page suivante). En effet, cet épisode particulièrement intense s'est produit dans des conditions de sols exceptionnellement saturés, faisant suite à la crue de septembre de la même année (2 mois et 11 jours plus tôt) : la saturation des sols, et les réactions de réessuyage complexes associés, notamment du fait du caractère karstique des bassins versants, n'ont en effet pu être représentés par le modèle ; pour rappel, l'approche est centrée sur chaque évènement, avec un unique point de calage par bassin, approche qui ne permet pas de prendre en compte cet historique et la complexité des réactions.

Le calage du modèle a néanmoins permis de rejouer la dynamique de la crue, dans ces aspects propagation et pic de crue, aspects qui intéressaient en premier lieu la présente étude.

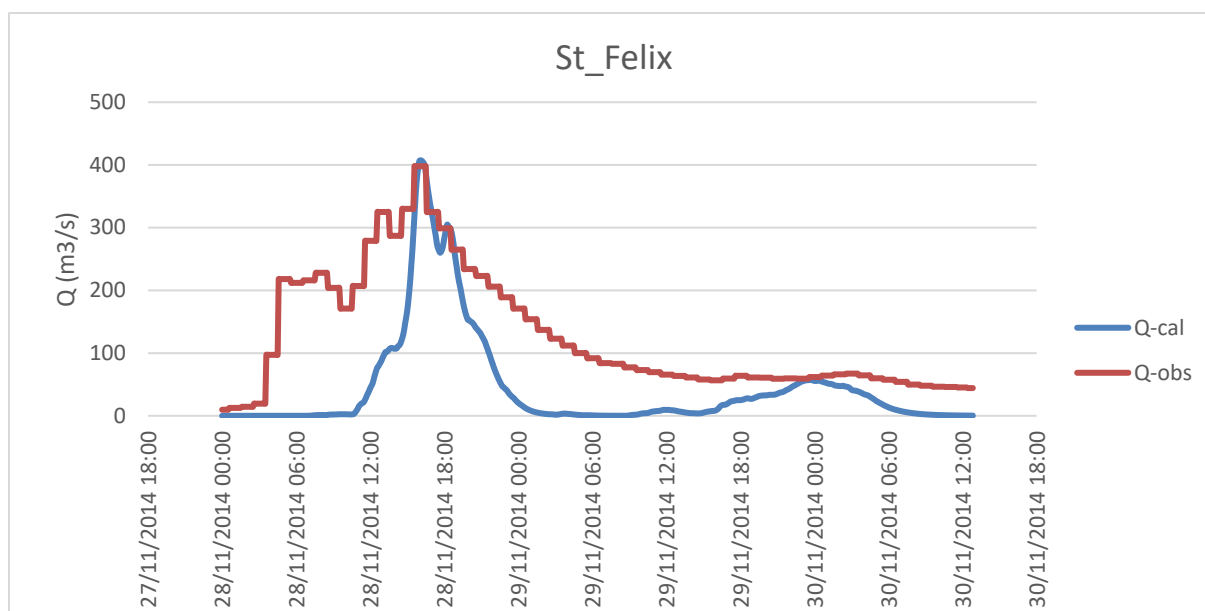


Figure 7 : Hydrogramme de calage du modèle Sorgues - Novembre 2014

Ce biais se retrouve également dans l'analyse réalisée²⁰ par évènement et bassin versant visant à comparer volumes (ou hauteurs) précipités et ruisselés.

Le tableau ci-dessous présente ces résultats pour les évènements de septembre et novembre 2014.

Il met en évidence les ratios [Volume ruisselé / Volume précipité] supérieurs à 100% pour la crue de novembre, contre des ratios inférieurs à 50 % pour celle de septembre. Il est donc probable qu'une partie du volume ruisselé en novembre provienne de l'épisode de pluie de septembre, ou du moins de phénomènes de lent réessuyage.

	DOURDOU		SORGUES		RANCE	
	CAMARES		ST FELIX		ST SERNIN	
Episode	sept-14	nov-14	sept-14	nov-14	sept-14	nov-14
Superficie [km²]	220.5		209.7		289.3	
Hauteur précipitée [mm]	151	277	110	226	43	136
Hauteur ruisselée [mm]	73	366	46	250	11	125
Ratio Vr/Vp [%]	48	132	42	111	26	92

Tableau 19 : Analyse des volumes précipités / ruisselés

²⁰ Cette analyse comparative est présentée en annexe 6 ; elle est basée sur les données pluviométriques (Météo France) et débitmétriques (DREAL-SPC).

E. Résultats des modélisations au droit des sites de surveillance projetés

Pour chacun des événements étudiés, le modèle permet de calculer la réponse hydrologique en n'importe quel point du bassin versant, notamment au droit des sites projetés pour la surveillance des crues.

Les hydrogrammes résultants de ces modélisations sont présentés par épisode et par bassins-versants en annexe 7.2.

A titre d'exemple, le graphique ci-dessous présente les résultats pour la branche Sorgues et l'événement de septembre 2014.

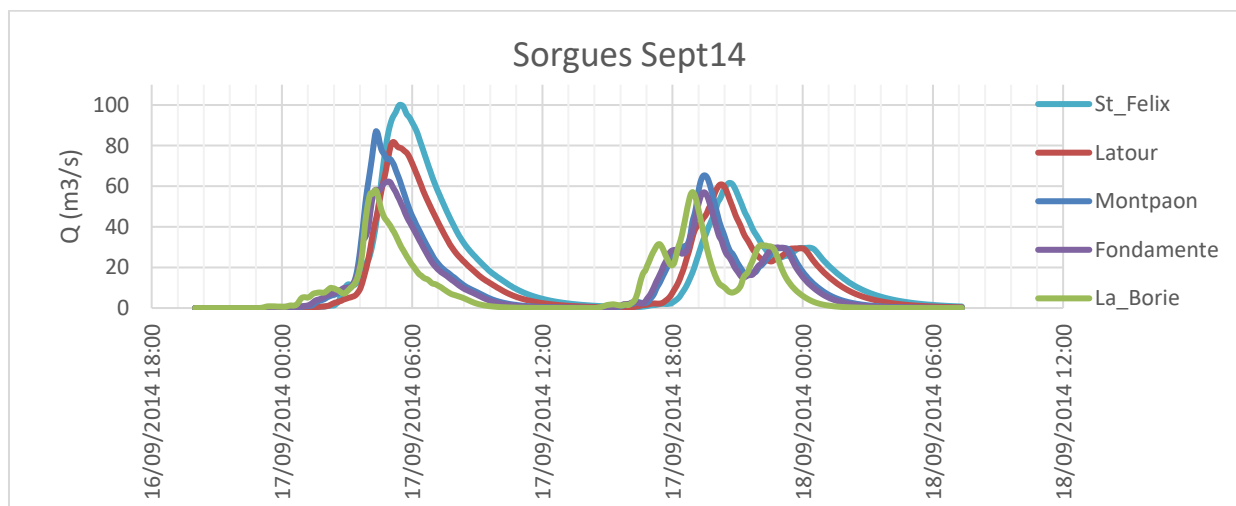


Figure 8 : Hydrogrammes calculés sur le bassin versant de la Sorgues - Septembre 2014

Comme attendu afin de confirmer et préciser les résultats présentés dans l'étape I, l'analyse des hydrogrammes résultants de cette modélisation a permis de déterminer les temps de propagation de l'onde de crue entre les différents points de calculs.

Ces temps de propagation sont obtenus en faisant la moyenne des écarts entre deux hydrogrammes d'une même crue pour les points caractéristiques (pic). En effet, les décalages entre ces points ne sont pas toujours homogènes selon les crues, d'où la nécessaire moyenne à calculer, et la fourniture, en complément de ce résultat, de la fourchette de précision à prendre en compte.

Le tableau ci-dessous présente le résultat de ces calculs, avec en chaque point :

- la superficie du bassin versant drainé, ainsi que la proportion du bassin contrôlé par le ou les points de surveillance amont ;
- les temps de propagation entre points de calcul et la fourchette de précision.

Ces résultats seront à exploiter pour la définition des outils de surveillance à proposer aux élus pour la gestion des risques inondation.

Rivière	Site	Bassin versant		Temps de propagation		Temps de propagation cumulé	
		[km²]	[%]	[hh:mm]		[hh:mm]	
Sorgues	La_Borie	68	69%	00:30		00:30	
	Fondamente	98	57%	±15min	00:15	±15min	00:45
	Montpaon	118	44%	±5min	00:45	±20min	01:30
	Latour	153	32%	±15min	00:30	±35min	02:00
	St_Felix	210		±5min		±40min	
Nuejols	Tauriac	43	55%	00:30		00:30	
	La_Roque	77		±15min		±10min	
Dourdou	Arnac	49	17%	01:30	01:00	02:00	01:00
	Brusque	77	64%	±15min	±15min	±30min	±15min
	Camares	249	20%	±30min			02:30
Rance	Prohencoux	41	82%	00:30		00:30	
	Belmont	50	31%	±5min	00:45	±5min	01:15
	Lascazes	134	21%	±15min	00:45	±20min	02:00
	Combret	198	14%	±15min	01:45	±35min	03:45
	St_Sernin	284		±30min		±1h05	

Tableau 20 : Temps de propagation calculés

F. Conclusions

La pertinence d'un réseau de surveillance a été mise en évidence dans la partie I de l'étude, sur la base des temps d'anticipation attendus par un tel réseau.

Aussi, il importe de comparer les résultats des modélisations, aux estimations faites en première approche (Cf. Partie I), afin de conclure sur l'intérêt d'équiper le territoire d'un tel réseau. C'est l'objet des paragraphes ci-dessous.

▪ Branche Sorgues :

- ✓ A Fondamente, il avait été estimé un temps de propagation de 40 min depuis le poste amont (Pont du Mescladou : site La Borie), contre une valeur de 30 min +/- 15 min issue de la modélisation ;
- ✓ A Latour, le temps de propagation était estimé à 1h40, contre 1h30 +/- 15 min via la modélisation.

Les résultats estimés en première approche s'avèrent donc cohérents avec les résultats de l'approche approfondie via la modélisation, avec des temps d'anticipation légèrement plus courts.

En définitive, on retiendra que la mise en place d'une surveillance en amont, sur les sites tels qu'identifiés, permet de disposer pour les élus d'une information fiable pour des temps d'anticipation intéressants, au regard des enjeux à gérer vis-à-vis des risques inondation.

Ainsi, en prenant en compte la pluviométrie, et les temps de réponse du bassin en amont de La Borie, les bourgs de Fondamente, Saint Maurice et Latour pourraient compter sur des délais d'anticipation de 1h30 min à 2 h 30, alors qu'ils ne disposent d'aucun système d'alerte précis aujourd'hui, car situés en amont de la station existante de Saint Félix (station du SPC) ;

Pour Versols, situé en aval immédiat de Saint Félix, l'anticipation pourrait atteindre plus de 2 h contre 30 min aujourd'hui ;

Enfin pour Saint-Affrique, qui représente le secteur avec le plus d'enjeux à gérer en période de crue, le gain pourrait être également très intéressant, avec une visibilité de +2 h par rapport aux délais d'anticipation actuels, de 1h30 à 2 h.

▪ **Branche Dourdou²¹ :**

- ✓ A Brusque, il avait été estimé un temps de propagation de 60 min depuis le poste amont (Passerelle d'Arnac), contre une valeur de 60 min +/- 15 min issue de la modélisation ;
- ✓ A Camarès, le temps de propagation depuis Arnac était estimé à minima à 2h²², contre 2h30 +/- 45 min via la modélisation, et depuis Tauriac à 2h30, contre 2h +/- 30 min selon la modélisation ; Toujours à Camarès, le temps de propagation depuis Brusque, estimé en première approche à 1 h, est estimé à 1h30 +/- 30 min ;

Les valeurs estimées en première approche sont bien vérifiées, avec des valeurs calculées qui donnent des temps de propagation plus longs, soit un intérêt encore plus marqué pour un tel réseau. A noter que la forte variabilité des temps de propagation entre Arnac et Camarès de même qu'entre Brusque et Camarès, est liée à la faible proportion de bassin contrôlé pour Camarès au point de surveillance amont (20 % sur Arnac, et 30 % sur Brusque) ; d'où l'intérêt de proposer un second point de surveillance sur la Nuéjols qui conflue en amont de Camarès, et draine un important bassin versant.

Ainsi, avec ces points de surveillance sur le Dourdou et sur la Nuéjols, Camarès permet de disposer d'une anticipation de 1h30 très fiable, puisque basée sur le seul temps de propagation, avec, en totalisant les deux branches, 60 % de son bassin versant contrôlé, d'autant que ces secteurs amont sont généralement le siège des pluies intenses.

En prenant en compte les temps de réponse des bassins versants, cette anticipation peut être considérée, même avec prudence, comme supérieure à 3 h à Camarès.

A noter enfin que ce réseau de surveillance permet également de doter les plus petits bourgs et hameaux, tels ceux de La Roque sur la commune de Fayet, et ceux de Arnac, La Devèze, La Mouline sur la commune d'Arnac-sur-Dourdou, de moyens de surveillance et d'alerte également intéressants, avec des enjeux dispersés pour ces communes aux moyens limités de par leur petite taille et la vaste étendue de leur territoire.

▪ **Branche Rance :**

- ✓ A Belmont, il avait été estimé un temps de propagation d'environ 20 min depuis le poste amont (Pont de Prohencoux), contre une valeur de 30 min +/- 5 min issue de la modélisation ;
- ✓ A Combret, toujours depuis Prohencoux, le temps de propagation était estimé à 2h30, contre 2h +/- 35 min via la modélisation ;

²¹ La différence dans la superficie du bassin versant à Brusque (77 km² contre 61 km² précédemment calculé - étape I) s'explique par la prise en compte de l'affluent le Sanctus qui conflue en aval immédiat du site de Brusque, au cœur du bourg.

²² Estimation présentée en partie 1 avec vitesse de 2,7 m/s pour linéaire de 20,7 km, et estimation de 2h45 de Arnac à Camarès et de 2h24 de Tauriac à Camarès selon N. Watrin

- ✓ Toujours à Combret, le temps de propagation depuis le pont de Lascazes, estimé en première approche à 1 h, est estimé à 45 min +/- 15 min ;

Les valeurs estimées en première approche sont bien vérifiées, avec des valeurs calculées par modélisation donnant des temps de propagation plus courts pour Combret, et légèrement plus long pour Belmont.

L'intérêt d'un tel réseau reste néanmoins confirmé avec des temps d'anticipation de 1h30 pour Belmont en tenant compte de la donnée pluviométrique et des temps de réponse du bassin versant, et de plus de 2 h pour Combret. Pour rappel, la surveillance sur ce dernier site nécessite la mise en place d'une seconde station de surveillance (station du pont de Lascazes) afin de contrôler un bassin versant suffisamment important (la proportion surveillée par les seuls sites de Prohencoux et Belmont reste limitée avec des valeurs respectivement de 20 à 30 %).

5.5.2. A retenir pour la poursuite du projet

L'analyse hydrologique a permis de confirmer les délais d'anticipation en droit d'être attendus pour une prévision fiable, et de valider ainsi la pertinence d'un tel projet.

Enfin, on rappellera les conclusions de la phase I: la mise en place d'un réseau de surveillance automatisé nécessite des investissements en termes d'équipement, mais également en termes de gestion, suivi, et maintenance, investissement qui se justifie pour une dizaine de stations, mais beaucoup moins à l'unité. Aussi, le projet d'équipement du territoire doit passer par une phase de réflexion et de concertation politique à l'échelle du territoire Tarn-Dourdou-Rance, intégrant la question de gouvernance, primordiale pour définir les modes de gestion, de maintenance et d'exploitation d'un tel outil.

Dans le cadre de la poursuite des actions pour l'amélioration de la surveillance des crues, et ce, avec ou sans station automatisée, il apparaît pertinent de poursuivre, en parallèle à une éventuelle mise en œuvre de stations, les analyses hydrologiques et hydrauliques.

Ce travail est précisé ci-après, à travers la présentation de la méthodologie et des résultats sur un site, en rappelant encore les objectifs spécifiques :

☞ Fournir, au droit de l'ensemble des sites de surveillance :

- une **courbe de tarage** (Hauteur / débit) qui permette donc une estimation des débits sur la base de hauteur d'eau à relever, au droit des échelles en cours d'installation, ou sur un point de référence à définir, pour la corrélation des données amont aval ;
- des **cartographies des zones inondées potentielles** intégrant une corrélation avec les niveaux atteints sur la station amont (station d'observation) et des délais d'anticipation ;
- la **définition de seuils de vigilance et d'alerte** pour la gestion de crise, choix intégrant enjeux concernés et délais d'anticipation nécessaires.

☞ Elaborer sur ces bases **des outils simples** pour une **surveillance fiable**, outils à définir en concertation étroite avec les élus, pour une appropriation optimale ;

A noter que la prise en compte des données de pluies pourra être un plus pour la définition de ces outils, mais sera plus complexe à appréhender et à exploiter, sans l'appui et l'implication des services de l'Etat.

5.5.3. Analyse hydraulique

A. Rappel du contexte et des objectifs

L'analyse hydrologique a permis de déterminer les hydrogrammes de crues sur les 12 sites jugés prioritaires pour la surveillance des crues, et ceux pour les 4 événements étudiés :

- Septembre 2014 (qui a plutôt fait réagir les petits affluents)
- Novembre 2014 (qui a touché tout le territoire)
- Septembre 2015 (qui a touché la Nuéjols)
- Octobre 2019 (qui a touché préférentiellement la Sorgues et le Dourdou)

Ces données de base seront à exploiter sur le plan hydraulique, via un travail de modélisation hydraulique, en comparant, là où c'est possible :

- ✓ Débits de pointe et niveaux atteints lorsque l'on dispose de ces dernières données ;
- ✓ Emprise des zones inondées calculées et emprises observées ;

Ces analyses permettront de caler les modèles au droit de l'ensemble des sites de surveillance, et de fournir en définitive :

- Une 1^{ère} estimation des courbes de tarage pour permettre une estimation des débits sur la base de hauteur d'eau à relever, au droit des échelles en cours d'installation dans le cadre du PAPI 2018-2021, ou sur un point de référence à définir ;
- Des cartographies des zones inondées potentielles intégrant une corrélation avec les niveaux atteints sur la station amont (station d'observation) et des délais d'anticipation ;
- La définition de seuils de vigilance et d'alerte pour la gestion de crise, choix intégrant enjeux concernés et délais d'anticipation nécessaire.

Enfin, si des hydrogrammes de crues peuvent être facilement déterminés²³ en d'autres points des bassins versants, et notamment au droit des 8 autres sites non considérés pour cette analyse, ces éléments ne sont pas forcément nécessaires pour avancer sur l'analyse hydraulique sur la totalité des 20 sites.

En effet, l'analyse du travail de modélisation hydrologique a mis en évidence les limites d'une telle approche : manque de points de calages, complexité des réactions selon les bassins versants, mais également selon les « antériorités » en matière de pluviométrie, et un caractère très chronophage pour ce type d'analyse.

D'autre part, si les hydrogrammes calculés via ces modélisations sont acceptables sur les points de calage, ce ne sont pas sur ces points que le modèle présente un intérêt, mais bien sur les sites où l'on

²³ Le logiciel ATHYS utilisé étant libre de droit, et les modélisations réalisées pouvant être mises à disposition de tout bureau d'étude compétent en la matière, ce travail peut être élargi à d'autres points du bassin versant.

ne dispose pas de données. Sur ces points, il est tout à fait probable que les débits de pointe tels que restitués soit plus ou moins cohérents avec ceux ayant réellement transités.

Ainsi, en l'absence de ces données, le travail de modélisation hydraulique peut donner des résultats tout à fait acceptables, voire meilleurs si l'on dispose de simple connaissance en matière de niveaux atteints et emprises inondées.

Afin de faciliter la compréhension, on distinguera dans le rapport, pour les stations étudiées, la terminologie suivante :

- ✓ **station de surveillance** (pour le site en amont de la zone à enjeux) ;
- ✓ **station de suivi** (pour le site au droit des enjeux).

A noter que cette approche constitue un 1^{er} niveau d'analyse, avec des données de calage disponibles limitées. Ces limites, connues, pour mener à bien cette phase d'étude, n'empêchent pas de répondre aux deux principaux objectifs fixés :

- *poser les bases d'une surveillance des crues sur les branches amont,*
- *collecter de la donnée pour les événements à venir pour mieux définir cette surveillance sur les branches amont, pour les besoins des communes situées en amont des secteurs couverts par Vigicrues, mais également pour améliorer la surveillance des communes situées en aval*

A titre d'exemple, pour illustrer ces propos et les résultats initialement attendus, le travail de modélisation hydraulique a été réalisé sur le site de Latour ; ce site a été retenu pour les différentes raisons suivantes :

- Fonctionnement hydraulique simple à appréhender ;
- Expertise et connaissance de terrain pour les crues de 2019 et 2014 disponible au sein de l'équipe du PNRGC ;
- Données de calage disponibles avec le recensement et le levé de cotes atteintes pour ces crues.

Les parties ci-après présentent l'approche et l'outil de modélisation, les données d'entrées et paramètres de calage pour les 12 sites prioritaires, ainsi que les résultats de calage et de modélisation pour la station de suivi de Latour.

B. Approche et outil de modélisation

La modélisation hydraulique des sites étudiés est prévue sur la base du logiciel HEC-RAS, logiciel libre, performant, et permettant des approches adaptées à chaque configuration.

□ Le logiciel HEC-RAS

Développé et distribué gratuitement par le ministère américain de la défense (Hydrologic Engineering Center of US Army Corps of Engineers), HEC-RAS est un logiciel de modélisation

hydraulique initialement conçu pour la modélisation unidimensionnelle (1D), mais qui a intégré dans ces versions ultérieures, et ce, depuis plusieurs années, la modélisation bidimensionnelle (2D).

Ce logiciel est utilisé en hydraulique à surface libre, maritime ou fluviale et notamment pour les études portant sur les inondations. Comme présenté précédemment, il est capable de modéliser les écoulements en 1D, 2D ou couplage 1D/2D, avec :

- Une très bonne représentation des ouvrages hydrauliques et de leurs effets, proche de la réalité ;
- Une modélisation précise du lit mineur (conservation de la précision des levés topographiques) ;
- Une représentation fine des résultats.

La précision des résultats et des représentations dépend néanmoins des données d'entrée dont la topographie des terrains et ouvrages à modéliser, ainsi que les données de calage (couples hauteurs débits).

□ Approche

Selon la configuration de chaque site, le choix doit être fait dans la construction des modèles avec une approche unidimensionnelle (modèle 1D) ou bidimensionnelle (modèle 2D).

- La modélisation unidimensionnelle implique que les dimensions (horizontale et verticale) des sections en travers soient petites devant la dimension longitudinale. Les hypothèses suivantes doivent être vérifiées :
 - La pente longitudinale doit être faible.
 - Les courbes du cours d'eau doivent être peu accusées.
 - Les accélérations verticales doivent être faibles.
 - La vitesse longitudinale doit être homogène dans la section en travers.

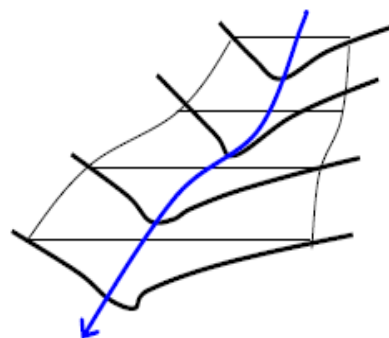


Figure 9 : Approche 1D

La modélisation unidimensionnelle fait l'hypothèse que les écoulements sont perpendiculaires aux profils en travers (lit mineur et lit majeur). Elle est valide dans les zones où les débordements ont des emprises relativement réduites et où il n'y a pas de zones de diffuence ou de confluence qui nécessiteraient la mise en œuvre d'un modèle 2D.

- Dans ces dernières configurations, la modélisation bidimensionnelle (2D) peut être utilisée pour rendre plus finement compte du fonctionnement en crue ;

La zone d'écoulement n'est alors plus représentée par des sections en travers mais par un maillage (avec des mailles qui peuvent être définies de façon plus ou moins fine selon les zones), chaque nœud de ce maillage étant associé à une cote de fond.

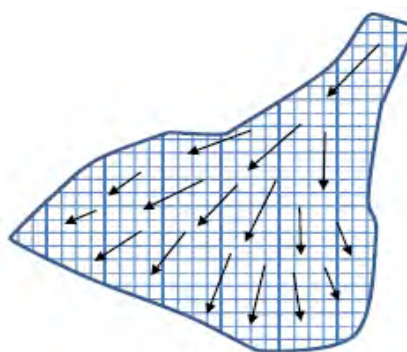


Figure 10 : Approche 2D

- Selon ces critères, les choix de modélisation sur les différents sites sont appréhendés comme suit :

Rivière	Site	Configuration	Modèle
Sorgues	La Borie	Ecoulements lit mineur et majeur bidirectionnels avec coudes marqués ou ouvrages structurants en lit majeur et déconnexion des écoulements lit mineur / lit majeur	2D
	Fondamente		2D
	Montpaon		2D
	Latour	Fonctionnement simple – écoulements lit mineur et majeur globalement unidirectionnels	1D
Nuéjols	Tauriac	Fonctionnement simple – écoulements lit mineur et majeur globalement unidirectionnels	1D
	Laroque	Ecoulements lit mineur et majeur bidirectionnels avec coude très marqué	2D
Dourdou	Arnac	Fonctionnement simple – écoulements lit mineur et majeur globalement unidirectionnels	1D
	Brusque		1D
Rance	Prohencoux	Fonctionnement simple – écoulements lit mineur et majeur globalement unidirectionnels	1D
	Belmont	Ecoulements lit mineur et majeur bidirectionnels avec coude marqué à l'aval du pont Vieux	2D
	Lascazes(*)	<i>Ecoulements lit mineur et majeur bidirectionnels avec coude très marqué et déconnexion des écoulements en crue en lit majeur rive gauche</i>	2D
	Combret(*)	<i>Fonctionnement simple – écoulements lit mineur et majeur globalement unidirectionnels</i>	1D

Tableau 21 : Choix des types de modèles

* Les sites de Lascazes/Combret n'étaient pas censés être retenus dans le cadre de la présente étude, car non prioritaires vis-à-vis des autres sites, et avec une étude limitée volontairement à un total de 10 sites (Cf. Conclusion – étape I et & 4.4 Choix des sites pour étape II).

Compte tenu du net intérêt affiché par les élus lors de la présentation de la 1^{ère} étape (février 2021), ces deux sites ont été intégrés dans la campagne de levés topographiques ; ils sont présentés ci-après, étant entendu que l'analyse sera réalisée avec un niveau de définition peut être moindre que pour les autres sites, en fonction des temps à disposition pour mener à bien cette mission.

Du fait des contraintes de temps qui se sont imposées à la mission, et de l'impossibilité de mener à bien les analyses hydrauliques, les budgets restants ont été réaffectés pour couvrir l'ensemble des autres sites en matière de levés topographiques ; ont également été réalisés des levés complémentaires sur les sites de Belmont et Lascazes, afin de disposer d'une topographie plus fine, ces sites n'étant pas couverts par les données LIDAR.

L'ensemble de ces données seront restitué au SM TSDR pour la poursuite de ces analyses à inscrire dans un futur PAPI Complet.

C. Choix des données d'entrées et paramètres de calage

La modélisation des sites projetés pour la mise en place de stations (stations de surveillance et de suivi) est basée sur des données suivantes :

- Les données topographiques, permettant de représenter la configuration des sites et des zones d'écoulement ;
- Les données hydrauliques également appelées « conditions aux limites », qui correspondent aux données d'entrée en amont et en aval du modèle ;
- Les données et paramètres de calage.

Ces éléments sont représentés en détails pour chaque site, en annexe 9 (Cf. modélisation hydraulique -fiches stations).

☐ Données topographiques

La réalisation d'un modèle hydraulique repose sur des données topographiques. Pour la présente étude, deux types de données peuvent être utilisées : les données issues de levés terrestres, réalisés par le bureau d'étude OTEIS spécifiquement pour les besoins de la présente étude, et les données issues des modèles numériques de terrain (MNT).

MNT

Sur le territoire, les données issues des modèles numériques de terrain peuvent être exploitées pour le travail de modélisation. Il s'agit des données LIDAR²⁴ suivantes :

- Vallées de la Sorgues et du Dourdou amont : LIDAR 1m – 2019
- Vallée du Tarn, Dourdou aval et Rance aval : LIDAR 1m – 2015

Le reste du territoire, dont le Rance amont et le Nuéjoul, n'est couvert que par des données LIDAR à l'échelle 5 m x 5 m de 2015. Cette échelle n'est pas exploitable pour la modélisation hydraulique, avec des données en altitude trop imprécises.

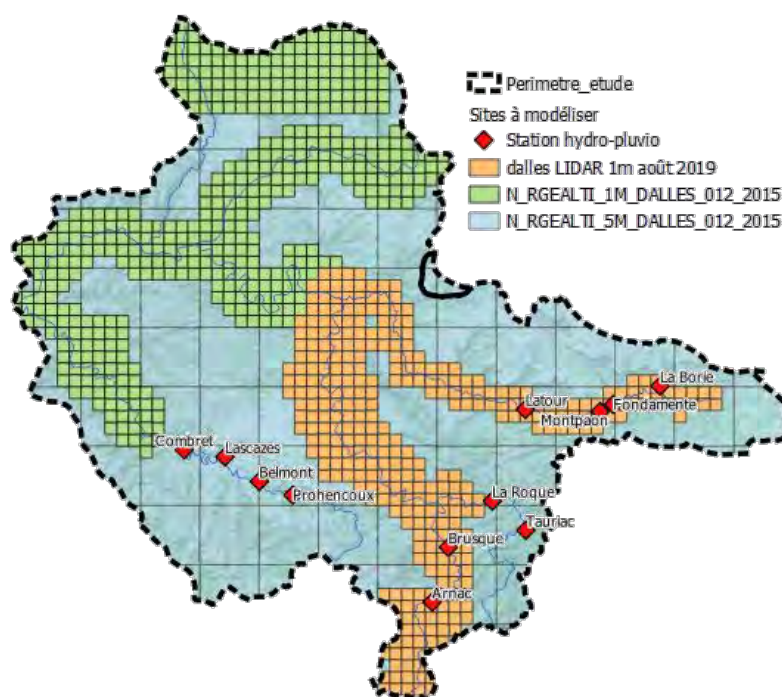


Figure 11 : Données topographiques disponibles

²⁴ LIDAR : nom acronyme de la technique utilisée (Light -ou Laser Imaging- Detection And Ranging) pour ce type de levés topographiques, utilisé ici pour désigner la donnée.

Levés terrestres

Afin de disposer de données topographiques précises, il a été budgétisé dans le cadre de la présente étude une mission topographique, pour le levé d'environ 5 profils en travers par site.

Ces levés ont été réalisés en mars 2021. Ils sont localisés pour chacun des sites en annexe 9.

A noter que sur le site de surveillance de la Nuéjous, sur le hameau de La Roque (commune de Fayet), aucun levé n'a été réalisé dans le cadre de la présente mission, avec des levés existants, réalisés dans le cadre de l'étude hydraulique et géomorphologique globale (WSP – PAPI Tarn Dourdou Rance), en février 2020.

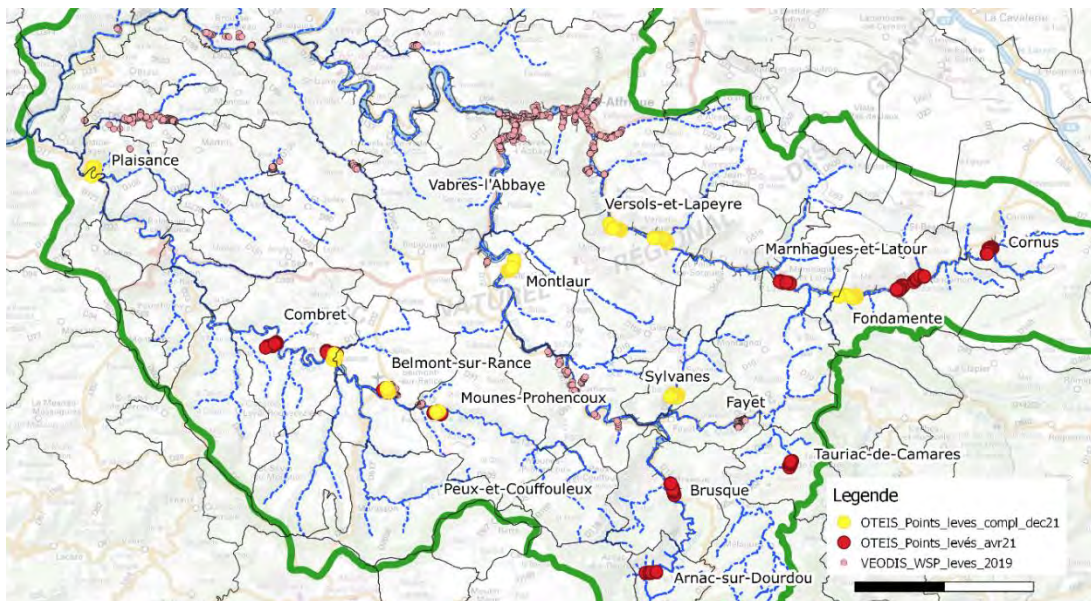
A l'inverse, des levés, non prévus initialement, ont été réalisés sur les sites de Lascazes et de Combret sur le Rance. Ces deux sites inclus finalement dans la mission, ont imputé de fait une mission un peu plus importante que chiffrée initialement ; les sites, fonctionnant deux par deux (site de surveillance et site de suivi sur zone à enjeux), il n'aurait pas été pertinent de traiter un seul de ces sites.

L'implantation des levés a été définie sur la base d'une analyse préalable²⁵ pour préciser l'étendue aval de la zone à topographier, puis à partir de reconnaissances de terrain.

Comme spécifié précédemment, du fait des contraintes de temps qui se sont imposées à la mission, et de l'impossibilité de mener à bien les analyses hydrauliques, les budgets restants ont été réaffectés pour couvrir l'ensemble des autres sites en matière de levés topographiques ; ont également été réalisés des levés complémentaires sur les sites de Belmont et Lascazes, afin de disposer d'une topographie plus fine, ces sites n'étant pas couverts par les données LIDAR, et la limitation initiale de 5 profils par site ne permettant pas une représentation suffisante pour garantir une modélisation précise.

La carte ci-dessous présente ces différents levés.

²⁵ Modélisation hydraulique simplifiée à partir des données de MNT existantes et tests de sensibilité sur l'influence des conditions aval sur le site de surveillance projeté



Carte 12 : localisation des levés terrestres

Construction des modèles

Pour les sites où les données LIDAR 1 m sont disponibles (Sorgues et Dourdou), l'approche est la suivante :

Pour les modèles 1 D : les profils en lit mineur sont prolongés en lit majeur en utilisant les données du LIDAR, dont les données sont précises sur ces secteurs relativement ouverts, contrairement aux données en lit mineur, où la végétation, et les forts dénivelés sont source d'erreur²⁶ ;

Pour les modèles 2 D :

1^{ère} étape : Un modèle numérique de terrain est reconstitué pour le lit mineur, à partir des profils topographiques levés et interpolation entre profils ;

2^{ème} étape : Un modèle numérique affiné est créé en intégrant dans LIDAR, le MNT reconstitué pour le lit mineur.

Les images ci-dessous présentent un exemple de MNT affiné, créée pour le site de Fondamente, mettant en évidence la précision des données topographiques en lit majeur et en lit mineur.

²⁶ Cf. analyse des données LIDAR – WSP 2019 / études du PAPI Tarn-Dourdou-Rance

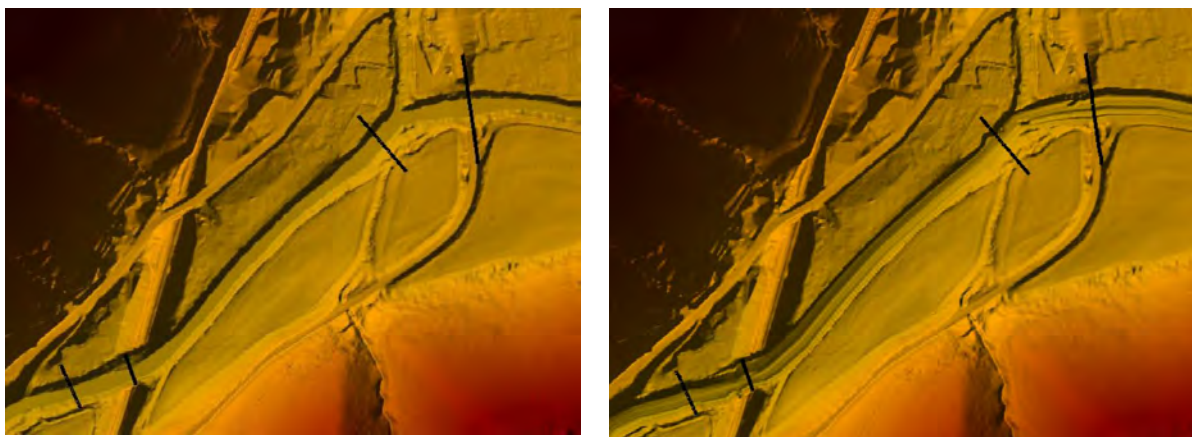


Figure 12 : Modèle numérique de terrain – site de Fondamente : avant et après intégration des données levées en lit mineur

Pour les sites où les données LIDAR sont insuffisantes (cas des sites sur le Rance et la Nuéjols), les profils en travers sont levés de telle manière à ce que les éléments structurant les écoulements (lit mineur, remblais, digue, ouvrages d'art,) soient correctement représentés.

Ces levés sont utilisés directement pour les modèles 1D ; pour les modèles 2 D, les MNT nécessaires sont alors construits par interpolation des profils topographiques. La figure ci-dessous présente un cas de figure, mettant en avant la différence de précision relativement aux sites avec LIDAR 1m.

Au-delà des besoins relatifs à la construction des modèles, les MNT sont en fait également construits pour les sites modélisés en 1D - afin de permettre une meilleure visualisation des résultats (zones inondées, champ des vitesses, ...).

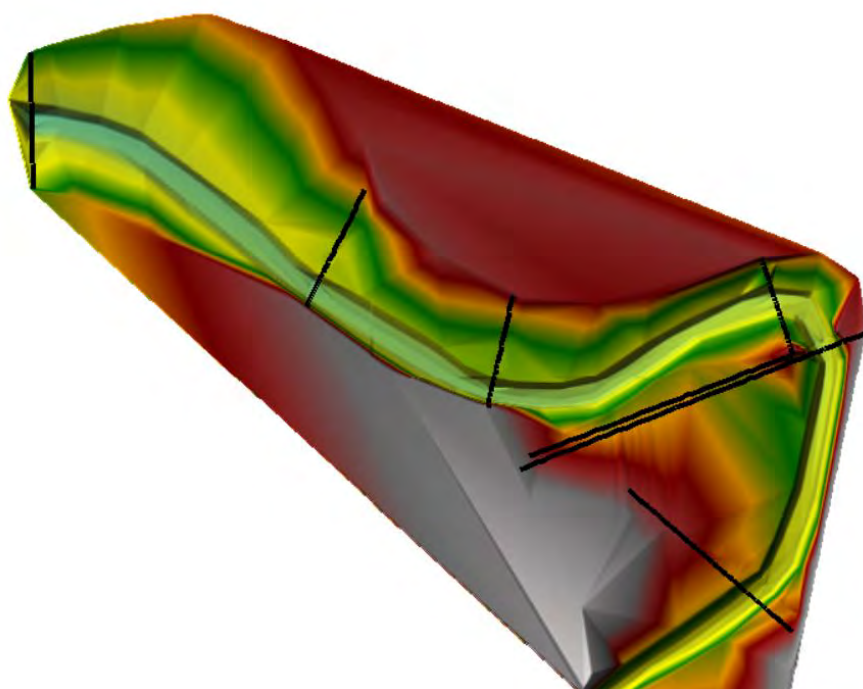


Figure 13 : site de Lascazes - création d'un MNT à partir des données issues des levés terrestres

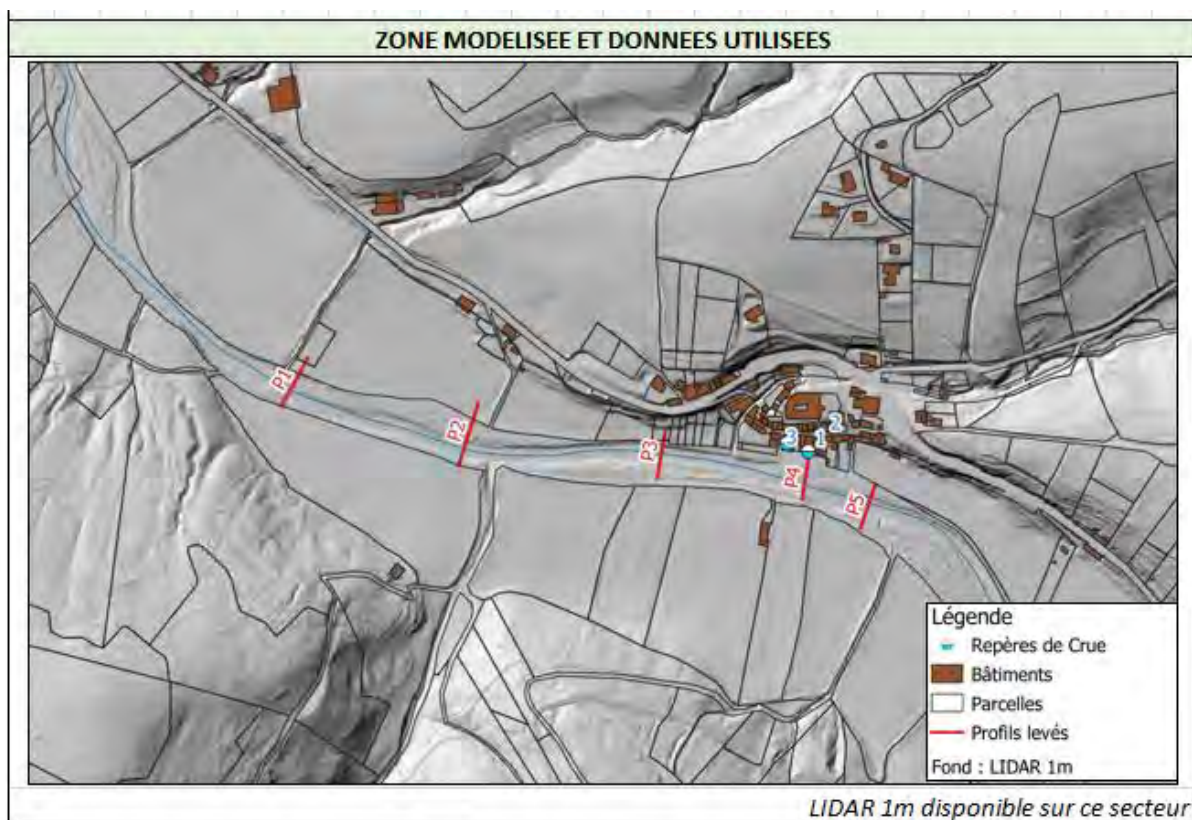


Figure 14 : construction du modèle - exemple de Latour (cf. annexe 9)

□ Données hydrauliques

La modélisation repose sur certaines données hydrauliques qui permettent de définir les conditions aux limites du modèle.

Les conditions aux limites amont sont constituées des données de débits de pointe, en simulant, en régime permanent :

- les débits de pointe pour les crues étudiées (crues de 2014, 2015 et 2019) issues des hydrogrammes résultant de l'analyse hydrologique ;
- toute une gamme de débits intermédiaires afin de caractériser le fonctionnement sur une large plage, et permettre de définir la courbe de tarage et les débits à considérer pour les niveaux de vigilance et d'alerte.

Ces débits, et les références aux événements hydrologiques récents de 2014, 2015 et 2019 sont présentés dans les fiches stations en annexe 9 (Cf. figure 15 - exemple du site de Latour)..

MODELISATION HYDRAULIQUE

DEBITS MODELISES								
PF	Q (m³/s)	q _s (m³/s/km²)	Cote* (mNGF)	Référence	Point(s) de calage			
PF1	50	0.33			-			
PF2	82	0.54		sept-14	-			
PF3	100	0.65			-			
PF4	150	0.98			-			
PF5	188	1.23		oct-19	-			
PF6	200	1.31			-			
PF7	220	1.44			-			
PF8	241	1.58		sept-15	2			
PF9	260	1.70			-			
PF10	281	1.84		nov-14	1 et 3			
PF11	300	1.96			-			
PF12	350	2.29			-			
PF13	400	2.61			-			
PF14	450	2.94			-			
PF15	500	3.27			-			
*Côte issue de la modélisation au droit du profil P4 (Au droit de la passerelle = Point de surveillance)								
DEBITS CARACTERISTIQUES A LA STATION DE SURVEILLANCE VIGICRUES (S= 307 km²)								
Bassin	Site	S (km²)	Q10 (m3/s)	Q20 (m3/s)	Q50 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Q _{nov-14} (m3/s)	Q _{oct-19} (m3/s)
Sorgues	St Félix	208	294	385	501	589	410	255
Sorgues	Ste Affrique	307	384	478	603	698	680 à 890	360
Commentaires et sources : les débits de pointe à St Félix et St Affrique sont issues de l'analyse hydrologique et hydraulique WSP-2020, avec pour la crue de novembre 2014, la valeur issue de l'analyse hydrologique, et celle retenue après analyse hydraulique								

Figure 15: débits modélisés - exemple de Latour (cf. annexe 9)

Sont également présentés dans ces fiches (cf. fig. 15), les débits caractéristiques aux stations de référence du SPC-DREAL, avec débits d'occurrence décennale et centennale, débit spécifique centennal, et débits de pointe pour les crues de 2014 et 2019²⁷.

Les conditions aux limites aval sont définies par la hauteur normale, calculée à partir de la pente moyenne du lit mineur sur les 500 m en aval de la zone modélisée, également présentée dans la fiche station (cf. figure 16 : pente aval – exemple de Latour).

²⁷ Données issues des études réalisées dans le cadre du PAPI d'intention Tarn-Sorgues-Dourdou-Rance 2018/2021 sur la base des données de la banque Hydro et autres données et traitements hydrologiques (EDF, WSP)

MODELISATION HYDRAULIQUE

Latour				
DESCRIPTION				
Superficie :		153	km ²	Pente : 0.7%
ESTIMATION RUGOSITE AVANT CALAGE				
Zone		Strickler	Manning	Commentaire
Lit mineur		25	0.04	Cours d'eau régulier - dalles - végétation en berge peu développée (notamment en rive droite)
Lit Majeur	Rive droite	25	0.04	Quelques arbres en aval mais relativement dégagé au sol et dégagé en amont - chemin - champs cultivés en aval
	Rive gauche	25	0.04	Champs cultivés, prairies

Figure 16: pente pour condition aval et coefficients de Strickler – exemple de Latour (cf. annexe 9)

A noter que cette zone d'influence a déjà été anticipée avec des modélisations simplifiées, sur la base des seules données LIDAR, et ce dès l'amont, afin notamment de préciser le secteur à lever pour les profils terrestres. Néanmoins, pour chaque site, une analyse de sensibilité sera réalisée sur ce paramètre afin de vérifier que cette condition n'influe pas sur les résultats au droit du site de surveillance.

□ Données de calage

Le calage des modèles peut être réalisé en considérant des valeurs à dire d'expert pour le choix des coefficients de Strickler, et ce en première approche, sur la base des données du Cemagref (cf. tableau ci-dessous et exemple de Latour figure 16).

Nature de la surface de l'écoulement	K coefficient de Strickler
Rivières naturelles : Pour les cours d'eau à section suffisamment constante on se reportera au tableau suivant	
Petit cours d'eau de largeur inférieure à 30 m cours d'eau de plaine :	
net, droit, niveau d'eau élevé, peu de variation de la section mouillée	30 à 40
idem, mais pierres et mauvaises herbes plus nombreuses	30
net, sinueux avec seuils et mouillées	25
idem, mais avec pierres et mauvaises herbes	20
idem, mais niveau bas	20
cours paresseux, mauvaises herbes, trous d'eau profonds	15
nombreuses mauvaises herbes et nombreux trous d'eau	10
pentés et fond irrégulier, nombreuses souches, arbres et buissons, arbres tombés dans la rivière	5 à 7
<i>cours d'eau de montagne (Pas de végétation dans le lit, rives escarpées, arbres et broussailles pour les niveaux élevés)</i>	
fond en gravier et cailloux, peu de gros galets	25
fond avec gros graviers	20
Plaines d'inondation	
pâturages sous broussailles	30 à 35
zones cultivées, absences de récoltes	35
zones cultivées, récoltes sur pied	25 à 30
broussailles dispersées et mauvaises herbes ou broussailles et quelques arbres en hiver	20
quelques arbres et broussailles en été; broussaille moyenne ou dense en hiver	15
broussaille moyenne ou dense en été	10
souches d'arbres sans rejet	25
souches d'arbres avec rejets durs	16
forêt de hautes futaies; peu de broussailles	10
forêt de hautes futaies; peu de broussailles avec niveau d'eau atteignant les branches	8
souches denses	7
Grands cours d'eau largeur maximale supérieure à 30 m (La valeur de K est supérieure à celle des petits cours d'eau d'allure analogue car les rives offrent moins de résistance efficace)	
section régulière sans broussailles	25 à 40
section irrégulière et rugueuse	10 à 25
Canaux artificiels, galeries ou conduites à surface lisse	
Surface très lisses et sans saillies (verre neuf et net; pyroline - cuivre)	100 à 110
Surfaces lisses, sans saillies (bois net raboté; métal soudé non peint; ciment mortier ou béton bien lissé, bien soigné et sans débris; surfaces très lisses avec courbures moyennes)	80 à 90

Tableau 22 : Abaque CEMAGREF - estimation des coefficients de Strickler

D. Calage

❑ Si l'on ne dispose d'aucune donnée fiable sur les hauteurs et/ou emprise atteintes lors des crues observées, on ne peut en première approche que retenir les résultats obtenus pour les valeurs précédemment retenues. Il n'y a dans ce cas pas de calage possible.

Sur ces sites, il sera d'autant plus important alors de procéder à des levés de laisses de crues, ou plus simplement de cartographier les emprises d'inondation pour des crues à venir. À noter que ce travail est parfois assuré par la DREAL, et renseigné en suivant dans la base de données repères de crue. Néanmoins, les priorités au niveau régional ne concernent que rarement les secteurs étudiés ici, compte tenu du nombre relativement faible des enjeux, si l'on compare à des villes comme Albi, Saint Affrique, Toulouse ...

Ainsi, il est important que les maires, appuyés par les acteurs du territoire, notamment le syndicat mixte TSDR dans sa compétence GEMAPI et son engagement à travailler sur la prévention des inondations assurent ce travail de capitalisation.

Les points sur lesquels on dispose de repères de crues passés seront intéressants à considérer comme points de référence.

❑ Sur les sites où l'on dispose de données fiables²⁸ pour les crues récentes étudiées, les résultats des modélisations obtenus en première approche pourront être analysés et critiqués, afin de rendre compte au mieux du fonctionnement hydraulique en crue :

Cette phase critique se base sur les points d'analyse suivants :

- Est-ce que le modèle reflète bien un fonctionnement hydraulique cohérent ? (analyse des lignes d'eau, vitesses d'écoulement, fonctionnement au droit des ouvrages et points singuliers) ;
- Est-ce que le débit d'entrée est cohérent au regard des autres données disponibles ? (débits aval pour la même crue, comparaison des hauteurs atteintes pour différents débits, ...) et est-ce que l'on retrouve bien les hauteurs de crue enregistrées au droit des points de calage ?
- Si non, est ce que les coefficients de Strickler peuvent être ajustés tout en restant dans des valeurs cohérentes ?
- Si non, est ce que le débit de pointe tels qu'appréhendés par l'étude hydrologique sont pertinents ?

Pour le cas de Latour, ce travail de calage a pu être réalisé, avec des données de débits associées à des données de hauteurs fiables, pour les crues d'octobre 2019 (emprises connues par Sylvain Couly, technicien SPANC au PNRGC et habitant de Latour), de septembre 2014 et de novembre 2014 (données de hauteurs enregistrées et marquées sur l'habitation Pages).

²⁸ Les données de calage qui correspondent aux levés des plus hautes eaux atteintes ont fait l'objet à priori d'une validation quant à leur représentativité de la ligne d'eau, voire de la ligne d'énergie selon leur positionnement par rapport à la configuration des écoulements.

Ce travail d'analyse a mis en évidence les points suivants :

- Le modèle, relativement simple, est représentatif d'un fonctionnement cohérent : le seul point singulier concerne la passerelle dont les piles importantes créent une légère perte de charge au droit de l'ouvrage ; mais les écoulements se font alors de part et d'autre de la passerelle, sans mise en charge de l'ouvrage, sauf cas d'embâcles importants non modélisés, et non observés pour les crues modélisées ;
- Les coefficients de Strickler retenus en première approche ($K=25$) peuvent être considérés comme légèrement trop élevés, avec des écoulements en régime critique, qui ne semblent pas représenter le fonctionnement en crue ; un Strickler de 20 apparaît plus représentatif, avec des écoulements de type fluvial pour ce choix de paramètre ;
- Pour la crue d'octobre 2019, le débit tel qu'issu des modélisations hydrologiques, est cohérent avec les données disponibles et validées²⁹ sur les stations de surveillance de la DREAL (stations Vigicrues de St Félix et de St Affrique), en témoigne le tableau ci-dessous

Station	Superficie du bassin versant (km ²)	Q _{oct2019} (m ³ /s)	q _{sp} (m ³ /s/km ²)
Latour	153	188	1.229
St Félix	208	255	1.226
Ste Affrique	307	360	1.173

Tableau 23 : comparaison des débits et débits spécifiques pour la crue d'octobre 2019

- Pour la crue d'octobre 2019, les emprises inondées telles que représentées par le modèle pour des Strickler de 20 apparaissent cohérentes avec ce qui a été observé³⁰ lors de cette dernière crue : les niveaux d'inondation sont venus « lécher » le bas de la rue « de la Passerelle », ont couvert légèrement la rue longeant les habitations, et ont atteint le milieu du jardin potager en aval des habitations (cf. points de calage).
- Pour la crue de septembre 2015, le débit issu de la modélisation hydrologique semble être légèrement surestimés au regard du niveau atteint au point de calage : il est probable qu'ils aient été plutôt de l'ordre de 200 m³/s (contre 240 m³/s estimé). Cette hypothèse correspond d'ailleurs mieux aux valeurs retenues par le SPC à la station de Saint Félix, avec un débit instantané de 228 m³/s pour la crue de septembre 2015 (source banque hydro et rapport WSP) ;
- A l'inverse, pour la crue de novembre 2014 le débit de 280 m³/s semble très largement sous-estimé, avec une valeur atteinte qui devrait plutôt se rapprocher des 550 m³/s, soit plus du double de la valeur issue de la modélisation hydrologique. Cette estimation se base sur les données de plus

²⁹ Tous les débits qui figurent dans la fiche modélisation – station de Latour, sont issus pour rappel de l'étude hydrologique réalisée par WSP en 2021, dans le cadre de la modélisation de la Sorgues et du Dourdou sur les communes de Vabres et Saint-Affrique (volet A), laquelle a fait l'objet d'une importante concertation et validation à laquelle ont participé à titre d'experts les services de la DREAL (J.N Audouy et N. Watrin) et de EDF (Didier Scopel).

³⁰ Pour rappel, ces observations ont été fournies par Sylvain Couly, habitant de Latour et confirmées par M. Sobie, élu à la commune de Marnhagues et Latour et habitant du village.

hautes eaux enregistrées pour cette crue, et l'approche par modélisation hydraulique ; l'analyse critique du débit pour la crue de 2014 et l'estimation peut être également, et plus simplement appréhendée, en comparant les hauteurs atteintes pour les crues de 2015 et 2014 (cf. tableau ci-dessous) : c'est une sur-hauteur de 1.15 m qui a été enregistrée pour 2014 relativement à 2015 ; or, avec une largeur d'écoulement actif de plus de 100 m, et des vitesses de 2-3 m/s, cette sur-hauteur représente donc un sur débit de l'ordre de $1.15 \times 100 \times 2.5 = 300 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un débit pour la crue de 2014 de l'ordre de $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

POINTS DE CALAGE				
Ref.	Crue	Côte (mNGF)	Lieu	Source
1	nov-14	413.76	Garage maison Pages	Levé OTEIS
2	sept-15	412.61	Garage maison Pages	Levé OTEIS
3	nov-14	413.83	Garage maison Toulouse	Levé OTEIS

A noter que les résultats issus de l'analyse hydrologique, qui apparaissent ici peu cohérents, ont déjà été sujets à questionnement pour le cas de cet évènement de novembre 2014, et tout particulièrement pour la Sorgues et le Dourdou : pour rappel, le tableau dans lequel figure les résultats des comparaisons entre volumes précipités et volumes ruisselés (cf. ci-dessous) qui mettait en avant des incohérences avec des volumes ruisselés supérieurs aux volumes précipités.

Episode	BV	H précipitée	H ruisselée	S équation	S optim auto	S choisi = S affiné
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
<u>sept-14</u>	Sorgues	110	46	91	241	255
	Dourdou	151	73	103	296	260
	Rance	43	11	58	150	130
<u>nov-14</u>	Sorgues	226*	250*	.*	181	300
	Dourdou	277*	366*	.*	121	250
	Rance	136	125	10	52	40
<u>sept-15</u>	Sorgues	142	43	166	334	320
	Dourdou	101	27	132	300	170
	Rance	23	0	115	264	230
<u>oct-19</u>	Sorgues	249	69	315	428	500
	Dourdou	212	71	225	300	310
	Rance	109	24	165	181	110

(*) Les valeurs de S pour les bassins versant de la Sorgues et du Dourdou pour l'épisode de novembre 2014 ne sont pas réalistes car le volume d'eau ruisselé est supérieur au volume précipité, ce qui s'explique du fait de la saturation des bassins lors de cet épisode, et des phénomènes de réessuyage, en lien avec les fortes pluies observées, notamment en septembre 2014.

Tableau 17 : Détermination du paramètre S

Si l'on avait avancé alors la difficulté à restituer la forme de la crue, la constatation que les débits de pointe soient supérieurs à ceux estimés par la DREAL au droit des stations accentue encore ce biais.

Peut-être d'autres hypothèses sont à creuser, notamment concernant les données de pluie, peut-être sous-estimées pour cet évènement, avec des intensités et pluies localisées qui auraient « échappées » aux mesures radar ?

Le fait est que cette tendance à la hausse entre données de débits instantanés estimés en première approche rejoint également les conclusions de l'étude hydrologique poussée réalisée sur Saint

Affrique, avec un débit estimé en première approche à 680 m³/s, puis retenu autour de 900 m³/s en définitif.

Il est très probable et logique que le débit estimé à St Félix (410 m³/s) pour la crue de novembre 2014 soit donc lui aussi largement sous-estimé.

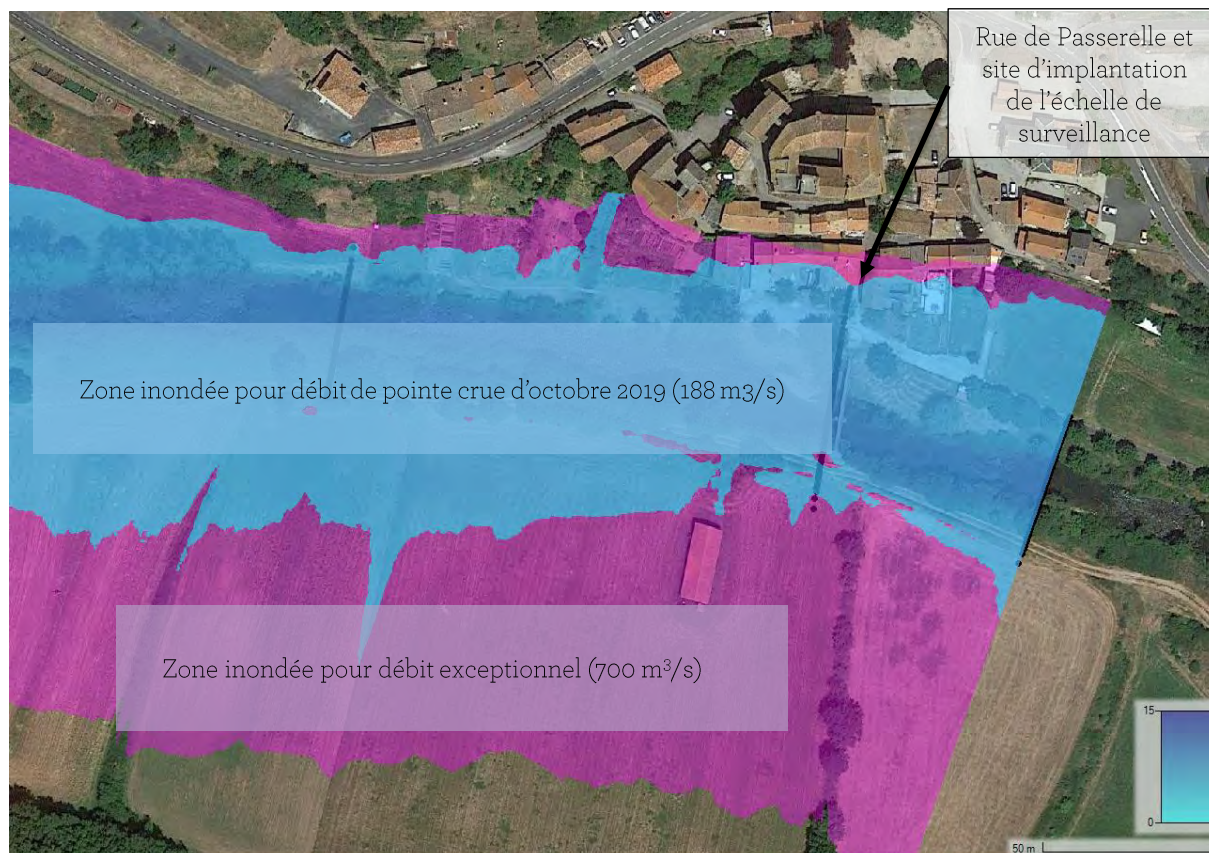
E. [Résultats : cas de Latour](#)

Une fois les analyses faites pour un calage le plus pertinent possible, les modélisations permettent, comme attendu, de préciser le fonctionnement en crue, caractériser les niveaux pour lesquels les différents enjeux sont affectés, via notamment les cartographies des zones inondées pour les différents débits de pointe modélisés, et enfin de définir une courbe de tarage au droit du site de surveillance. Le tableau ci-dessous rappelle les éléments avant calage et après calage (extrait fiche modélisation - annexe 9).

DEBITS MODELISES							
PF	Q (m³/s)	q _s (m³/s/k m²)	hauteur sur échelle *	Cote* (mNGF)	Référence		Point(s) de calage
					(avant calage)	(après calage)	
PF1	50	0.3	<0	410.93			-
PF2	82	0.5	<0	411.45	sept-14	sept-14	-
PF3	100	0.7	<0	411.72			-
PF4	150	1.0	0.45	412.23			-
PF5	188	1.2	0.74	412.52	oct-19	oct-19	4
PF6	200	1.3	0.82	412.60		sept-15	2
PF7	220	1.4	0.93	412.71		Q10	-
PF8	241	1.6	1.04	412.82	sept-15		2
PF9	260	1.7	1.14	412.92			-
PF10	281	1.8	1.22	413.00	nov-14	Q20	1 et 3
PF11	300	2.0	1.30	413.08			-
PF12	350	2.3	1.48	413.26		Q50	-
PF13	400	2.6	1.65	413.43			-
PF14	450	2.9	1.80	413.58		Q100	-
PF15	500	3.3	1.93	413.71			-
PF16	550	3.6	2.06	413.84		nov-14	1 et 3
PF17	700	4.6	2.38	414.16	Qexceptionnel ?		
*Côte issue de la modélisation au droit du profil P4 (Au droit de la passerelle = Point de surveillance = implantation de l'échelle avec zero = 411.78 m NGF)							

□ Fonctionnement hydraulique en crue et cartographie

Les figures ci-dessous et pages suivantes illustrent le travail de modélisation et les résultats après analyse :

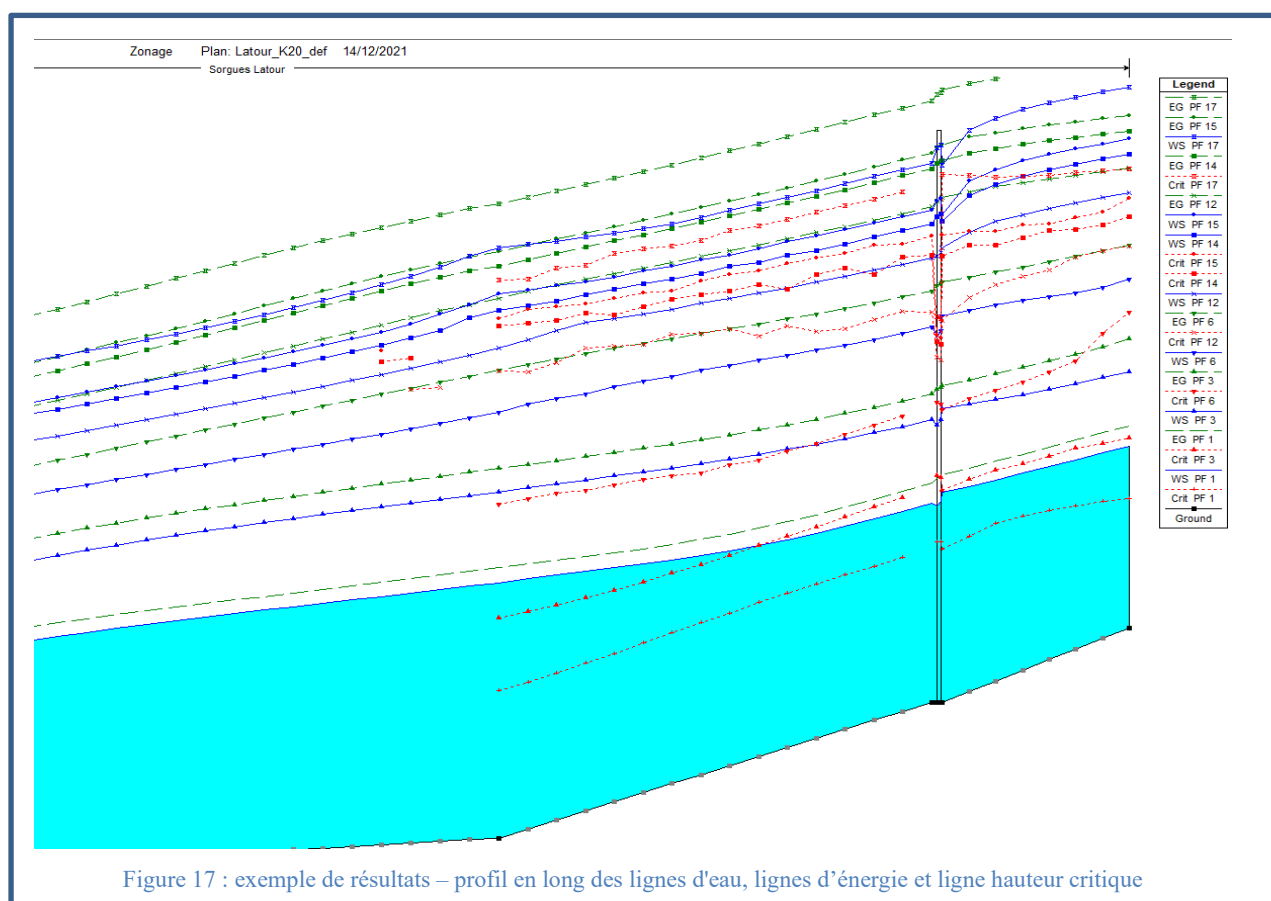


Carte 13 : zones inondées pour octobre 2019 (en bleu) et pour une crue "exceptionnelle"

Le fonctionnement hydraulique peut être décrit succinctement comme suit : les premiers débordements ont lieu à partir des débits de 80 m³/s (PF2), touchant la route en bordure de Sorgues sur le point bas, et également le chemin en rive gauche, sur ses points bas, et la totalité de la place rive droite en aval de la passerelle pour 100 m³/s.

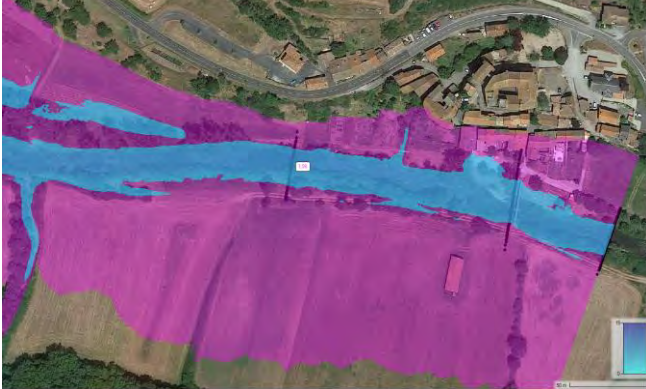
Au-delà, ce sont également les champs et les jardins qui sont touchés, et les niveaux remontent dans la rue de la Passerelle, avec des emprises et des niveaux croissants, plus les débits augmentent, en restant néanmoins contenus dans l'emprise inondable, qui ne varie que peu au droit du village du fait du caractère encaissé sur cette rive ; en rive gauche par contre, les eaux s'étendent plus largement.

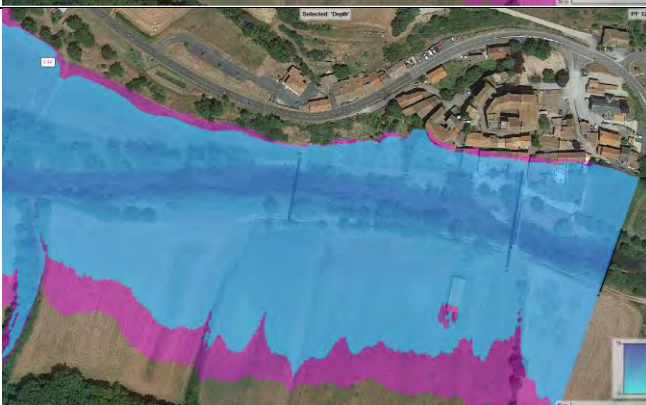
Les vitesses d'écoulement varient de moins de 2 m/s pour les débits de 50 m³/s, à 3.5 voire 4m/s pour les plus forts débits modélisés.

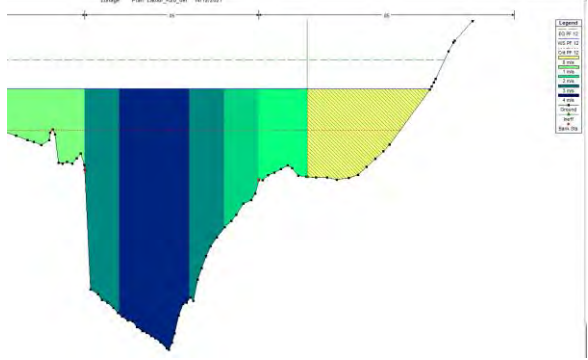
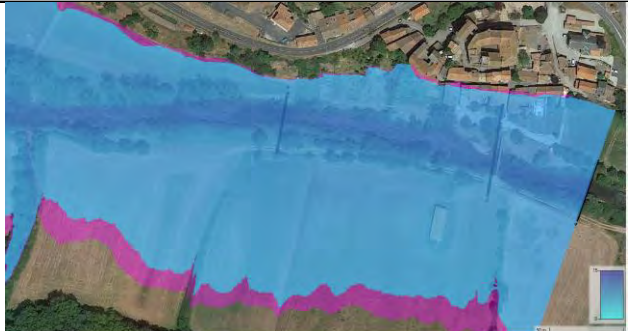
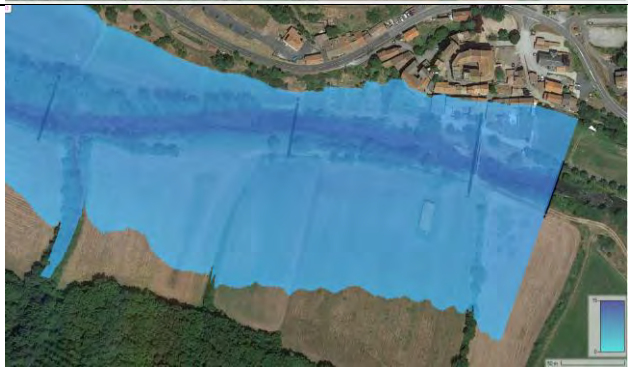


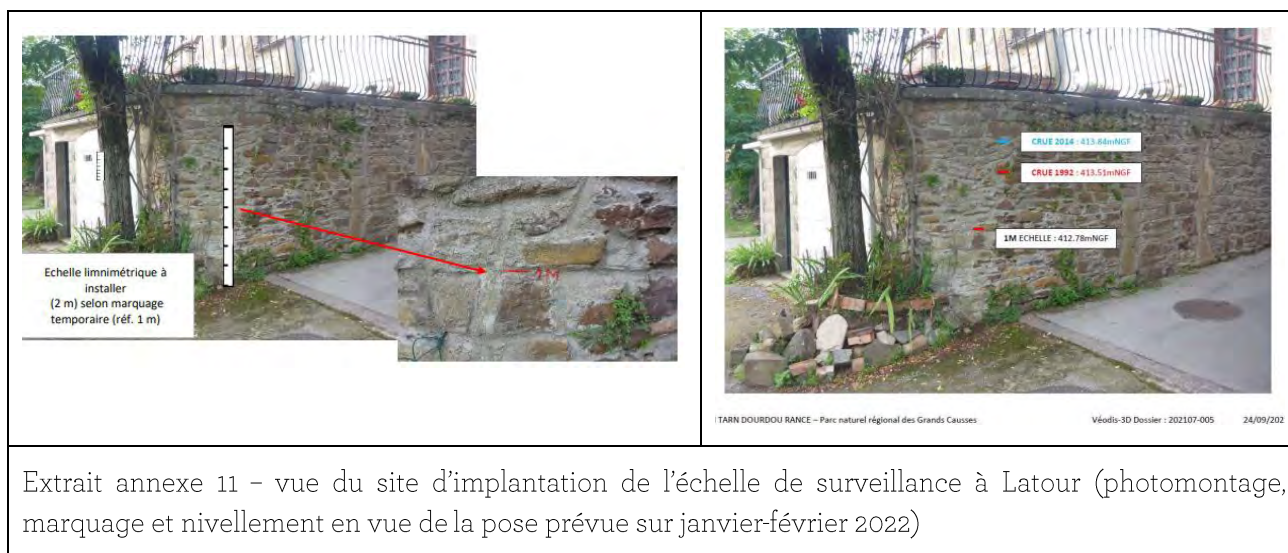
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Vel Right (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Latour	815 P5	PF 1	50.00	409.74	411.46	410.97	411.66	0.006984	1.96		25.53	19.24	0.54
Latour	815 P5	PF 3	100.00	409.74	412.18	411.55	412.49	0.007922	2.47		40.60	25.95	0.60
Latour	815 P5	PF 5	188.00	409.74	412.96	412.67	413.30	0.006111	2.76	0.93	87.35	93.31	0.56
Latour	815 P5	PF 7	220.00	409.74	413.19	412.84	413.50	0.005200	2.70	1.11	110.48	109.48	0.53
Latour	815 P5	PF 12	350.00	409.74	413.88	413.37	414.11	0.003446	2.56	1.42	201.74	154.08	0.44
Latour	815 P5	PF 16	550.00	409.74	414.53	413.84	414.75	0.002849	2.62	1.68	310.58	178.06	0.42
Latour	752.4734	PF 1	50.00	409.04	411.03	410.49	411.19	0.006434	1.80		27.84	22.54	0.52
Latour	752.4734	PF 3	100.00	409.04	411.83	411.05	412.04	0.005637	2.05		48.66	28.86	0.51
Latour	752.4734	PF 5	188.00	409.04	412.63	411.76	412.94	0.005047	2.51	1.08	80.17	64.36	0.51
Latour	752.4734	PF 7	220.00	409.04	412.80	411.97	413.16	0.005319	2.70	1.30	89.86	76.60	0.53
Latour	752.4734	PF 12	350.00	409.04	413.35	412.67	413.83	0.006010	3.25	1.93	132.59	117.63	0.58
Latour	752.4734	PF 16	550.00	409.04	413.70	413.69	414.47	0.008915	4.24	2.73	170.87	143.94	0.72
Latour	750 P4		Mult Open										
Latour	748.7396	PF 1	50.00	409.04	410.93		411.12	0.008059	1.95		25.59	21.65	0.57
Latour	748.7396	PF 3	100.00	409.04	411.72		411.97	0.006852	2.19		45.64	28.53	0.55
Latour	748.7396	PF 5	188.00	409.04	412.52		412.85	0.005832	2.62	1.06	77.25	60.92	0.54
Latour	748.7396	PF 7	220.00	409.04	412.71		413.08	0.005933	2.78	1.29	87.70	75.20	0.55
Latour	748.7396	PF 12	350.00	409.04	413.26	412.75	413.74	0.006385	3.28	1.92	132.02	118.50	0.59
Latour	748.7396	PF 16	550.00	409.04	413.84	413.61	414.39	0.006523	3.72	2.47	201.24	153.07	0.62
Latour	603.5030 P3	PF 1	50.00	407.75	410.17	409.15	410.31	0.003501	1.66		30.30	19.91	0.39
Latour	603.5030 P3	PF 3	100.00	407.75	411.04	409.84	411.26	0.003790	2.15		50.17	25.63	0.42
Latour	603.5030 P3	PF 5	188.00	407.75	411.72	410.84	412.11	0.005438	2.94	0.67	83.09	75.19	0.52
Latour	603.5030 P3	PF 7	220.00	407.75	411.89	411.11	412.31	0.005700	3.11	0.86	96.41	87.49	0.53
Latour	603.5030 P3	PF 12	350.00	407.75	412.40	412.18	412.88	0.006329	3.59	1.44	150.98	129.20	0.58
Latour	603.5030 P3	PF 16	550.00	407.75	413.04	412.81	413.44	0.005263	3.62	1.83	240.73	150.64	0.54
Latour	406.0747 P2	PF 1	50.00	407.43	409.42		409.57	0.005098	1.75		28.61	19.74	0.46
Latour	406.0747 P2	PF 3	100.00	407.43	410.14		410.37	0.006316	2.13	0.66	50.98	50.16	0.53
Latour	406.0747 P2	PF 5	188.00	407.43	410.75		410.99	0.005689	2.36	1.03	103.06	113.42	0.52
Latour	406.0747 P2	PF 7	220.00	407.43	410.89		411.13	0.005581	2.44	1.13	119.35	121.84	0.52
Latour	406.0747 P2	PF 12	350.00	407.43	411.34		411.60	0.005269	2.68	1.46	178.71	143.18	0.52
Latour	406.0747 P2	PF 16	550.00	407.43	411.81		412.12	0.005261	2.99	1.87	248.35	151.83	0.54
Latour	223.5672 P1	PF 1	50.00	406.19	408.28	407.73	408.43	0.007001	1.69		29.64	28.13	0.52
Latour	223.5672 P1	PF 3	100.00	406.19	408.86	408.30	409.09	0.007001	2.14		47.33	34.98	0.55
Latour	223.5672 P1	PF 5	188.00	406.19	409.51	408.94	409.84	0.007008	2.62	0.61	82.48	86.37	0.58
Latour	223.5672 P1	PF 7	220.00	406.19	409.66	409.10	410.01	0.007007	2.75	0.79	96.48	96.88	0.59
Latour	223.5672 P1	PF 12	350.00	406.19	410.13	409.86	410.54	0.007001	3.12	1.26	147.46	121.37	0.61
Latour	223.5672 P1	PF 16	550.00	406.19	410.65	410.33	411.11	0.007014	3.51	1.62	217.69	151.38	0.63

Tableau 24: exemple de résultats – vitesses moyennes en lit et en berge rive droite, sections d'écoulement et emprise

Zone inondée (en bleu) relativement à emprise « maximaliste »	Rappel des débits transitant et détails au droit de la rive droite et échelle de surveillance
	PF1= 50 m³/s Pas de débordement, écoulements en lit mineur Niveau d'eau au droit de la passerelle à environ -1 m par rapport à la rue en rive droite de la passerelle
	PF2= 82 m³/s (~Q sep 2014) Ecoulements toujours canalisés en lit mineur, débordements observés sur la rue en lien avec ruissellement et difficultés d'évacuation Niveau d'eau au droit de la passerelle à environ -40 cm par rapport à la rue en rive droite de la passerelle et -30 cm en dessous du niveau zéro de l'échelle de crue
	PF3= 100 m³/s Ecoulements toujours canalisés en lit mineur mais en limite de berges, avec phénomènes d'inondation en lien avec les difficultés d'évacuation qui s'accroissent. Niveau d'eau au droit de la passerelle presque au niveau du niveau zéro de l'échelle de crue
	PF4= 150 m³/s Débordements en rive droite au droit de la passerelle avec environ 50 cm d'eau sur la place, et vitesses inférieures à 1m/s Niveau d'eau au droit de l'échelle de crue : 45 cm

Zone inondée (en bleu) relativement à emprise « maximaliste »	Rappel des débits transitant et détails au droit de la rive droite et échelle de surveillance
	PF5= 188 m³/s (~Q oct. 2019) Débordements en rive droite au droit de la passerelle de plus de 80 cm d'eau sur la place, et vitesses de l'ordre de 1m/s Niveau d'eau au droit de l'échelle de crue : 74 cm
	PF7 = 220 m³/s (~Q 10) Débordements en rive droite au droit de la passerelle de près de 1 m d'eau sur la place, et vitesses supérieures à 1m/s Niveau d'eau au droit de l'échelle de crue : 93 cm
	PF10= 280 m³/s (~Q 20) Débordements en rive droite au droit de la passerelle de plus de 1 m d'eau sur la place, et vitesses supérieures de plus de 1,5 m/s Niveau d'eau au droit de l'échelle de crue : 122 cm
	PF12 = 350 m³/s (~Q 50) Des inondations de 1.5 m en rive droite avec des vitesses de près de 2m/s Niveau d'eau au droit de l'échelle de crue : 148 cm

	 Figure 18 : profil des vitesses en lit et rive droite
Zone inondée (en bleu) relativement à emprise « maximaliste »	Rappel des débits transitant et détails au droit de la rive droite et échelle de surveillance
	PF14 = 450 m³/s (~Q 100) Des inondations de 1.75 m en rive droite avec des vitesses de plus de 2 m/s Niveau à l'échelle : 180 cm
	PF16= 550 m³/s (~Q nov 2014) Des inondations de 1.85 m en rive droite avec des vitesses de près de 3 m/s Niveau à l'échelle : 206 cm (>2 m : limite de l'échelle) soit +6 cm au-dessus
	PF17 = 700 m³/s (~Q exceptionnel) Des inondations de 2.3 m en rive droite avec des vitesses de près de 3 m/s L'eau atteint presque le haut de la rue de la passerelle. Niveau à l'échelle : 238 cm (>2 m : limite de l'échelle) soit +38 cm au-dessus, affleurant presque le haut du mur (cf. photos ci-dessous)



□ Evaluation de la courbe de tarage

Directement issue des modélisations, la courbe de tarage permet de relier la hauteur enregistrée sur l'échelle limnimétrique à un débit estimatif.

A noter que pour les débits inférieurs à 100 m³/s, les hauteurs d'eau ne peuvent être relevées précisément, car en dessous du zéro de l'échelle, de même pour les débits au-delà de la crue centennale, les niveaux dépassant les 2m de l'échelle, comme pour la crue de novembre 2014.

Cette configuration est liée aux contraintes du site, et notamment au besoin de garantir une lecture des niveaux en période de crue. Elle n'est cependant pas problématique pour l'objectif recherché, à savoir assurer une surveillance des crues, et plus précisément **permettre de définir des seuils de mise en vigilance et en alerte avec un certain délais d'anticipation** : ainsi, pour les petits débits, la surveillance n'est pas nécessaire, et pour les très gros débits, la surveillance n'est plus d'actualité, l'alerte ayant été logiquement déclenchée bien avant d'atteindre ces niveaux.

Pour la capitalisation des données demandées aux communes pour permettre de disposer de données réelles, et améliorer la qualité des prévisions et outils associés, les enregistrements des hauteurs (avec horodatage pour représenter l'hydrogramme de crue et non seulement le pic) pourront être qualitatifs ou basés sur un autre point de référence (cote de haut de berge par exemple pour Latour) pour les débits qui n'atteignent pas le zéro de l'échelle et pour les débits dépassant les 2 m de l'échelle (relativement à la terrasse de l'habitation sur laquelle est implantée l'échelle par exemple, ou sur le mur en haut de la rue de la Passerelle selon la position de l'observateur désigné pour ce suivi).

MODELISATION HYDRAULIQUE

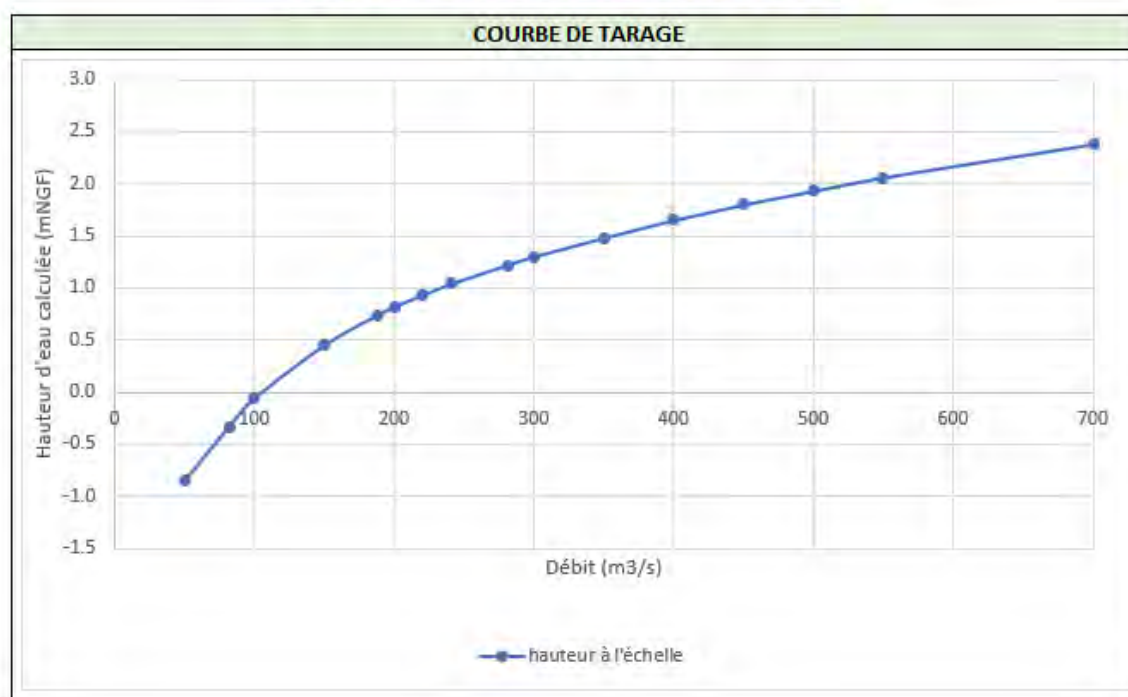


Figure 19 : courbe de tarage - exemple de Latour

5.5.4. Eléments opérationnels à destination des élus

A. Principes et méthodologie

Sur la base des éléments hydrauliques et hydrologiques, et en concertation étroite avec les élus des communes concernées, il s'agit de proposer **un outil simple d'aide à la décision pour le suivi des crues**, composé d'une fiche de définition de l'échelle de gravité et d'une grille d'estimation du risque par commune.

Au-delà de ces outils, deux autres éléments ont toute leur utilité, avec une appropriation plus simple d'accès :

- La capitalisation des données à prévoir pour les alertes et événements à venir ;
- La définition de cartographies de zones inondées potentielles sur la zone à enjeux en lien avec le point de surveillance associé.

- **Echelle de gravité** : il s'agit de définir des seuils, correspondant à des hauteurs d'eau dans le cours d'eau, en lien direct avec la gravité attendue en termes de risque inondation.

Sur la base d'un point de référence (station projetée), et d'une hauteur ou une cote définie en ce point, la modélisation hydraulique permet de caractériser la zone inondable associée, et les enjeux touchés.

La présentation de ces résultats et la concertation avec l'équipe municipale, et plus particulièrement avec les personnes en charge du Plan Communal de Sauvegarde, devrait permettre de définir ces seuils de gravité, en considérant deux niveaux de vigilance :

- Un premier niveau (Niveau Jaune) correspondant à la mise en vigilance ;
- Un second niveau (Niveau Orange) correspondant à la mise en alerte.

A noter que les codes couleurs sont proposés pour être en cohérence avec les codes couleurs utilisés pour les outils de l'Etat (vigilance METEOFRAANCE et vigilance VIGICRUES principalement).

Ainsi, le vert a été retenu pour les situations où l'on reste sous le premier niveau.

➤ Grille d'estimation du risque :

Différents paramètres peuvent être pris en compte pour définir cette grille d'estimation du risque, avec deux principaux paramètres :

- Etat de saturation des sols, fonctions des données sur les pluies antérieures, des niveaux dans le cours d'eau, voire dans les nappes ;
- Prévisions de pluies et caractère des pluies attendues.

Pour chacun de ces critères, des notes peuvent être attribuées, pour fournir un indice de risque. Ces critères et notes doivent être « calés » sur la base d'évènements observés.

Des exemples de ce type d'outils sont présentés en annexe 10.

Ces éléments sont issus d'une étude réalisée par OTEIS pour le compte du SCHAPI en 2013, une demande d'autorisation de diffusion étant en cours via la DREAL - SPC.

➤ Capitalisation des données :

Afin de disposer d'éléments précis et observés pour caler ces outils et permettre de disposer à l'avenir d'une surveillance fiable, pour une mise en vigilance et mise en alerte des personnes chargées de la gestion de crise, il importe de capitaliser certaines données, avant la crue (période de mise en vigilance), pendant la crue et post-crue. A cette fin, une fiche de retour d'expérience est proposée en annexe 10, sur laquelle les élus pourront se baser pour recenser ces éléments, notamment sur les communes équipées d'une échelle de surveillance des crues.

On rappellera en effet que dans le cadre de cette action (action 2.2 du PAPI d'Intention : équipement d'échelle limnimétrique sur les branches Sorgues, Dourdou et affluents et Rance), les élus se sont engagés via la convention associée, à capitaliser ces données (cf. figure ci-dessus extraites des conventions). Cette fiche « retour d'expérience » est présentée en annexe 10.

ARTICLE 3 – ENTRETIEN ET UTILISATION

La commune assurera l'entretien des différents éléments posés, en concertation avec le propriétaire du support, et suivant les préconisations du fournisseur.

*En cas de dégradation, la commune s'engage à en informer le syndicat Mixte Tarn Sorgues Dourdou Rance, qui veillera à les restaurer ou à les remplacer à leur emplacement d'origine, en respectant le même modèle, dans les meilleurs délais. La commune et le propriétaire seront informés par le syndicat Mixte Tarn Sorgues Dourdou Rance de toute intervention effectuée sur les éléments concernés **au moins un mois avant la date d'intervention prévue.***

Les échelles ayant un objectif de suivi et surveillance des crues, à l'échelle du bassin versant, la commune s'engage à capitaliser les informations notamment en termes de niveaux atteints, selon un format type fiche Retour d'Expérience (fiche REX) fourni en annexe, pour toute montée des eaux conséquente pour le territoire communal et pour les communes aval, et pour tout évènement qui aurait donné lieu à des avertissements de l'Etat (avertissements APIC, VigieCrueFlash, MeteoFrance, Vigicrues ...).

La commune s'engage à intégrer à son Plan Communal de Sauvegarde (PCS) cet équipement et les usages de suivi et surveillance associés, notamment par la définition de niveau de vigilance pour le territoire communal mais également pour les communes aval, si elles le souhaitent.

Figure 20 : engagement des communes pour la capitalisation des données au droit des sites avec pose d'échelle

➤ Cartographie des zones inondées potentielles

Le principe de la cartographie des zones inondées potentielles est le suivant :

Sur la base d'un niveau de référence définie sur la station amont (station de surveillance correspondant au site situé en amont de la zone à enjeux), et sur la base des délais d'anticipation estimés à partir de ce point, une cartographie de la zone inondée sur la zone à enjeux peut être établie.

Cette cartographie permet alors aux élus de se préparer sur une base fiable.

B. Illustration d'un outil de gestion opérationnelle

Ce dernier type d'outil, simple d'utilisation, permettant une bonne visualisation de la situation à venir, et des situations envisageables à plus « long » terme, peut-être illustré ci-dessous, avec l'exemple de Latour.

Attention, certaines bases considérées pour cette illustration ne sont pas fondées, et ne pourront donc être utilisées en l'état.

Si l'on considère comme niveau de mise en vigilance le niveau pour lequel les premiers débordements sont attendus à Latour, ce niveau correspond à un débit transitant à Latour de 150 m³/s, avec la cartographie des zones inondée suivante, correspondant pour rappel à une hauteur à la station de suivi (échelle de Latour) de 45 cm.



D'autre part, le temps de propagation entre la station de surveillance (site Gare de Montpaon – commune de Fondamente) et cette station de suivi est de 45 min +/- 15 min, comme cela a été estimé dans les analyses précédentes.

Il s'agit alors de se baser sur les données à la station de Montpaon (station de surveillance), en déclenchant le niveau de vigilance à Latour (station de suivi), lorsque le débit correspondant aux 150 m³/s à Latour est mesuré à Montpaon.

Ce débit correspondant à la station de surveillance peut être estimé à partir de la formule de Myer (Cf. figure page suivante avec coefficient de Myer de 0.8 – valeur standard) : pour le cas de Latour et des 150 m³/s, le débit correspondant est alors de 122 m³/s, et de 179 m³/s à Montpaon pour 220 m³/s à Latour.

Le débit de la crue de référence retenue au droit d'une station hydrométrique jaugée a été rapporté au droit du bassin versant d'étude par la méthode de transposition. Cette méthode est applicable dès lors que l'on dispose de données hydrométriques soit en un autre point du bassin versant à étudier (ce qui est le cas ici), soit sur un bassin versant voisin présentant les mêmes caractéristiques morphologiques. La formule de Myer permet alors d'obtenir le débit de crue recherché :

$$Q_T = Q_{T\text{ BV Connu}} \times \left(\frac{S_{BV}}{S_{BV\text{ Connu}}} \right)^\alpha \text{ avec}$$

Q_T : débit de fréquence T en m³/s du bassin versant à étudier ;

$Q_{T\text{ BV Connu}}$: débit de fréquence T en m³/s du bassin versant connu ;

S_{BV} : surface en km² du bassin versant à étudier ;

$S_{BV\text{ Connu}}$: surface en km² du bassin versant connu ;

α : Coefficient de Myer

Figure 21 : rappel de la formule de Myer

Les données de modélisation hydraulique permettant d'autre part de corréler débits et niveaux d'eau, la mise en vigilance de Latour est donnée dès que le niveau correspondant aux 122 m³/s est observé à la station de Gare de Montpaon.

La commune de Latour dispose alors de 45 min +/- 15 min pour mettre en œuvre ses procédures définies pour le niveau de vigilance ou de pré-alerte. Par exemple :

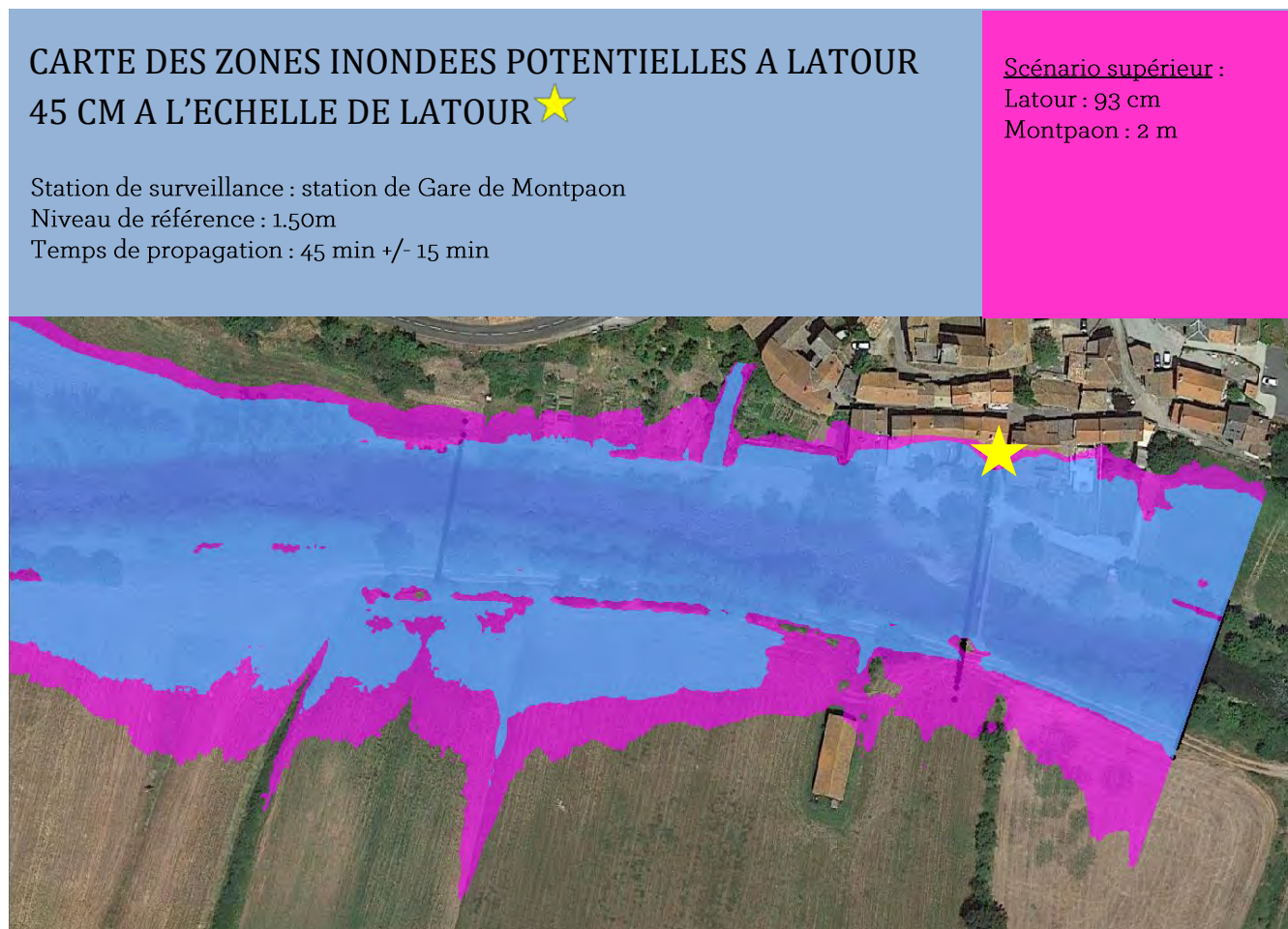
- ✓ Mise en astreinte de l'équipe municipale en charge de la gestion de crise, rappel des procédures en cas de poursuite de la montée des eaux, et suivi rapproché de l'épisode météorologique sur l'amont du bassin avec prise de contact avec les maires des communes amont (notamment suivi de la pluviométrie sur l'amont du bassin), et au droit de la station de surveillance et de suivi (dont enregistrement avec horodatage des données de hauteurs d'eau pour la capitalisation des données suivant les indications figurant dans la fiche « inondation-fiche de retour d'expérience ») ;
- ✓ Appel des habitants directement concernés par les risques inondation pour les informer de la situation et suivi rapproché pour les personnes vulnérables ;
- ✓ Evacuation des véhicules garés le long de la Sorgues (parking) ;
- ✓ Vérification de la disponibilité des véhicules et matériels communaux susceptibles d'être mobilisés ;
- ✓ Autres mesures telles que définies dans le Plan Communal de Sauvegarde ...

Bien évidemment, ces seuils de vigilance et d'alerte, de même que les procédures associées sont à définir pour chacune des communes, en fonction des spécificités locales, en concertation étroite avec les élus voire les citoyens impliqués dans la gestion de cette surveillance et dans la gestion de crise.

Sur la base des valeurs de 150 m³/s et 220 m³/s à Latour tels que retenus précédemment, l'exemple ci-dessous présente enfin une cartographie ZIP (Zones Inondées Potentielles) telle que définie généralement pour la surveillance des crues. Ce support permet une plus facile appropriation de la situation et une meilleure anticipation dans la gestion de crise par les élus, support utilisé sur de nombreux territoires, et développé par l'Etat.

Pour cet exemple, et les besoins de la cartographie, on retiendra des **valeurs fictives** de hauteurs (à défaut des résultats des modélisations sur le site de surveillance Gare de Montpaon) en considérant :

- la valeur de **1.50 m** à la station de surveillance de Montpaon pour le débit de 122 m³/s ;
- la valeur de **2.00 m** à la station de surveillance de Montpaon pour le débit de 179 m³/s



Carte 14 : exemple de support type cartographie des zones inondées potentielles

C. Conclusions et remerciements

Si ce travail n'a malheureusement pas pu être mené à terme, faute de temps, tous les éléments de méthodologie et les données d'entrée sont aujourd'hui à disposition du territoire pour s'emparer de ce sujet, important et pertinent pour une gestion des risques inondation optimale. Il sera pertinent de maintenir la collaboration avec les services de prévision des crues (SPC) de la DREAL, que nous remercions encore pour le travail réalisé et présenté ici.

LISTE DES ANNEXES

(cf. document « annexes »)

- ANNEXE 1 Détails de l'exposition des communes et pertinence d'un réseau de surveillance complémentaire
- ANNEXE 2 Données de base utilisées pour le chiffrage d'un réseau de surveillance automatisé
- ANNEXE 3 Fiches stations - Présentation (localisation - sites - équipements)
- ANNEXE 4 Eléments de précision sur les données hydrologiques et hydrométriques collectées
- ANNEXE 5 Analyse des données pluviométriques
Annexe 5.1 : Pluviométrie annuelle aux stations SPC et EDF
Annexe 5.2 : Caractéristiques pluviométriques par station
Annexe 5.3 : Eléments de connaissance sur les épisodes de référence
- ANNEXE 6 : Analyse des événements de référence – calcul des ratios volumes ruisselés / volumes précipités
- ANNEXE 7 Résultats des modélisations hydrologique
Annexe 7.1 Hydrogrammes de calage
Annexe 7.2 Hydrogrammes calculés
- ANNEXE 8 : Personnes ressources
- ANNEXE 9 : Modélisation hydraulique - Fiches stations (version non finalisée)*
- ANNEXE 10 : Outils de surveillance à destination des élus (version non finalisée)*
- ANNEXE 11 : Stations équipée d'échelle en 2021 - Fiches stations*



Parc
naturel
régional
des Grands Causses
Une autre vie s'invente ici