



**PAPI Axe 2 – Surveillance,
Prévision des crues et
inondations**



**Note générale de conception A
document « chapeau »
Système d'avertissement local Crues/ Etiages**



**Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
pour la mise en œuvre d'un Système d'avertissement local Crues/ Etiages dans le
cadre de l'axe 2 du Programme d'Actions pour la Prévention des Inondations
de l'Ouvèze Provençale**

Maitre d'Ouvrage

	Madame Audrey CECCALDI Directrice Syndicat mixte de l'Ouvèze Provençale 300 avenue des Princes d'Orange 84 340 Entrechaux 04 90 46 09 43 / 06 80 71 42 04
---	--

Assistant Maitre d'Ouvrage

	Eaurêka 300 chemin des Buissonnets 34 170 CASTELNAU le LEZ FRANCE
---	--

Date du document	30 novembre 2021
Contact A.M.O.	Laurent TOCQUEVILLE Tel : +33 6 73 28 20 15 Laurent.Tocqueville@yahoo.fr

Titre du document	Etude de conception du SDAL (Système d'avertissement local aux crues - Etiages) – Note générale document « chapeau »
Référence du document :	VD
Indice :	07

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
05/07/2021	A01	Premières rédactions	Laurent Tocqueville	
21/07/2021	A02	CR visites communes	Laurent Tocqueville	
03/08/2021	A03	Sauvegarde intermédiaire	Laurent Tocqueville	
21/09/2021	B04	Ajouts modèles hydro	Laurent Tocqueville	
28/09/2021	B05	Suite réunion SPC 24/09	Laurent Tocqueville	
20/10/2021	C06	Modifications conclusion	Laurent Tocqueville	
30/11/2021	D07	Reprise commentaires SPCGD et AERMC	Laurent Tocqueville	

Voir l'annexe 1 pour plus de détails sur le contenu des évolutions du document.

Principe d'évolution des indices de documents :

Les évolutions sont à la seule initiative de la Maitrise D'Ouvrage et l'Assistant Maitrise D'Ouvrage. Elles sont référencées dans le tableau ci-avant, mais détaillées dans l'annexe 1 au présent document.

L'indice alphabétique (lettre) constitue une version qualifiée de majeure et évolue selon l'ordre alphabétique en commençant par la version initiale « A ».

Les chiffres sont incrémentés à chaque diffusion entre la Maitrise D'Ouvrage et l'Assistant Maitrise D'Ouvrage, ou lorsque l'une de ses deux entités souhaite produire une version intermédiaire à son travail. L'indice numérique n'est pas remis à « 01 » après chaque changement d'indice alphabétique.

PREAMBULE

Le présent document fait partie du dossier d'étude de conception du SDAL (Système d'avertissement local aux crues - Etiages) envisagé par le Syndicat Mixte de l'Ouvèze Provençal.

Pour fluidifier la lecture d'un volume d'informations techniques relativement dense, nous avons segmenté les contenus en différents documents, en utilisant comme logique d'organisation, le cheminement de l'information sur toute sa chaîne de traitement, depuis l'acquisition de la mesure, son traitement puis sa diffusion et son exportation.

Ainsi le lecteur pourra analyser les orientations prises lors de l'étude de conception :

- A : note générale de conception, document « chapeau » des thèmes abordés ;
- B : présentation des différentes technologies de capteurs et aide à la sélection ;
- C : critères de sélection des implantations géographiques, de faisabilité d'installation et de conformité réglementaire ;
- D : présentation des modes d'exportation des données, de sécurisation de la transmission, de la mise en place d'un superviseur et de bancarisation ;
- E : présentation des activités de maintenance et des besoins de sécurisation H24 et 365/365 jours (et prestations associées) ;

Le présent rapport constitue le document référencé « A ».

Une réunion déterminante s'est tenue le 24 Septembre 2021 avec le SPC Grand Delta (Messieurs Laborda et Mannessiez). Cette réunion à laquelle participaient le SMOP et Eaurêka, a permis de positionner le futur SDAL SMOP vis-à-vis des évolutions attendues à moyen terme (3 à 5 ans) des services Vigicrues. Le présent document s'inscrit dans ces orientations.

Enfin, à l'initiative du SMOP, l'étude a permis de rencontrer les 19 et 20 juillet 2021, cinq communes riveraines de l'Ouvèze réparties entre l'amont et l'aval. La qualité des échanges nous guide dans les choix de conception du futur SDAL, et nous souhaitons ici remercier vivement les communes de Buis Les Baronnies (Mr Baudin), Vaison la Romaine (Mme Combe et Mr Doux), Bedarrides (Mr Bérard et Mr Fouquet), Courthézon (Mme Maurin), Violes (Mme Pez et Mr Ponson), pour leur accueil et leur disponibilité.

TABLE DES MATIERES

PRÉAMBULE	II
TABLE DES MATIERES.....	III
TABLE DES ILLUSTRATIONS	VI
1 OBJET DU DOCUMENT	1
2 COMPRÉHENSION DU CONTEXTE.....	2
2.1 L'OUEZE	2
2.2 LE SMOP.....	5
2.2.1 Territoires et collectivités adhérentes	5
2.2.2 Compétences.....	6
2.2.3 Equipe technique du syndicat.....	7
2.3 L'OUEZE ET LE RISQUE INONDATION	8
2.3.1 Communes affectées.....	8
2.3.2 Typologies des évènements hydrométéorologiques.....	10
2.3.3 Les crues historiques de l'Ouvèze Provençale	11
2.3.4 Le réseau réglementaire du Service de Prévision des Crues Grand Delta.....	13
2.3.5 Ouverture à des dispositifs locaux d'avertissement aux crues.....	15
2.3.6 Le réseau hydrométrique et la prévision SPC-GD	16
2.3.7 Autres points évoquées par les communes.....	25
2.4 LES ETIAGES DE L'OUEZE	27
2.4.1 Territoires affectés	27
2.4.2 Le réseau de suivi Etude de détermination des volumes prélevables	29
2.4.3 Réseau de suivi PGRE	29
2.5 SYNTHESE DE L'ETUDE DE FAISABILITE (HYDROPRAXIS 2014) VOLET CRUES.....	30
2.5.1 Enjeux.....	30
2.5.2 Propositions de suivi	30
2.5.3 Propositions actualisées	31
3 RÉFLEXIONS, QUESTIONNEMENTS ET PROPOSITIONS	33
3.1 LES ATTENTES POUR UN FUTUR DISPOSITIF D'AVERTISSEMENT LOCAL	33
3.2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET VISION SDAL PAR LES SERVICES DE L'ETAT	33
3.2.1 Avertissement versus Alerte	33
3.2.2 Un Dispositif d'Avertissement Local au sens réglementaire	34
3.2.3 Niveau de technicité du Système d'Avertissement Local.....	35
3.3 SECURISATION ET DISPONIBILITE ATTENDUES D'UN AVERTISSEMENT AUX CRUES.....	37

3.4	ORGANISATION DE LA CELLULE OPERATIONNELLE CRUES	38
3.4.1	Activités	38
3.4.2	Organisation de la cellule hydrométéorologique du SDAL SMOP	39
3.4.3	Cas particulier des activités de jaugeages	40
3.4.4	Assistance hydrologique aux cellules de crise communales	41
3.5	SUIVI PLUVIOMETRIQUE	42
3.5.1	Gradient pluviométrique	42
3.5.2	Réseaux pluviométriques existants	43
3.5.3	Suivi radars météorologiques	44
3.5.4	Autres services de suivi : dispositifs APIC et VigiCruesFlash	47
3.5.5	Prévisions pluviométriques	48
3.6	SUIVI HYDROLOGIQUE	49
3.6.1	Densification du réseau de suivi des étiages	49
3.6.2	Densification du réseau d'avertissement aux crues	51
3.7	MODELES DE PREVISION HYDROLOGIQUE	54
3.7.1	Prévisions des crues	54
3.7.2	Prévisions des Etiages	56
3.8	AUTRES ASPECTS NON ABORDES DANS L'ETUDE DE FAISABILITE	57
3.9	POUR FAIRE UNE SYNTHSE DE CES INTERROGATIONS !	58
4	CONCEPTION DU SDAL	58
4.1	CHOIX DU STANDARD AUSTRALIE — NOUVELLE ZELANDE	58
4.2	SCENARIO DE CRISE POUR LA CONCEPTION DU SDAL	58
4.2.1	Les fonctions que doit assurer ou auxquelles doit contribuer le système d'alerte	59
4.2.2	Critères et priorités pour la conception du dispositif d'alerte	59
4.3	METROLOGIE DU SYSTEME D'AVERTISSEMENT	60
4.3.1	Données caractéristiques des bassins versants et typologies des crues	60
4.3.2	Données caractéristiques des bassins versants SMOP et pluies	60
4.3.3	Caractéristiques de la mesure	62
4.4	ACQUISITION DES MESURES	63
4.4.1	Fiabilité attendue	63
4.4.2	Conditions environnantes	63
4.4.3	Conditions d'alimentation énergie	64
4.5	TRAVAUX SUR LES STATIONS	65
4.5.1	Nouvelles stations hydrométriques	65
4.5.2	Modernisation des sites existants	65
4.6	TELECOMMUNICATIONS M2M	65
4.6.1	Besoins télécommunication	65
4.6.2	Préférences pour une solution M2M	66
4.7	DONNEES TRANSMISES ET INFORMATIONS NECESSAIRES	69
4.7.1	Données métrologiques	69
4.7.2	Métadonnées	69
4.8	POSTE CENTRAL	69
4.8.1	Expression du besoin	69

4.8.2	Richesse fonctionnelle.....	70
4.8.3	Décret relatif à la sécurité des systèmes d'information des Opérateurs de Services Essentiels.....	71
4.8.4	Recommandations.....	71
4.9	W.A.N. DATACENTER <-> CELLULES CRISE COMMUNALE	71
4.9.1	Rapide expression des besoins.....	72
4.9.2	Type de données.....	72
4.9.3	Quelle durée pour transférer une image cartographique ?.....	72
4.9.4	Quelles performances sont acceptables ?.....	73
4.9.5	Dimensionnement de l'accès Internet pour le serveur SMOP.....	74
4.10	SCENARII D'ORGANISATION DU FUTUR DISPOSITIF D'AVERTISSEMENT	74
5	CONCLUSION	75
5.1	VISION SIMPLIFIEE DU SDAL POUR LA GESTION CRUE	75
5.2	FLUX D'INFORMATIONS DU SDAL POUR LA GESTION CRUE	75
5.3	PROPOSITION D'INSTRUMENTATION DE NOUVEAUX SITES DE MESURE	76
5.4	COUTS D'INVESTISSEMENT PAR ACTIVITE	77
5.4.1	Prévisions des crues.....	77
5.4.2	Configuration T : station limnimétrique Temporaire.....	77
5.4.3	Configuration P : station pluviométrique.....	77
5.4.4	Configuration L : station limnimétrique.....	77
5.4.5	Configuration C : station limnimétrique avec Camera (sans limni).....	78
5.5	PROPOSITION D'INVESTISSEMENT	79
5.5.1	Solution de base.....	79
5.5.2	Solution complète.....	80
5.5.3	Estimation par commune.....	80
5.6	MONTAGE ADMINISTRATIF DE L'APPEL D'OFFRES	81
5.7	ET LES ETIAGES !	81
	ANNEXES	82
	SUIVI DES VERSIONS DU DOCUMENT	83

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Les différents axes d'un PAPI.....	1
Figure 2 Localisation du bassin versant de l'Ouvèze.....	2
Figure 3 : Schéma du bassin versant de l'Ouvèze Provençale (Source : SPC Grand Delta)	3
Figure 4 Linéaire de digues sur le bassin versant de l'Ouvèze.....	4
Figure 5 un territoire en deux parties.....	4
Figure 6 Présentation du bassin versant de l'Ouvèze	5
Figure 7 Les compétences GEMAPI	7
Figure 8 Montée de la crue en 2 heures au pont romain de Vaison la Romaine –septembre 1992 (source SPCGD)	8
Figure 9 Communes du bassin (département Vaucluse) ayant fait l'objet de CAT-NAT inondations	9
Figure 10 Communes du bassin (département Drôme) ayant fait l'objet de CAT-NAT inondations	9
Figure 11 Clichés espacés de 30 secondes lors de la crue de Juillet 2013 du Toulourenc (source SPCGD)	10
Figure 12 Repères de crues sur les façades de Bedarrides.....	12
Figure 13 Macaron repère de crues Ouvèze	12
Figure 14 : Schéma du bassin versant de l'Ouvèze Provençale (Source : SPC Grand Delta)	13
Figure 15 Réseau réglementaire du SPC Grand Delta.....	14
Figure 16 niveaux de services prévision - plan stratégique	15
Figure 17 Enjeux principaux (en rouge), réseau de mesure en temps réel du SPCGD.....	17
Figure 18 pluviomètre à la station de Buis les Baronnies	17
Figure 19 Limnimètre à la station de Buis les Baronnies	18
Figure 20 Nouveau site potentiel pour Buis les Baronnies (SPCGD).	18
Figure 21 Affichage Prévisions Vaison la Romaine (pavé jaune) à un horizon de 6 heures (Vigicrues).....	20
Figure 22 Chronique interannuelle ETP Vaison la Romaine	22
Figure 23 'influence des conditions pluviométriques passées et futures sur la prévision	23
Figure 24 Evolution des erreurs du modèle de prévision en fonction de l'échéance suivant deux scénarios	23
Figure 25 Disponibilité des postes pluviométriques sur la période de calage.....	25
Figure 26 Abaque des risques Hauteur – vitesse	27
Figure 27 Echelles risque automobile (Montpellier).....	27
Figure 28 Hydrogéologie du bassin versant de l'Ouvèze.....	28
Figure 29 Les relations nappes/ rivières sur le bassin versant	28
Figure 30 Station SPC Bedarrides Sorgues	32
Figure 31 Définition d'un SDAL vue par le Ministère de la Transition écologique et solidaire	34
Figure 32 Descriptif fonctionnel d'un système global d'avertissement/alerte.....	36
Figure 33 Classification des Data centers	38
Figure 34 Logigramme de mobilisation d'une équipe de jaugeage.....	40
Figure 35 Positionnement du SDAL parmi les gestionnaires de la crise Inondations.....	42
Figure 36 Suivi radar météorologique 20 décembre 2019	42
Figure 37 Cartographie des stations climatologiques CIRAME	43
Figure 38: carte de localisation des différents radars météorologiques sur le territoire métropolitain.....	45
Figure 39: carte de couverture théorique des radars météorologiques sur le bassin de l'Ouvèze	45
Figure 40 Visibilité du radar de Bollène sur le bassin de l'Ouvèze	46
Figure 41 Visibilité des radars bande X sur l'amont de l'Ouvèze	46
Figure 42 Exemple de carte Vigicrues Flash	48
Figure 43 Les différentes prévisions pluviométriques de MétéoFrance.....	49
Figure 44 Site de mesure de Vercoiran (chemin de la Mondone).....	50
Figure 45 vue de la section hydraulique Vercoiran.....	51
Figure 46 site potentiel sur l'Eyguemarse.....	52
Figure 47 site potentiel sur la Seille (traversée Courthezon)	53
Figure 48 site potentiel sur l'Ouvèze à Violès	53
Figure 49 apport de ce site de Violès au suivi de la crue	54

Figure 50 Vieux pont Violès.....	54
Figure 51 Localisation des 38 bassins versants modélisés avec PREMHYCE	56
Figure 52 Typologie des crues (référentiel ANZEM).....	60
Figure 53 Fréquence d'acquisition mesures Acquisition locale –Superviseur central (référentiel ANZEM)	60
Figure 54 Estimation des temps de propagation (HydroPraxis).....	61
Figure 55 Estimation des temps de propagation (SPCGD)	61
Figure 56 Intensités de pluie / période de retour sur le poste pluviométrique de Carpentras	62
Figure 57 Marque de crue (PHEC) Septembre 1992.....	62
Figure 58 Intervalles d'échantillonnage pluviomètres en fonction des typologies de crues (référentiel ANZEM) ...	63
Figure 59 Intervalles d'échantillonnage limni-débitmètres en fonction des typologies de crues (référentiel ANZEM)	63
Figure 60 Facteurs pouvant agir sur la fiabilité du site de mesure (référentiel ANZEM)	64
Figure 61 Différentes télécommunications réparties (WAN) au sein d'un SDAL	66
Figure 62 carte des couvertures et fiabilité simulée du réseau Orange	67
Figure 63 Courbes atténuation linéique / intensité de pluie	68
Figure 64 Position de Ka-Sat sur l'équateur et visée depuis Vaison	68
Figure 65 Familles des fonctions de gestion du risque inondations.....	71
Figure 66 Temps de transfert dans le réseau	73
Figure 67 Référence de temps pour le transfert de données cartographiques	73
Figure 68 Schéma simplifié Plateforme d'avertissement aux crues.....	75
Figure 69 flux d'informations du SDAL pour la gestion de la crue	76
Figure 70 Proposition d'un nouveau réseau de suivi hydro-pluviométrique.....	76

1 OBJET DU DOCUMENT

Le Syndicat Mixte de l'OUEZE PROVENÇALE (S.M.O.P.), établissement public, a pour objet de promouvoir dans l'intérêt global, l'aménagement et l'entretien cohérent, ainsi que la gestion de l'eau sur le bassin versant de la rivière Ouvèze et de ses affluents, (hors bassins Sorgues et Sud-Ouest Mont Ventoux), soit une superficie de 880 km² à cheval environ pour moitié en Drôme et pour moitié en Vaucluse.

En 2019, le SMOP a pris en charge pour le compte de ses communes adhérentes, la compétence dite « GeMAPI ou Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations » afin d'assurer l'aménagement d'un bassin versant, l'entretien et l'aménagement des cours d'eau, la défense contre les inondations, ou encore la protection et la restauration des écosystèmes aquatiques.

A ces missions réglementaires dites « GEMAPI », le SMOP a souhaité aussi endosser la gestion et de la protection de la ressource en eau et des milieux aquatiques, avec notamment la mise en place et l'exploitation de dispositifs de surveillance de la ressource en eau et des milieux aquatiques. C'est justement dans ce dernier volet que s'inscrit le présent projet de mise en œuvre d'un dispositif d'avertissement aux crues et suivi des étiages, dans la logique de l'axe 2 du Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI d'intention) de l'Ouvèze Provençal.



Figure 1 Les différents axes d'un PAPI

Pour l'assister dans la démarche du dispositif d'avertissement, le Syndicat Mixte de l'Ouvèze Provençal (SMOP) a sélectionné dans le cadre d'une consultation (Avril 2021), l'entreprise Eauréka comme Assistant à Maitrise d'Ouvrage. La démarche est organisée en deux grandes phases :

- Phase 1 : Conseil du Maître d'Ouvrage et aide à la décision pour décrire un programme succinct de mise en œuvre de l'action et préciser une enveloppe financière prévisionnelle pour chacune de ses composantes. Cette phase s'appuie sur les études précédemment menées par le SMOP sur le sujet (notamment étude de faisabilité Hydro- Praxis – Synapse 2014) et propose quelques actualisations liées à l'évolution des solutions technologiques.
- Phase 2 : Rédaction des éléments de Dossier de Consultation des Entreprises comprenant un Cahier des Clauses Techniques Particulières (description précise des objectifs à atteindre et des équipements à fournir, un rappel des données bibliographiques et des principales contraintes identifiées pour l'exécution, et la définition des caractéristiques du futur modèle de prévision) et l'annexe financière associée (DPGF ou DQE) ;

Le présent document, livrable de la phase 1, constitue la note de conception du SDAL (Système d'avertissement local aux crues et étiages). Une des principales attentes de ce document est

d'actualiser les propositions formulées en 2014 (étude HydroPraxis-Synapse) en dressant un état des lieux, puis étudier la faisabilité d'un dispositif d'avertissement aux crues.

2 COMPRÉHENSION DU CONTEXTE

Afin de s'assurer que le futur dispositif d'avertissement aux crues et étiages répondrait bien aux attentes des communes riveraines de l'Ouvèze, des rencontres (19 et 20 juillet 2021) à l'initiative du SMOP, ont permis de partager avec les interlocuteurs techniques de cinq communes réparties entre l'amont du bassin (Buis Les Baronnies, Vaison la Romaine) et l'aval (Bedarrides, Courthézon, Violes), pour avoir leur perception du risque inondation sur leur territoire communal, leur vision de la gestion de crise et leurs souhaits pour améliorer cette dernière.

Ces rencontres, riches d'enseignement, nous amènent à nous interroger sur les priorités à donner au projet. Les termes de référence de la présente étude pouvaient suggérer un déroulement du projet, avec une première étape assurant la mise en place d'un dispositif, puis dans un second temps ou parallèlement le développement d'une prévision des crues. Ces discussions nous invitent à réfléchir une alternative avec l'élaboration du module de prévision incluant une rationalisation du réseau pluviométrique et limnimétrique, puis sur la base de cette rationalisation, le déploiement du réseau hydrométéorologique. Cet aspect fera l'objet d'un chapitre spécifique en conclusion de la présente phase de conception.

Ces perspectives exprimées lors des échanges, visions très multiples mais jamais antinomiques, nous ont aussi incités à reprendre ce chapitre de présentation de l'Ouvèze en y insérant les informations recueillies.

Ces échanges avec les communes ont porté principalement sur la gestion de crise inondations, mais nous souhaitons rappeler aussi que le risque étiages/sécheresse fait aussi partie intégrante du projet.

2.1 L'OUEZE

L'Ouvèze provençale, à ne pas confondre avec son homonyme ardéchois, est un affluent rive gauche du Rhône dont le bassin versant s'étend sur 2 départements, la Drôme et le Vaucluse, et 49 communes.

Ce cours d'eau, dont le bassin versant draine une superficie d'environ 2050 km² à son exutoire, prend sa source dans le département de la Drôme, dans le cirque de la montagne de Chamousse, près du hameau de Somecure, commune de Montauban-sur-l'Ouvèze, à 830 m d'altitude, puis se jette dans le Rhône après avoir parcouru environ 90 km, à la hauteur de l'île de la Barthelasse sur la commune de Sorgues dans le département du Vaucluse.



Figure 2 Localisation du bassin versant de l'Ouvèze

Le bassin versant peut se décomposer en deux secteurs avec des comportements hydrologiques

différents :

- L'Ouvèze seule, en amont de Bédarrides, secteur qui peut également être sous-découpé en 4 entités (880 km²) :
 - Le bassin amont essentiellement situé dans la partie drômoise, formateur des crues de l'Ouvèze avec de nombreux affluents : le Charuis en rive gauche, le Menon en rive gauche, le Derboux en rive gauche, l'Ayguemarse en rive droite, le Groseau en rive droite et le Lauzon en rive droite (622 km²),
 - Le bassin intermédiaire de Vaison-la-Romaine à Bédarrides sans affluent remarquable, si ce ne sont les torrents des dentelles de Montmirail dont le Trignon et la Limande en rive gauche, qui confèrent à la plaine alluviale une forme filaire (150 km²),
 - Le bassin intermédiaire de la Seille, affluent en rive droite qui reçoit le Petit Raonet et la Grande Mayre, bassin qui a son exutoire dans l'Ouvèze à Bédarrides,
 - Le bassin aval de Bédarrides au Rhône, situé en grande partie dans la zone inondable du Rhône (22 km²).
- Les Sorgues, composées de plusieurs sous-bassins du Sud Est du Mont Ventoux (1170 km²), secteur alimenté par :
 - Un vaste système karstique présentant un fonctionnement en crue particulier, avec en règle générale, un pic de crue en décalage avec la crue de l'Ouvèze seule, mais un pic étalé et plus durable dans le temps,
 - Le réseau des Sorgues réceptionne les eaux du bassin Sud-Ouest Mont-Ventoux, réseau qui présente un fonctionnement rapide.

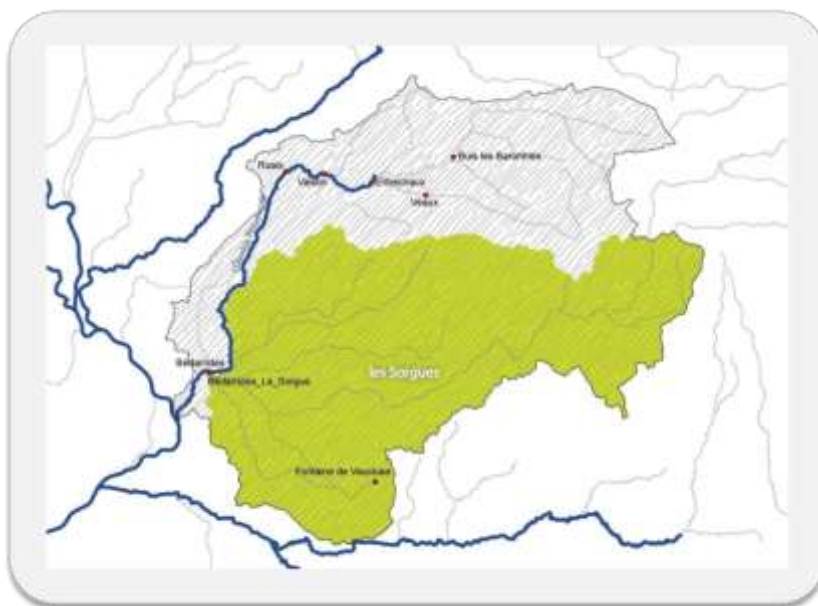


Figure 3 : Schéma du bassin versant de l'Ouvèze Provençale (Source : SPC Grand Delta)

Le **périmètre du projet**, territoire de compétences du SMOP ne concerne que le **bassin de l'Ouvèze hors bassin des Sorgues**. A ce réseau hydrographique composé de 8 affluents permanents, viennent se greffer une multitude de « vallats » (petits ruisseaux en Provençal), des cours d'eau intermittents à caractère torrentiel descendant soit des reliefs des Baronnies, soit plus en aval des reliefs des Dentelles de Montmirail.

Quant au **périmètre réglementaire** du service de prévision des crues Grand Delta (**SPC-GD**), il couvre ce même périmètre de l'**Ouvèze** mais sur sa seule partie « **Vauclusienne** ».

Pour se protéger des assauts des crues, les services de l'état ont inventorié un linéaire de digues d'environ 82 km dont 83 % en Vaucluse, et presque 90 % de ce linéaire pour la seule Ouvèze. La partie drômoise du bassin n'est concernée par aucune digue de classe B. Au total, près d'une centaine d'ouvrages sont inventoriés sur neuf cours d'eau. Les deux tiers des ouvrages sont en Vaucluse et près des trois quarts le long de l'Ouvèze. Le recensement des digues de protection contre les

inondations par les services de la DDT84 et de la DDT26, relativement au décret n° 2007-1735 a abouti au tableau suivant :

Longueur totale des tronçons (km) de classe		
Toutes classes		81,8
B	hauteur supérieure ou égale à 1 m et nombre d'habitants dans la zone protégée supérieur ou égal à 1000	30,3
C	hauteur supérieure ou égale à 1 m et nombre d'habitants dans la zone protégée supérieur ou égal à 10	23,9
D	hauteur inférieure à 1 m ou nombre d'habitants dans la zone protégée inférieur à 10	27,6

Figure 4 Linéaire de digues sur le bassin versant de l'Ouvèze

Enfin, une analyse de l'occupation des sols du bassin versant de l'Ouvèze menée en 2005 distinguait quatre grandes catégories d'occupation du sol et conduisait globalement à une répartition en zones urbaines (3 % de la surface du bassin versant), cultures (40 %), forêts (35 %) et friches et landes (22 %). Cette analyse cartographique mettait en évidence le caractère exclusivement agricole de la partie aval et intermédiaire du bassin versant de l'Ouvèze, à l'exception du territoire des dentelles de Montmirail, et de vastes zones dénudées, friches ou landes, dans la partie amont du bassin versant.



Figure 5 un territoire en deux parties

Cette occupation du sol se retrouvait dans la compréhension du relief du bassin, un bassin segmenté en deux sous bassins marqués :

- Un sous-bassin en amont Vaison la Romaine avec un relief de moyenne montagne et une dominante de forêt-garrigues,
- Un sous-bassin en aval Vaison la Romaine avec un relief de plaine, une dominante de grandes cultures-vignobles, un axe Ouvèze, urbain et industriel

Ceci se retranscrit aussi dans la répartition démographique. Le bassin versant de l'Ouvèze présente, de façon constante, une plaine en aval jusqu'à Vaison-la-Romaine, significativement plus peuplée que la zone moyenne montagne. Cette distinction a cependant fluctué depuis le 19^{ème} siècle, car le bassin amont a connu une déprise progressive et continue depuis lors. La densité démographique déjà faible de 20 à 30 habitants /km² en 1950 n'était plus que de 3 à 7 habitants/km² en 1990.

Le relief a ainsi modelé l'occupation du sol, qui indirectement a induit l'économie du territoire, et créé les bassins de vie, Buis les Baronnie sur l'amont, Vaison la Romaine sur la partie intermédiaire et

Orange sur la partie aval, même si cette dernière est hors du bassin versant de l'Ouvèze. Est venue au fil du temps, se greffer une organisation administrative du bassin versant, deux départements, différentes intercommunalités, qui ont estompé ce sentiment d'appartenance à un même territoire, le bassin versant et la solidarité spontanée qui peut exister entre l'amont et l'aval.

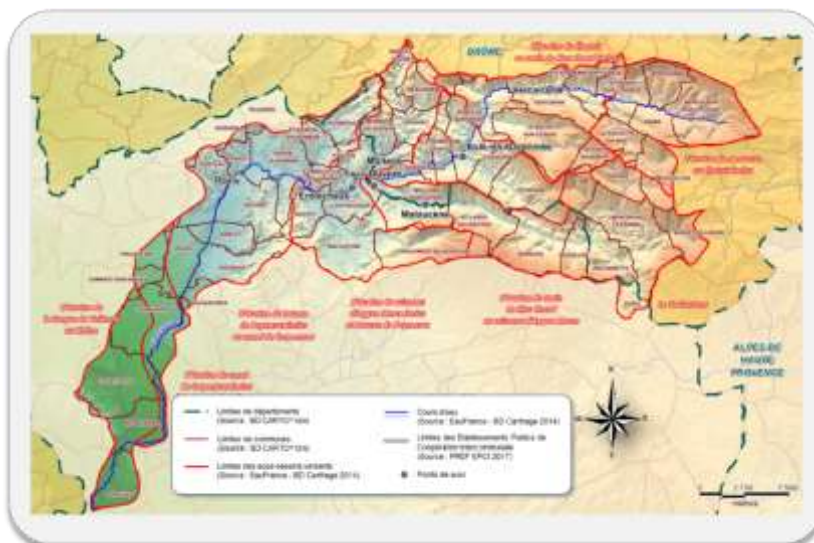


Figure 6 Présentation du bassin versant de l'Ouvèze

Ainsi lors de notre entrevue, les représentants de la commune de Violès ont déclaré n'avoir que très peu de relations avec les communes de l'amont, et faute d'interlocuteurs, ne pas pouvoir, au cœur de la crise inondation, s'enquérir de la situation sur l'amont, autrement qu'au travers du site VigiCrues.

Commentaires : La création d'un groupe Whatapp Ouvèze peut être une solution immédiate et à moindre coût pour répondre à ce besoin. Whatapp s'exécute sur un simple smartphone, assure des communications cryptées via internet (réseaux 3G/4G WIFI/ADSL/VSAT).

Pour informations, la Commission européenne n'a pas souhaité utiliser Whatsapp pour des aspects de confidentialité et a demandé à son personnel de passer sur Signal, une application mobile de messagerie instantanée gratuite et open source qui fournit un haut niveau de confidentialité et de protection des discussions grâce à la méthode du chiffrement de bout en bout.

Signal est disponible gratuitement sur mobile (smartphone Android, Iphone, Ipad) et sur ordinateur (windows, linux, Mac). A noter que Signal étant open source, il permettrait avec un développement spécifique, de diffuser les informations (niveaux, prévision, alarme) du SDAL vers les smartphone des communes.

2.2 LE SMOP

2.2.1 Territoires et collectivités adhérentes

Le SMOP de 2021 est né de la fusion en 2013 et 2015 de trois syndicats historiques, le SIABO en Vaucluse (Syndicat intercommunal d'aménagement du bassin de l'Ouvèze, créé en 1973, syndicat vauclusien), le SDRT en Drôme (Syndicat de défense des rives du Toulourenc) et le 1er SMOP (créé en 2000 (syndicat de bassin versant en Drôme et Vaucluse).

Alors qu'il était composé jusqu'à lors de communes et de communautés de communes, le SMOP, avec l'entrée en vigueur de la compétence dite « GeMAPI », est composé aujourd'hui de sept communautés membres, six en Vaucluse, une en Drôme qui représentent 49 communes du bassin versant, sept établissements publics de coopération intercommunale que sont :

- La Communauté d'Agglomération Ventoux-Comtat-Venaissin (71500 habitants),
- La Communauté de Communes de l'Aygues-Ouvèze en Provence (20 000 habitants),

- La Communauté de Communes des Baronnie en Drôme Provençale (21 600 habitants),
- La Communauté de Communes Sorgues du Comtat (50 600 habitants),
- La Communauté de Communes du Pays Réuni d'Orange (45 600 habitants),
- La Communauté de Communes Vaison Ventoux (17 100 habitants),
- La Communauté de Communes Ventoux Sud (9 500 habitants),
- Soit un bassin de population de près de 235 900 habitants avec une prédominance à près 90 % de la population installée sur le territoire vauclusien.

Afin d'assurer une équité dans la représentativité de chaque collectivité en rapport avec les enjeux de son territoire, chaque communauté membre est représentée au comité syndical par un nombre d'élus fonction de l'importance de sa population et de sa superficie.

Le territoire de compétences du syndicat couvre le bassin versant de l'Ouveze, depuis la source de l'Ouveze à Somécure en Drôme, dans la montagne de Chamouse jusqu'à la confluence avec le Rhône, à Sorgues (hors bassins Sorgues et Sud-Ouest Mont Ventoux) soit une superficie de 880 km², près de 400 kilomètres de cours d'eau non domaniaux, et un système d'endiguement d'une longueur estimée à 60 kilomètres qu'il convient d'énoncer ici en regard de l'importance réglementaire que ce type de dispositif impose (démarche réglementaire de définition, maîtrise foncière et entretien du système d'endiguement).

2.2.2 Compétences

Dans son territoire de compétences, le SMOP a pour objet d'assurer, de soutenir ou de promouvoir toutes les actions, y compris les études et travaux, nécessaires à :

- la gestion du risque inondations afin de préserver les personnes et les biens,
- la gestion durable des cours d'eau, des milieux aquatiques et terrestres associés,
- la gestion quantitative et qualitative de l'eau et de l'utilisation du patrimoine hydraulique,
- le montage, l'animation, la coordination, le suivi d'études globales, de programmes, plans ou schémas relatifs à la gestion de l'eau et au risque inondations (contrat de rivière, PAPI...).

Pour bien cerner les compétences endossées par le SMOP, ce dernier n'a pas de rôles et prérogatives dans les domaines de la gestion des eaux pluviales (bassins de compensation et de rétention), gestion de services d'eau potable et d'assainissement, aménagements de loisirs, eau de baignade (profils, suivis qualité), l'irrigation.

Dans son périmètre de compétences, le SMOP doit faire face à des enjeux importants de gestion de l'eau et des inondations sur le bassin, notamment :

- Prévention des inondations par débordement de cours d'eau et ruissellement, notamment la gestion de digues destinées à la protection contre les inondations, la culture du risque, le ralentissement dynamique
- Bon fonctionnement des cours d'eau vis-à-vis de la gestion des crues et de la restauration de l'hydromorphologie et de la continuité écologique (notamment transport solide)
- Gestion quantitative de la ressource en eau

En 2019, le SMOP a pris en charge pour le compte de ses adhérents, la compétence dite « GeMAPI ou Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations » (définies à l'article L211-7 du Code de l'Environnement) afin d'assurer l'aménagement d'un bassin versant, l'entretien et l'aménagement des cours d'eau, la défense contre les inondations, ou encore la protection et la restauration des écosystèmes aquatiques.

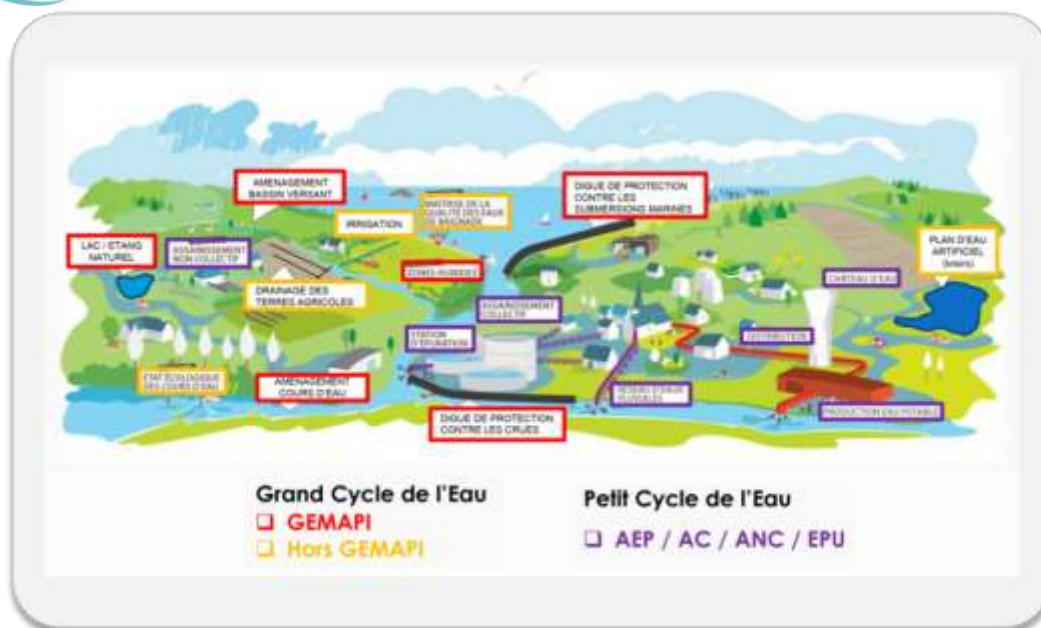


Figure 7 Les compétences GEMAPI

A ces missions réglementaires dites « GEMAPI », le SMOP a souhaité aussi endosser la gestion et de la protection de la ressource en eau et des milieux aquatiques, mais aussi la mise en place et l'exploitation de dispositifs de surveillance de la ressource en eau et des milieux aquatiques.

Enfin, le SMOP est chargé de l'animation d'un contrat de rivière et d'un PAPI d'intention. Le PAPI d'intention est la déclinaison des actions inondations du contrat de rivière, PAPI composé de 27 actions d'un montant total de 5,32 millions d'euros et dont le Syndicat assure la maîtrise d'ouvrage de 20 actions pour un montant total HT de 4,53 millions d'euros.

Si le financement PAPI permet de subventionner les coûts d'investissements lourds de protection (CAPEX), il faut aussi garder à l'esprit les moyens financiers mobilisables pour assurer les coûts d'exploitation (OPEX) et poursuivre les travaux de maintenance/entretien et d'investissements moins importants.

De manière à financer la GEMAPI, le législateur a prévu que les collectivités puissent instaurer une taxe d'un montant maximum de 40 euros en 2018, mais les collectivités adhérentes du SMOP ont souhaité minimiser cette nouvelle charge en limitant un montant qui s'étale de 10,16 euros par habitant (CC Vaison Ventoux - 2018), 12,84 euros (CC Sorgues du Comtat 2019) à presque 21,70 euros (CC du Pays Réuni d'Orange - 2018).

Dans sa délibération, la communauté de commune ou la métropole vote en réalité un montant total annuel de taxe Gemapi. Ce montant voté par l'intercommunalité est lié :

- A deux critères physiques, le linéaire de cours d'eau et la surface sur le bassin versant
- Et deux critères de solidarité, la population DGF (Dotation Globale de Fonctionnement) et le potentiel fiscal réparti sur les 4 taxes locales (impôts fonciers sur le bâti et le non bâti, taxe d'habitation, cotisation foncière des entreprises) en fonction des recettes que ces taxes ont procuré l'année précédente.

A noter que selon une enquête de l'Assemblée des communautés de France (AdCF), rendue publique en avril 2018 et à laquelle 460 communautés et métropoles ont répondu, les intercommunalités ont voté, en moyenne, une taxe Gemapi comprise entre 5 et 8 euros pour 2018.

2.2.3 Equipe technique du syndicat

Pour assurer toutes ces activités, l'équipe technique du SMOP est composée de 7 personnes placées sous l'autorité du Président, équipe composée :

- De deux agents sur le terrain assurent des chantiers d'entretien de la végétation et une surveillance régulière des cours d'eau. Ils assurent le lien entre les riverains, les élus de terrain et le syndicat ;
- un technicien rivière/digues en accompagnement sur les thématiques de gestion des systèmes d'endiguement, ouvrages et aménagements hydrauliques, et de gestion des milieux aquatiques (rivières et zones humides) sur le bassin versant ;
- D'un ingénieur animateur des actions de prévention des inondations, interface avec les services de l'Etat et les communes pour faciliter la mise en œuvre des outils réglementaires. Il intervient sur des actions de communication, de sensibilisation, de connaissance et de réduction de vulnérabilité ;
- Un ingénieur hydraulicien pour assurer la gestion des digues, des ouvrages et aménagements hydrauliques ;
- Un agent administratif et comptable pour épauler toute l'équipe technique ;
- Et un directeur pour mener la politique globale de gestion durable et concertée de l'eau et des milieux aquatiques sur le bassin versant de l'Ouvèze et fédérer les acteurs du bassin autour de cette même vision ;

Cette description est rendue nécessaire pour cerner les moyens humains disponibles pour une astreinte prévisionniste si elle le devait être envisagée. Si les compétences hydrométéorologiques sont bien représentées, il nous faut mentionner l'absence de compétences informatiques et météorologiques pour assurer le maintien opérationnel d'un dispositif d'avertissement aux crues.

2.3 L'OUEZE ET LE RISQUE INONDATION

Comme nous l'avons déjà mentionné, le bassin de l'Ouvèze connaît un climat méditerranéen et ses caprices hydrométéorologiques sont faits de périodes de sécheresse et de cours d'eau en assecs, d'orages violents et de rivières en crues. La crue majeure du 22 septembre 1992, la plus forte connue sur l'amont du bassin, a largement marqué les mémoires des Français par sa violence qui a causé la mort de 41 personnes. Vaison la Romaine en 1992, Nîmes en 1998, le département du Gard en 2002 ont été certainement à l'origine de l'organisation de la gestion des crues telle qu'elle existe aujourd'hui.



Figure 8 Montée de la crue en 2 heures au pont romain de Vaison la Romaine –septembre 1992 (source SPCGD)

2.3.1 Communes affectées

Sur le département du Vaucluse, 25 communes sont affectées par les caprices de l'Ouvèze, et chacune a fait l'objet de plusieurs déclarations de Catastrophes Naturelles (Cat-Nat) inondations sur les 30 dernières années :

Source (<https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/les-arretes>)

Commune	Nombre de Cat-Nat Inondations	Date déclaration CATNAT 1	Date déclaration CATNAT 2	Date déclaration CATNAT 3	Date déclaration CATNAT 4
Aurel	3	21/11/1994	08/03/1994	30/11/1982	
Beaumont du Ventoux	3	12/12/2003	12/10/1992	30/11/1982	
Bedarrides	12	02/03/2020	09/02/2009	12/12/2003	17/01/2003
Brantes	4	05/03/2004	21/11/1994	26/01/1994	30/11/1982
Courthézon	5	12/12/2003	19/09/2002	12/10/1992	14/01/1992
Entrechaux	5	21/12/2011	12/12/2003	19/09/2002	12/10/1992
Faucon	5	12/12/2003	26/01/1994	12/10/1992	18/07/1986
Gigondas	2	12/10/1992	30/11/1982		
Jonquières	4	12/12/2003	19/09/2002	12/10/1992	30/11/1982
Le Crestet	2	12/10/1992	30/11/1982		
Malaucène	7	12/12/2003	19/09/2002	21/11/1994	19/03/1993
Puyméras	3	12/12/2003	12/10/1992	30/11/1982	
Rasteau	5	13/03/2009	12/12/2003	19/03/1993	12/10/1992
Roaix	6	27/02/2014	12/12/2003	19/09/2002	18/08/1995
Sabiet	5	09/02/2009	19/09/2002	12/10/1992	02/12/1987
Sarrians	13	23/12/2015	19/10/2011	09/02/2009	12/12/2003
Saint Léger du Ventoux	4	05/03/2004	21/11/1994	08/03/1994	30/11/1982
Saint Marcellin les Vaison	3	17/12/2002	12/10/1992	30/11/1982	
Saint Romain en Viennois	3	12/12/2003	12/10/1992	30/11/1982	
Savoillan	5	20/07/2009	05/03/2004	21/11/1994	26/01/1994
Séguret	8	13/03/2009	12/12/2003	19/09/2002	11/10/1993
Sorgues	11	13/03/2009	12/12/2003	17/01/2003	19/09/2002
Vacqueyras	2	12/10/1992	30/11/1982		
Vaison-la-Romaine	8	12/12/2003	21/11/1994	26/01/1994	29/11/1993
Viols	5	12/12/2003	26/01/1994	12/10/1992	02/12/1987

Figure 9 Communes du bassin (département Vaucluse) ayant fait l'objet de CAT-NAT inondations

Sur le département de la Drôme, certaines communes sont elles aussi touchées par l'Ouvèze et ont fait l'objet de déclarations de Catastrophes Naturelles (Cat-Nat) inondations sur les 30 dernières années :

Commune	Nombre de Cat-Nat Inondations	Date déclaration CATNAT 1	Date déclaration CATNAT 2	Date déclaration CATNAT 3	Date déclaration CATNAT 4
Buis les baronnies	3	12/04/1994	12/10/1992	18/11/1982	
Eygalières	5	11/01/2005	12/04/1994	12/10/1992	18/11/1982
La Penne sur l'Ouvèze	3	12/04/1994	12/10/1992	18/11/1982	
Mollans sur Ouvèze	5	11/01/2005	12/04/1994	12/10/1992	18/11/1982
Pierre Longue	3	12/04/1994	12/10/1992	18/11/1982	

Figure 10 Communes du bassin (département Drôme) ayant fait l'objet de CAT-NAT inondations

2.3.2 Typologies des événements hydrométéorologiques

Les phénomènes météorologiques auxquels sont confrontés les territoires méditerranéens sont pour les principaux :

- Des phénomènes cévenols ou méditerranéens : l'essentiel de la pluviométrie, très intense et très localisée, concerne les bassins cévenols ou les plaines méditerranéennes, dont les pointes de crues très remarquables peuvent conduire à des crues majeures, notamment sur l'extrême aval du Rhône.
- Des phénomènes méditerranéens dits extensifs : les pluies, moins intenses que sur les phénomènes précédents, concernent un plus grand nombre voire la totalité des bassins rives droite et gauche sur le Rhône en aval de Lyon. Ce type d'évènement peut conduire, là encore, à des pointes de débits très remarquables, y compris sur le Rhône aval.



Figure 11 Clichés espacés de 30 secondes lors de la crue de Juillet 2013 du Toulourenc (source SPCGD)

Cela conduit à des phénomènes d'inondations, principalement :

- des inondations rapides Elles se forment dans une ou plusieurs des conditions suivantes : averse intense à caractère orageux et localisé, pentes fortes, vallée étroite sans effet notable d'amortissement ni de laminage. La brièveté du délai entre la pluie génératrice de la crue et le débordement rend difficile l'alerte et l'évacuation des populations. Les hauteurs d'eau et surtout les vitesses d'écoulement représentent des facteurs de risques et de danger aggravés.
- Et sur les plaines, des inondations plus lentes. Ces inondations, à gradient de montée lente du niveau d'eau, touchent la base du bassin versant et résultent de crues provoquées par l'influence du Rhône : modification de la condition limite aval. La durée de submersion devient alors un critère important à considérer dans la gestion de la crise ;
- **Initialement**, les inondations par les vallats (petits ruisseaux en Provence) n'étaient intégrées dans le périmètre du projet. Lors des rencontres avec les communes de Vaison la Romaine et Buis les Baronnie, ont été exposées les crues violentes nées dans ces petits cours d'eau qui traversent les zones urbanisées des communes.

Ces vallats présentent de fortes pentes et sont généralement à sec une grande partie de l'année. Mais des crues peuvent se produire à la suite d'un violent orage et elles sont d'autant plus dangereuses qu'elles peuvent être accentuées par des embâcles ou d'accumulations massives de matériaux stockées faute d'entretien du cours d'eau.

Selon le SPCGD : « Hormis le Rhône et la Durance, l'ensemble du linéaire surveillé sur le département du Vaucluse a un temps de réponse court (< 6 heures) d'où la qualification de bassins à réaction

rapide et crues éclairs pour qualifier les phénomènes sur le bassin de l'Ouvèze ».

Commentaires :

Ne seront pas considérées dans le projet :

Les inondations par ruissellement urbain hors vallats. Ces inondations sont dues à des écoulements, sur la voirie, de volumes d'eau ruisselés sur le site ou à proximité, qui ne sont pas absorbés par le réseau superficiel et souterrain. Elles sont souvent la conséquence d'orages violents et les débordements surviennent très rapidement par dépassement de la capacité ou par obturation des fossés et canalisations enterrées.

Ne seront pas considérées dans le périmètre réglementaire du SPC-GD

Les inondations par les vallats car considérées comme un phénomène très local relevant de la responsabilité des communes, et pour la situation actuelle, la partie Drômoise du bassin de l'Ouvèze.

Ces vallats doivent-ils faire partie du périmètre du futur SDAL Ouvèze ?

2.3.3 Les crues historiques de l'Ouvèze Provençale

Des grandes crues sont mentionnées à partir du XVII^{ème}, notamment celles du 21 août 1616 (niveau supérieur au parapet du pont Romain à Vaison-La-Romaine) et du mois d'Août 1684 (inondations de Violès, Jonquières, Courthézon...)

Des fortes crues ont également marqué le XIX^{ème}, notamment celle de novembre 1802 où Sablet, Gigondas et Bédarrides sont inondées, avec la mention d'une crue en août de la même année, trois crues successives 27 août, 26 octobre et 10 novembre 1886 où les communes de Roaix, Rasteau, Séguret, Gigondas, Violès, Courthézon et Bédarrides ont été touchées.

Pour le XX^{ème} siècle, plusieurs crues fortes ont marqué le bassin, notamment celle d'octobre et novembre 1907 (crue forte à Vaison la Romaine, toutes les communes touchées d'Entrechaux jusqu'à Bédarrides avec 2 mètres d'eau dans le village), celle du 24 septembre 1924 (fortes inondations à Bédarrides, voie ferrée coupée), puis celle de novembre 1935 (toutes les communes touchées d'Entrechaux à Bédarrides, avec mentions de brèches de digues).

La crue du 20 novembre 1951 est aussi importante sur Vaison la Romaine et sur l'aval où Bédarrides et Sorgues sont submergées du fait d'une concomitante avec une crue du Rhône. Le débit à Bédarrides est estimé à 500 m³/s.

Enfin, la crue majeure (et plus forte crue connue sur l'amont du bassin) du 22 septembre 1992 qui a largement marqué les mémoires sur le bassin, avec 41 victimes et un débit estimé à Vaison-La-Romaine entre 1000 et 1300 m³/s.

La dernière grande crue connue sur le bassin est celle du 3 décembre 2003, qui est restée inférieure à celle de 1992, mais a entraîné des dégâts importants dans le secteur aval (Bédarrides-Sorgues), en lien avec la très forte crue du Rhône.

Mais, en dépit d'un historique chargé, c'est en réalité bien plus la vulnérabilité (risque de pertes de vies humaines ou coût des dommages pour une crue de référence), que l'aléa (intensité des phénomènes de crue) qui a augmenté ces dernières années, extension urbaine, diminution des champs d'expansion des crues, aménagement hasardeux des cours d'eau (extraction de granulats, protection de berge) favorisait un écoulement rapide localement sans se soucier des conséquences hydrauliques amont/ aval, ou encore changement de pratiques culturelles et d'occupation des sols (suppression des haies, diminution des prairies au profit des cultures, manque d'entretien des cours d'eau, recalibrage et création de fossés (drainage)).

L'historique des crues de l'Ouvèze et de ses affluents est donc très évocateur du risque encouru sur le territoire. Si la mémoire des hommes s'efface, il faut entretenir la mémoire des inondations et les inscrire durablement dans l'urbain, pour se souvenir et comprendre, car « toute connaissance est réponse à une question. » (Gaston Bachelard).



Figure 12 Repères de crues sur les façades de Bedarrides.

Le bassin versant de l'Ouvèze dispose d'un inventaire conséquent de plus de 600 marques de crues historiques, principalement sur les communes de la partie aval du bassin. Si cette connaissance apparaît pléthorique, elle reste toutefois à pérenniser et à consolider dans de nombreux cas, et près d'une centaine de marques de crue va être expertisée et vérifiée en concertation avec les communes concernées. Les marques les plus importantes donneront lieu à l'installation de repères de crue réglementaires dans le cadre d'un marché actuellement en cours (juillet 2021).



Figure 13 Macaron repère de crues Ouvèze

Dans la suite du présent document, nous évoquerons une crue moins importante, le 20 décembre 2019, mais qui fait référence par sa survenue encore présente dans la mémoire de chacun. Cette crue est intéressante à étudier non sous un aspect purement hydrométéorologique, mais comme un scénario du déroulement d'une gestion de crise, ou plus exactement sur les services et équipements qui ont correctement fonctionné et ceux qui ont défailli.

2.3.4 Le réseau réglementaire du Service de Prévision des Crues Grand Delta

Dans son R.I.C. (Règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'Information sur les Crues), le SPC Grand Delta (Service Prévision des Crues) reprend une description de l'Ouvèze avec une consonance plus marquée sur la vulnérabilité, et décrit toujours le bassin selon les deux faciès morphologiques très distincts :

- Le bassin amont (jusqu'à Vaison-La-Romaine) caractérisé par un paysage de moyennes montagnes où s'écoulent des rivières torrentielles, notamment son affluent principal le Toulourenc (170 km²),
- Le bassin aval (en aval de Vaison) où se forme une plaine alluviale qui s'élargit rapidement jusqu'au resserrement morphologique de Bédarrides. Cette partie du bassin ne comporte pas d'affluent notable, hormis l'apport de la plaine des Sorgues au droit de Bédarrides, générant des apports généralement modérés en débit, mais souvent durable dans le temps, par ressuyage d'un volume d'eau très important. La confluence au Rhône se fait 7 km en aval de Bédarrides.

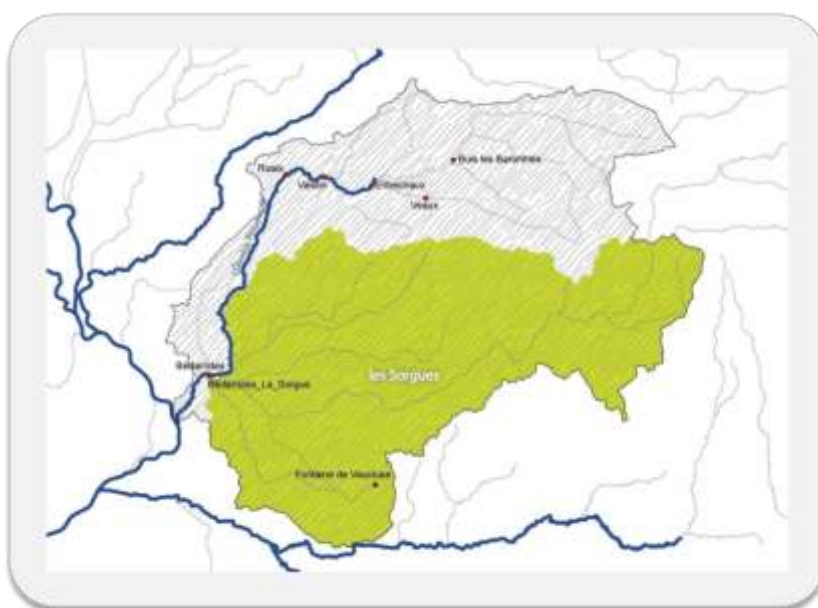


Figure 14 : Schéma du bassin versant de l'Ouvèze Provençale (Source : SPC Grand Delta)

Dès l'amont du bassin les premières vulnérabilités se présentent : Buis-les-Baronnies, protégée par des digues, des zones d'habitat diffus sur Mollans-Sur-Ouvèze puis la plaine d'Entrechaux et ses campings. La commune de Vaison-La-Romaine est particulièrement sensible aux crues, les lieux habités et les secteurs d'activités occupent grandement le lit majeur de la rivière.

Enfin, dans la moitié aval, la plaine alluviale présente également des vulnérabilités très sensibles, notamment sur les communes entre Roaix et Bédarrides, où de larges débordements sont possibles (Violès, Jonquières, Courthézon, Bédarrides...). Plus proche de la confluence au Rhône, la commune de Sorgues est particulièrement inondable en cas combinaison défavorable des crues des 2 cours d'eau.

Les crues historiques montrent que l'Ouvèze fait partie des cours d'eau Français dont les crues sont meurtrières et engendrent des dégâts économiquement très importants.

Pourtant, seule l'Ouvèze « vauclusienne » est réglementairement surveillée par l'État (SPC Grand Delta) qui dispose de cinq (5) stations de mesure sur l'Ouvèze, une (1) sur le Toulourenc et deux (2) sur la Sorgue dont une (1) à sa confluence avec l'Ouvèze. Le secteur des Sorgues n'est pas, lui non plus réglementairement surveillé par l'État.

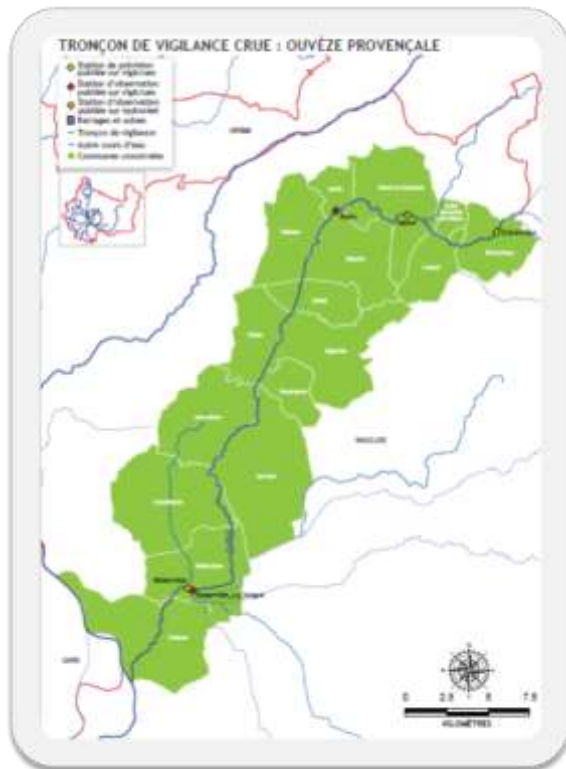


Figure 15 Réseau réglementaire du SPC Grand Delta

Le R.I.C. (annexe 4) du SPC précise clairement les communes rattachées à son réseau réglementaire :

- Bedarrides
- Courthézon
- Crestet
- Entrechaux
- Gigondas
- Jonquières
- Rasteau
- Roaix
- Sablet
- Sarrians
- Seguret
- Sorgues
- Vacqueyras
- Vaison la Romaine
- Saint Marcellin les Vaison
- Violes

Et une prévision quantitative (annexe 6) :

- De 5,5 heures à Vaison la Romaine
- Et 5 heures à Bedarrides

Ce réseau réglementaire relève d'un choix, lors de la création des Services de Prévision des Crues (SPC) en 2003, quant à la détermination des cours d'eau sur lesquels l'Etat a souhaité organiser la surveillance, la prévision et la transmission de l'information sur les crues. Cette sélection des cours d'eau a suivi certaines règles¹.

En premier lieu, la fonction de prévision et d'alerte assurée par l'Etat est destinée à répondre à l'intérêt général dès lors qu'il s'agit d'enjeux significatifs répartis sur une étendue suffisante, et dès lors que la prévision hydrologique apporte une réelle plus-value par rapport à la prévision météorologique.

A l'inverse, des enjeux, soit minimes, soit significatifs mais essentiellement limités à une seule commune ou une seule agglomération relèvent préférentiellement de l'initiative de cette commune ou de cette agglomération.

Ces principes s'appliquent s'il s'agit de phénomènes relevant directement de l'hydraulique urbaine et également s'il s'agit d'un petit cours d'eau ne présentant pas d'enjeu significatif en dehors de l'agglomération.

Ces choix se sont appuyés alors sur :

- Une évaluation des risques et enjeux (risques significatifs pour les vies humaines et enjeux économiques et sociaux majeurs) conduite par les différentes DIREN, permettant d'identifier les périmètres à enjeux significatifs répartis sur une étendue suffisante.
- Une analyse des alertes et crise antérieures qui a permis d'évaluer la faisabilité technique de la mise en place d'un système de prévision par l'Etat, de s'assurer de la continuité géographique le long des cours d'eau et de distinguer les zones à enjeux locaux (commune ou agglomération) et enjeux à plus grande échelle.

¹ Les services de prévision des crues (SPC) Dominique Chatard La Houille Blanche 2005

Ces analyses ont permis de classer ces cours d'eau en plusieurs catégories :

- Les tronçons de cours d'eau sur lesquels l'Etat assurait l'annonce des crues réglementaires.
- Les tronçons de cours d'eau sur lesquels une collectivité locale assure l'annonce des crues; lorsque le dispositif mis en place est suffisamment élaboré et cohérent avec les dispositifs de l'Etat, il sera intégré au schéma directeur.
- Les tronçons de cours correspondant à des zones à enjeux significatifs sur une zone étendue et sur lesquels des études d'approfondissement sont nécessaires (aussi bien au niveau de la caractérisation des enjeux que de la pertinence de la mise en place d'un dispositif d'alerte) ;

Les décisions nées des principes et l'application des critères pour les mettre en œuvre ont été repris dans les articles L564-1 à L564-3 du code de l'environnement (codification de l'article 41 de la loi risques du 30 juillet 2003) qui prévoient que l'organisation de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'Etat, pour les cours d'eau les plus importants. Ceci, en raison des particularités de leur fonctionnement hydrologique, du nombre des communes et des dommages potentiels concernés par les zones qu'ils peuvent inonder, lorsque leur anticipation est techniquement possible à un coût économiquement acceptable.

Mais des évolutions peuvent être envisagées par le changement des attentes de la population et des gestionnaires de crises hydrologiques, la modernisation des outils développés et des procédures mises en place pour y répondre. Telles étaient les attentes de la circulaire du ministre d'Etat de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire du 4 novembre 2010.

Lors de la réunion du 24 septembre 2021, a été évoquée la possibilité d'étendre le périmètre réglementaire du SPC sur le bassin versant de l'Ouvèze. Un plan stratégique Prévisions crues 2021-2024 établi par les services de l'Etat, propose à un horizon de 5 ans, une évolution du cadre réglementaire avec différents niveaux de service pour tous les tronçons hydrographiques présentant un linéaire supérieur à 10 kilomètres (données BD carthage).

Niveau	Vigilance	Observations	Prévisions
1	Oui	Oui	Quantitative
2	Oui	Oui	Qualitative
3	Oui Surfactive		

Figure 16 niveaux de services prévision - plan stratégique

La vigilance surfactive n'exploitera que les données de prévision pluviométriques. Quant à la prévision qualitative, elle peut être elle aussi assimilée au code couleur actuellement mise en œuvre sur Vigicrues. La grande évolution va donc être la couverture de ces services sur la totalité du territoire Français.

Si ces évolutions sont bénéfiques, elles n'offrent qu'une réponse partielle aux attentes du SMOP pour la gestion des crues et inondations sur le bassin de l'Ouvèze, la partie « Dromoise » (amont) reste à priori sur une prévision Surfactive. Les discussions ont toutefois porté sur la faisabilité d'une prévision très courte échéance (15 mn) pour la commune de Buis les Baronnies en exploitant l'outil de prévision du SPCGD.

2.3.5 Ouverture à des dispositifs locaux d'avertissement aux crues

Les règles édictées lors de la création des Services de Prévision des Crues ont laissé la possibilité aux collectivités locales ou leurs groupements, sous leur responsabilité et pour leurs besoins propres, de mettre en place des dispositifs de surveillance et de prévision complémentaires, notamment sur les cours d'eau ne constituant qu'un enjeu local au regard du risque inondation.

Ceci a notamment été évoqué lors de la réunion du 24/9/2021 (SPCGD – SMOP) pour les Vallats et autres débordements pluviaux, que le SPC GD n'endosse pas dans son périmètre réglementaire.

Sur ces secteurs, la cohérence et la complémentarité doivent être assurées entre les dispositifs mis en œuvre par l'Etat et ceux mis en œuvre par les collectivités locales, afin que les collectivités locales puissent accéder aux données des réseaux de mesure de l'Etat et que, réciproquement, les SPC

accèdent aux données des réseaux mis en place par les collectivités.

Les collectivités locales souhaitant mettre en place de tels dispositifs devront préalablement se rapprocher du SPC compétent sur leur territoire afin de préciser les modalités, notamment techniques, de mise en œuvre du dispositif projeté permettant d'assurer cette cohérence. Une convention sera établie entre le SPC et la collectivité précisera les modalités de réalisation du dispositif et d'échanges réciproques de données.

Dans le Schéma directeur de prévision des crues du bassin Rhône-Méditerranée (Janvier 2012), sont précisées les conditions de cohérence des dispositifs. Les cours d'eau, portions de cours d'eau ou estuaires pour lesquels les collectivités mettent en place un dispositif d'alerte sont disjointes de ceux qui ont fait l'objet d'une surveillance, d'une prévision et d'une transmission d'information par l'État ou ses établissements publics, afin d'éviter tout risque d'incohérence dans l'alerte transmise aux organisations détentrices d'un pouvoir de police ou de l'information mise à disposition du public. Inversement, sur un même cours d'eau ou estuaires, la complémentarité doit être recherchée afin d'éviter l'existence d'une zone non surveillée.

Chaque RIC définit les règles techniques que doivent respecter les collectivités territoriales ou leurs groupements disposant ou installant des dispositifs de surveillance des crues de certains cours d'eau ou zones estuariennes, pour garantir la cohérence des dispositifs qu'ils mettent en place avec ceux de l'État. Les collectivités souhaitant mettre en place des dispositifs de surveillance devront donc se rapprocher du SPC afin de vérifier la cohérence du dispositif envisagé et d'étudier les modalités techniques d'échanges réciproques de données.

2.3.6 Le réseau hydrométrique et la prévision SPC-GD

Le projet n'a pas vocation à dupliquer les investissements et les charges d'exploitation. Le SDAL doit donc s'appuyer tant que possible sur les équipements et les services du SPC-GD.

2.3.6.1 Souhaits du SMOP et expression des communes rencontrées

Le SDAL Ouvèze envisagé par le SMOP entend assurer une prévision et un suivi des crues de l'Ouvèze dans tous les secteurs qui subissent ses caprices, et notamment sur l'amont hors du réseau réglementaire, comme Buis les Baronnies qui subit aussi les assauts de l'Ouvèze et des vallats qui traversent son territoire.

Les différentes communes rencontrées lors de cette étude ont évoqué des délais d'anticipation de l'évènement, pour mobiliser les équipes de gestion de crise puis appliquer les directives du plan communal de sauvegarde. La commune de Bedarrides a évoqué un besoin de « prévenance » de 6 heures, Vaison un minimum de 2 à 3 heures. Buis les Baronnies, hors réseau réglementaire SPC-GD n'a pas évoqué de délai de prévision puisque ce service n'est pas disponible pour leur territoire en 2021, mais a exprimé un délai plus important pour la mise en vigilance, si possible élargie à 24 heures.

Toutes ces communes sont conscientes de la possibilité d'être confrontées à des fausses alertes à répétition sur les prévisions. L'expérience montre que les prévisions locales de pluie fournies par Météo France sont correctes 90 % du temps avec un horizon de prévision de 3 heures (évacuation possible) et 100% du temps à un horizon de 1 heure (trop tard pour évacuer).

Toute prévision hydrologique Pluie/Débit ne pourra qu'amplifier cette erreur, sauf à pourvoir les minimiser au fil de l'évènement en « collant » le plus possibles aux débits mesurés en temps réel sur le cours d'eau.

Cette capacité « d'assimilation de données » (terme habituellement utilisé pour décrire cette fonction) doit être une priorité dans le choix du logiciel de prévision des crues.



Figure 17 Enjeux principaux (en rouge), réseau de mesure en temps réel du SPCGD

2.3.6.2 Le réseau hydrométrique SPCGD

Nous avons pu visiter quelques stations du réseau SPCGD qui amènent quelques interrogations quant à leurs conditions d'installation.



Figure 18 pluviomètre à la station de Buis les Baronnies

L'information pluviométrique délivrée par la station de Buis les Baronnies, doit être utilisée avec précaution, plus comme un indicateur qu'une mesure pluviométrique. Le capteur ne respecte pas nombre de recommandations édictées par l'Organisation Mondiale de la Météorologie : capteur sous l'antenne, capteur à proximité immédiate d'une voie de circulation et de végétation (arbre) faisant obstacle sur une largeur angulaire supérieure à 10°.

Lors de la réunion du 24/09/2021, le SPCGD a mentionné que tous ces sites pluviométriques étaient exploités pour permettre un recalage « in situ » de la lame d'eau radar exploité par le logiciel Calamar (Rhea-Kisters). Aujourd'hui ce logiciel est mis en second plan avec la mise à disposition des données Panthère (MétéoFrance) qui offre la mosaïque des images radars calées avec des données in-situ.

Le SPCGD précise que ces pluviomètres sont qualifiés « classe 3 ou 4S » par MétéoFrance, soit Classe 3 (erreur supplémentaire due au site inférieure ou égale à 15%) et Classe 4 (erreur supplémentaire

due au site inférieure ou égale à 25%)² pour un usage spécifique (S).

Les sites pluviométriques du SPCGD ont été implantés pour satisfaire aux conditions de mesures des plus fortes pluies et de l'auto-éveil et non faire des statistiques climatologiques. A ce titre leur installation est un compromis entre limitation du vandalisme et efficacité opérationnelle, et le taux d'erreur de mesure est jugé acceptable par le SPCGD en regard du type de précipitation rencontré.

Le capteur limnimétrique de cette même station est installé à mi-hauteur de l'arche du pont, sachant que la technologie du capteur (radar) impose une distance minimale entre le capteur et la surface en eau (bande morte de 20 à 40 cm selon les équipements). Ce choix d'installation limite la hauteur maximum mesurable et doit être comparée avec les plus hautes eaux connues (voire le débit maximum - estimation Shyreg retour 100 ans par exemple et la hauteur associée).

Figure 19 Limnimètre à la station de Buis les Baronnies



Le SPCGD a mentionné lors de la réunion que cette station allait être déplacée en amont immédiat de la commune de Buis les baronnies, plus exactement sur le pont en proximité de la place de Verdun dans le centre-ville. Ce site a été choisi car il dispose d'un seuil béton qui offre une section hydraulique stable. Le SMOP a mentionné qu'une étude était en cours pour « effacer » ce seuil (ou le modifier) pour assurer la continuité écologique du cours d'eau.



Figure 20 Nouveau site potentiel pour Buis les Baronnies (SPCGD).

Ce site en proximité immédiate du système d'endiguement permettrait une bonne anticipation du risque de surverse. De plus, ce site est envisagé par le SPCGD car il offre un meilleur contrôle en

² http://ccrom.meteo.fr/ccrom/IMG/pdf/NT035B_V_Nov_2014-3.pdf

basses eaux notamment.

Lors de la réunion, le SPCGD a proposé d'interfacer le réseau hydrométrique du futur SDAL SMOP avec sa propre infrastructure de télécommunication radio. Le SPCGD a mentionné des taux de disponibilités télécommunications à 96% pour le cycle 5 minutes et 98% pour le cycle 15 minutes avec rattrapage des données 5 mn.

Appliqués à une crue sur 24 heures, ces taux indiquent une absence de télécommunications de presque 1 heure pour le cycle 5 mn et 30 minutes pour le cycle 15mn (avec perte définitive d'informations 5 mn non remontées). Nous le verrons dans la suite de ce document, notre objectif est l'atteinte de 99,99% (soit 1,44 mn sur 24 h) taux usuels en termes de télécommunication.

Le choix de rattacher le SDAL SMOP au réseau télécom du SPCGD ne semble pas une priorité, tant en regard des coûts (redevance frais de fréquence d'environ 2700 euros/an environ pour le SMOP), des performances du réseau (disponibilité et débit), de stratégies d'investissements car le réseau SMOP sera dépendant des évolutions futures du réseau SPCGD.

Nous avons donc évoqué les stations du SPCGD pour un usage à la gestion des crues. Mais le SPCGD diffuse la totalité des données hauteur dont il dispose, que ce soit en crue ou hors crue, avec toutefois la contrainte, sur les faibles hauteurs, que le calcul du débit soit tronqué du fait d'une impossibilité de donner une valeur fiable au regard de la marge d'erreur de la mesure.

Les stations SPCGD peuvent donc être de bons points de suivi des étiages comme nous venons de l'évoquer pour le futur site de Buis les Baronnies ou encore l'actuelle station de Mollans sur le Toulourenc.

2.3.6.3 La vigilance et la prévision de crues du SPCGD

Comme nous l'avons mentionné auparavant, le SPCGD assure la vigilance et la prévision des crues sur son réseau réglementaire. Pour mieux faire le distinguo :

- La vigilance hydrologique est l'évolution maximale probable des hauteurs d'eau sur un tronçon donné à 24h selon un scénario de pluie fourni par Météo-France et en considérant l'état initial des cours d'eau avant l'entrée dans le scénario ;
- La prévision de crue est une hauteur ou le débit à une station de référence envisagée dans les quelques heures à venir (horizon de prévision) mais avec une incertitude plus resserrée qu'en vigilance grâce aux modèles hydrologiques ou hydrauliques spécifiquement développés pour chaque cours d'eau du territoire ;

Ces prévisions (ou tendances) sont affichées par le SPCGD sur Vigicrues sous forme graphique pour les stations Vaison et Bédarrides en période de crues, et pour les autres stations Entrechaux, Roiax, Veaux, à priori visualisées sous forme de code couleur (vert, jaune, orange, rouge) gradué en fonction du niveau de risque encouru.

En vigilance publiée 7j/7 à 10h et 16h sur www.vigicrues.gouv.fr, s'affiche la forte probabilité d'observer dans les prochaines 24h une crue de niveau :

- VERT : Pas de vigilance particulière requise
- JAUNE : Risque de crue génératrice de débordements et de dommages localisés ou de montée rapide et dangereuse des eaux, nécessitant une vigilance particulière notamment dans le cas d'activités exposées et/ou saisonnières
- ORANGE : Risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des biens et des personnes
- ROUGE : Risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens

En période de crues, et donc de prévision, la carte de vigilance crues est actualisée avec :

- Un accès aux bulletins d'information en période de crue et aux prévisions
- Un accès aux mesures des stations en temps réel (données à 5 minutes)
- Et pour les sites de prévision concernés, l'affichage avec les barres d'erreurs des prévisions à court terme ;

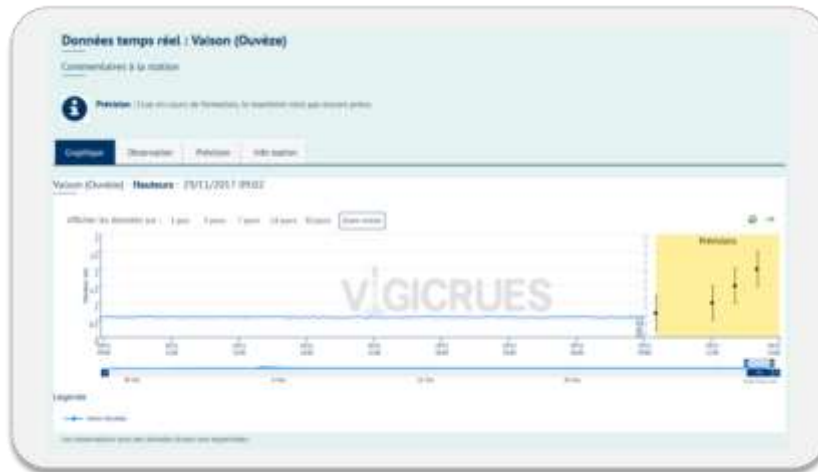


Figure 21 Affichage Prévisions Vaison la Romaine (pavé jaune) à un horizon de 6 heures (Vigicrues)

Cet affichage n'est effectif qu'après la validation par le prévisionniste SPC, de la prévision par la vérification de sa concordance avec le forçage météorologique et les premières mesures de débits observées en rivière.

Commentaires :

Les besoins en termes de prévision couvrent tout le linéaire de l'Ouveze et notamment sur les zones endiguées où la connaissance de la hauteur au pic de crue est essentielle pour anticiper les possibles surverses. Le code couleur du risque ne peut être qu'un indicateur de vigilance, l'information du débit et donc de la hauteur, même entachée d'une erreur importante, est essentielle avec un horizon de prévision suffisant pour assurer l'évacuation des zones potentiellement vulnérables.

2.3.6.4 Les outils de prévision de crues du SPCGD

2.3.6.4.1 Modèle hydrologique Alhtair

L'outil de prévisions hydrologiques utilisé aujourd'hui par le SPCGD est ALHTAIR (Alerte Hydrologique Territoriale Avec Indicateur de Risque) développé initialement en partenariat avec l'Ecole des Mines d'Alès. Alhtair est intégré dans la Plate-forme Opérationnelle pour la Modélisation élaborée par le SCHAPI (service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations).

ALHTAIR est un modèle hydrologique avec une fonction de production (double réservoir, un pour l'infiltration et un second rajouté pour considérer une « pré-imbibition » de la couche superficielle du sol) et d'une fonction de transfert propageant les débits à l'exutoire sur la base du temps de transfert calculé à partir de la maille.

Du fait de la réactivité de la fonction de transfert, et la non prise en compte de phénomène hydraulique le long du cheminement, le modèle est calé pour l'ensemble du territoire du SPCGD mais uniquement utilisable sur les bassins à fortes pentes et d'une superficie inférieure à 500 km².

2.3.6.4.2 Modèle hydrologique GRP

Nous décrivons ci-après le modèle retenu par tous les SPC métropolitains (sauf SPCGD), modèle qui été calé par l'INRAE par le passé. Il est intéressant de voir les approches et les difficultés rencontrées, écueils auxquels nous pourrions être confrontés lors de la mise en œuvre d'un outil de prévision.

A) Commentaires généraux et spécificités de l'Ouveze

L'étude³ de 2010 (réalisé par le CEMAGREF devenu IRSTEA et maintenant INRAE) établissait la faisabilité de la mise en œuvre opérationnelle du modèle de prévision des crues GRP sur des affluents du Rhône aval et notamment l'Ouvèze provençale.

Ce document offre tout d'abord une description méthodologique qu'il sera intéressant de suggérer dans des termes de référence pour la mise en place d'un outil opérationnel de prévision des crues, mais il soulève aussi tout un lot de difficultés techniques.

L'analyse hydrologique de l'étude a permis de caractériser, par une méthode hydrologique, les temps moyens de réaction des bassins versants aux pluies. Ces **temps de réaction** sont inférieurs ou égaux à **6 heures** pour les bassins étudiés. Pour un objectif de **prévisions de 12 à 24 heures**, il est donc clair que les **prévisions de débit** seront largement **dépendantes** de la **qualité des prévisions de pluie**.

B) Liste des stations

Un travail de collecte des mesures hydrométéorologiques a permis la constitution d'une base de données continue au pas de temps horaire regroupant, sur les périodes les plus longues possibles, les données de débit sur les stations hydrométriques et les données de pluie sur les postes pluviométriques correspondant à ceux accessibles en temps réel.

Pour l'Ouvèze, la station de Vaison-la-Romaine pour une surface de bassin versant de 585 km², des caractéristiques physiques du bassin avec un relief assez marqué avec des altitudes allant jusqu'à près de 2000 m au Mont Ventoux. Ces bassins sont soumis à un climat à influences méditerranéenne, avec des influences de montagnes et la présence de couverts neigeux temporaires (à priori très peu fréquent sur le Ventoux). Les événements de pluie de forte intensité sont majoritairement à l'origine des crues les plus fortes.

Pour estimer les précipitations en temps réel, le modèle a été calé avec six (6) pluviomètres et sur une période s'étalant de 2000 à 2008, soit une moyenne de 98 km² par poste. Les sites pluviométriques retenus étaient Buis les Baronnies, Entrechaux, Mont Serein, Veaux, Vaison la Romaine et Saint Auban sur l'Ouveze (cette dernière ne semble plus exister aujourd'hui au sein du SPC mais chez Météo France).

L'analyse des données hydrométriques a permis d'observer sur certaines stations des oscillations des débits causées par les ouvrages hydrauliques, particulièrement en période d'étiage (observées sur les stations de l'Eyrieux, l'Ardèche et l'Ouvèze notamment). L'étude a ainsi considéré les chroniques de débit de l'Ouvèze de qualité moyenne, et ceci invite à orienter la prévision hydrologique au contexte de crues, et considérer plus comme « indicative » la prévision hydrologique en étiages car cela nécessiterait d'équiper les prises d'eau irrigation pour atténuer les oscillations.

C) Remarques sur les fonctions de prévision

L'analyse des données pluviométriques impose, d'une manière générale, la disponibilité des postes pluviométriques correspondant à celles des données de hauteurs/débits. Les conditions de calage du modèle sont donc globalement proches des conditions futures d'utilisation du modèle, ce qui est important pour ne pas affecter négativement la qualité des prévisions en mode opérationnel. De ce point de vue, si des postes utilisés s'avérait être hors service, il serait préférable de renouveler les simulations en ne gardant que les postes effectivement exploitables (modification temps réel des coefficients de Thiessen à envisager..).

Il est à noter que les données hauteur/débit au pas de temps horaire correspondent aux valeurs instantanées de débit aux heures fixes et non à des valeurs moyennes sur l'heure passé. Le modèle hydrologique simulant, lui, des valeurs de débit moyennes sur une heure, la comparaison des sorties du modèle avec les valeurs instantanées peut conduire à des erreurs liées simplement à cette différence, particulièrement sur les bassins à dynamique rapide comme c'est le cas pour les bassins étudiés.

Question : Réduire le pas de temps de simulation à la demi-heure ou au quart d'heure pourrait-il minimiser cette constatation ?

³ Evaluation, calage et mise en œuvre opérationnelle du modèle de prévision des crues GRP sur des affluents du Rhône aval <https://hal.inrae.fr/hal-02599594>

Enfin, il peut arriver que les chroniques de mesures disponibles ne soient pas suffisamment représentatives des conditions que le modèle rencontrera en temps réel. C'est par exemple le cas si ces années disponibles sont toutes plutôt sèches par rapport à la moyenne. La recherche de chroniques longues (plusieurs dizaines d'années) est essentielle.

Outre des données pluviométriques et hydrométriques, les modèles pluie-débit testés dans cette étude utilisent des données permettant de quantifier la demande évaporatoire de l'air. Il s'agit de données d'évapotranspiration potentielle (ETP). Elles permettent au modèle de calculer les retours d'eau réels vers l'atmosphère à l'échelle du bassin versant. Ces données sont nécessaires pour permettre d'établir l'évolution de l'humidité du bassin, variable indispensable à la modélisation continue envisagée avec GRP.

L'ETP n'est pas une variable directement mesurée, mais elle est estimée par une formule exploitant des variables météorologiques mesurées telles que la température, la vitesse du vent, l'insolation, l'humidité relative de l'air, etc. Des valeurs moyennes interannuelles pour chaque jour ont été jugées suffisantes, une courbe moyenne de régime d'ETP a donc été utilisée (annexe 2). Néanmoins, un calcul développé par l'IRSTEA, basé sur la température à une latitude donnée, permet une estimation de l'ETP.

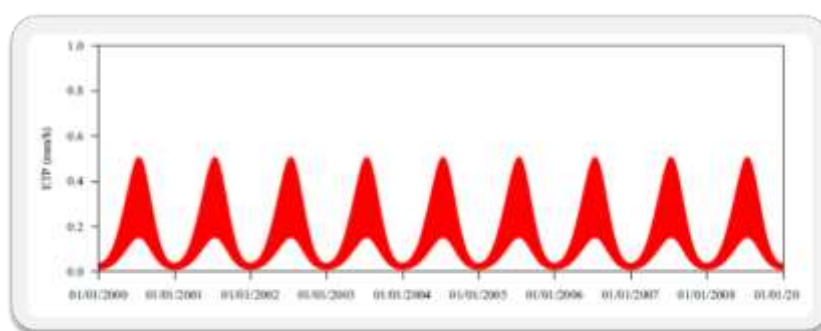


Figure 22 Chronique interannuelle ETP Vaison la Romaine

D) Temps de réaction du bassin

Le délai de prévision exprimé notamment pour la vigilance est de l'ordre de 24 heures. Les bassins versants considérés dans l'étude ont des temps de réponse aux pluies très inférieurs à ce délai (environ 6 heures). Pour atteindre un délai de prévision supérieur au temps de réaction du bassin, il faut donc faire intervenir des prévisions de pluie. Deux zones temporelles devront donc être distinguées (Figure 23 'influence des conditions pluviométriques passées et futures sur la prévision') :

- la première où les pluies futures n'ont pas d'impact sur les débits et la qualité des prévisions de débit ne dépend donc que des conditions passées (observées) et du modèle hydrologique;
- la suivante où les prévisions de débit dépendront des prévisions de pluie, et ce d'autant plus que le délai de prévision s'allonge (la qualité de la prévision de pluie se dégradant logiquement avec l'augmentation de l'échéance).

La méthode proposée dans l'étude a consisté à analyser l'évolution des performances du modèle hydrologique de prévision en fonction de l'échéance, en fournissant au modèle en fonctionnement temps différé, deux scénarios de pluie future différents :

- un scénario de pluies futures nulles (la pluie s'arrête de tomber après l'instant de prévision);
- un scénario de pluies futures parfaitement connues (en fournissant au modèle les données de pluie réellement observées issues des archives).

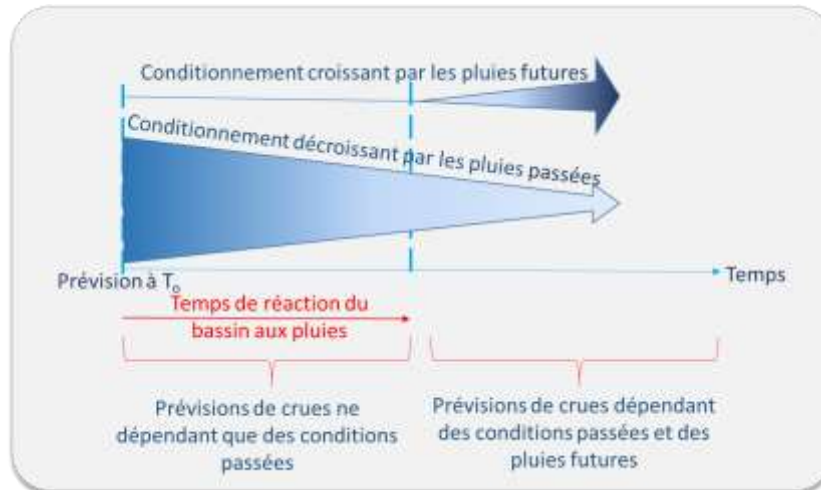


Figure 23 'influence des conditions pluviométriques passées et futures sur la prévision

Dans ces deux tests, ce qui est important est que seul le scénario de pluie change, tout le reste étant égal par ailleurs, et pour chaque échéance, l'erreur du modèle par rapport à la mesure réelle est calculée.

En deçà du temps de réaction du bassin, les erreurs du modèle avec les deux scénarios sont généralement identiques, car elles ne sont pas conditionnées par les pluies futures. Au-delà, elles sont différentes. L'échéance correspondant à une différenciation des deux erreurs donne donc une estimation du temps de réaction du bassin.

Cette estimation du temps de réaction du bassin est moyennée sur l'ensemble des événements considérés dans la simulation, certains événements auront des temps de réaction plus courts, d'autres plus longs.

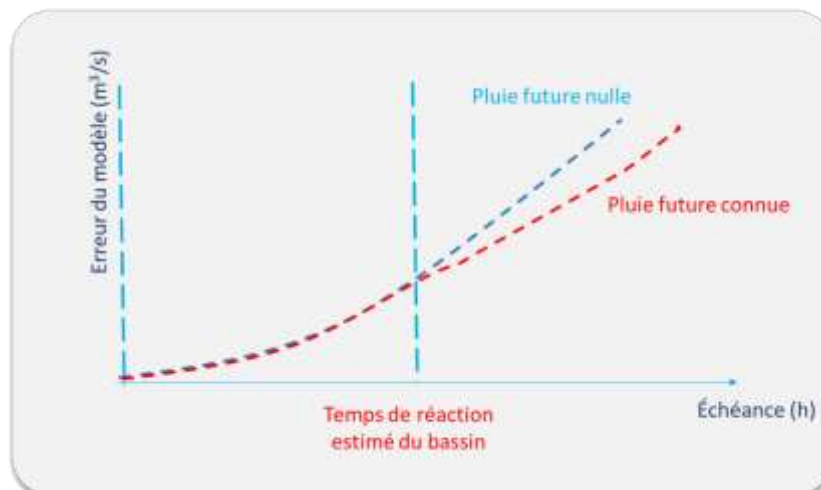


Figure 24 Evolution des erreurs du modèle de prévision en fonction de l'échéance suivant deux scénarios

Cet exercice n'a pour seul objectif de vérifier le temps de réaction aux pluies du bassin.

Les performances ont été évaluées pour 10 échéances différentes : 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 et 72 heures avec le modèle GRP et les résultats donnent pour le bassin à **Vaison**, un temps de réaction du bassin de **3 heures**.

Pour des échéances de prévision en deçà de ces temps de réaction, la pluie future ne joue aucun rôle sur la prévision de débit. Cependant, au-delà du temps de réaction du bassin, elle conditionne partiellement, voire fortement cette prévision. **L'obtention de prévisions hydrologiques** au-delà de **6 heures** est donc **conditionnée** par les **seules prévisions de pluie**.

E) Calage et précision du modèle GRP à Vaison la Romaine

Le modèle de prévision est utilisé en temps réel, par définition, sur des événements non encore rencontrés. Il faut donc mettre le modèle de prévision dans une situation d'évaluation similaire, en testant son comportement sur des événements non rencontrés pendant la phase de calage. Pour cela, une procédure de calages / contrôles croisés sur sous-périodes indépendantes est adoptée.

Cette procédure consiste à caler alternativement le modèle sur la moitié des événements collectés et à le contrôler sur l'autre, et vice-versa. Ainsi, le modèle peut être évalué en contrôle sur l'intégralité des données disponibles. C'est en phase de contrôle que les performances des modèles sont analysées, puisque c'est dans cette phase (en dehors du calage) que fonctionnent les modèles en opérationnel. Les performances en calage donnent en effet une vision trop optimiste des capacités des modèles.

Cette procédure de test permet de :

- quantifier l'efficacité du modèle (niveau de performance que l'on peut en attendre) ;
- quantifier la robustesse du modèle, c'est-à-dire sa capacité à conserver en phase de contrôle un niveau d'erreur similaire à celui rencontré lors du calage.

Nous entrons dans le détail de l'analyse des performances, car cela permet de retenir éventuellement les paramètres de performance du modèle que nous pourrions demander dans les termes de référence.

- Erreur quadratique moyenne

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i+L) - Q_{prev}(i+L))^2}$$

où $Q_{obs}(i+L)$ et $Q_{prev}(i+L)$ sont les débits observés et prévus aux temps $i+L$, L est le délai de prévision et n le nombre de pas de temps pris en compte.

Ce calcul est restreint à des débits au-dessus d'un seuil de crue. Ce seuil a été défini comme le quantile 0.95 de la courbe des débits horaires classés. Ce seuil correspond donc au débit sus-passé en moyenne pendant 438 heures chaque année. Cette erreur renseigne sur l'erreur faite en moyenne sur les forts débits.

Sont également calculés les quantiles de la distribution des erreurs du modèle (représentés sous forme de diagrammes à moustaches), ce qui permet notamment d'avoir un intervalle de confiance à 80 % (intervalle entre les moustaches) sur les erreurs du modèle. Par rapport à la RMSE, cette analyse des distributions permet de voir si le modèle a plutôt tendance à sous-estimer ou surestimer les débits. Ces intervalles de confiance sont représentés graphiquement en fonction du délai de prévision.

- Critères de franchissement de seuil. Ces critères permettent d'évaluer la capacité du modèle à prévoir les dépassements de seuils prédéfinis (par exemple seuils de vigilance).
- D'autres critères sont encore mentionnés dans cette étude, critères que nous pourrions intégrer si besoin dans les termes de référence.

Quoi qu'il en soit, les résultats à Vaison la Romaine donnent pour une prévision à 6 heures, une performance qualifiée de « moyenne moins » liée à une tendance à la sous-estimation et au retard de la prévision, née principalement d'une information pluviométrique peu stable.

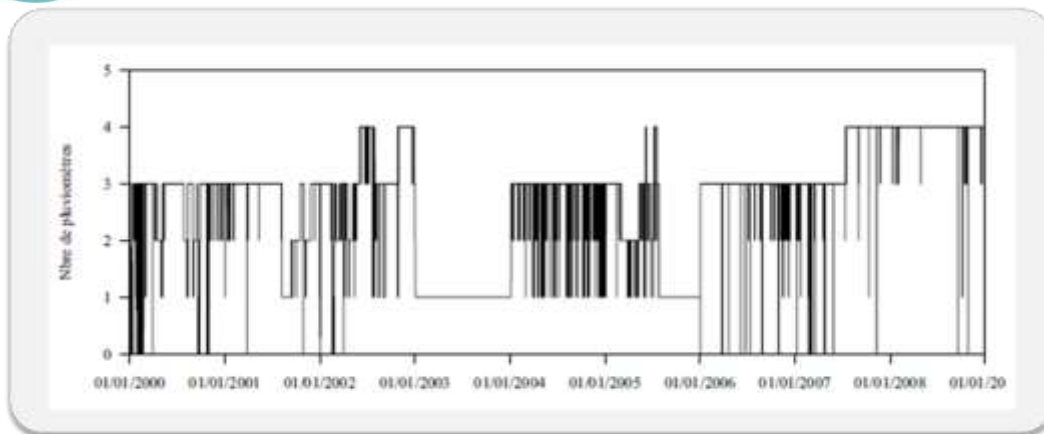


Figure 25 Disponibilité des postes pluviométriques sur la période de calage

Commentaires :

La connaissance des précipitations est essentielle à la prévision hydrologique. Les constations formulées par l'étude (en 2010) et nos propres questionnements sur la pertinence des données pluviométriques fournies par les stations (2.3.6.2 Le réseau hydrométrique SPCGD) incitent à densifier et fiabiliser l'information pluviométrique avec un réseau complémentaire propre au SMOP.

2.3.6.5 Les données hydrométéorologiques SPC-GD

Une étude hydrologique très récente (2021) menée par le SMOP a été réalisée par Hydrétudes pour des débits de référence au droit des principales stations hydrométriques du bassin versant et au niveau de l'Ouvèze à Buis-les-Baronnies et Violès ainsi que sur l'affluent La Seille en vue de plusieurs études hydrauliques à suivre. Si l'objectif initial est de caler un modèle pour s'approcher du débit de pic de crues les plus importantes, l'étude mentionne :

- Le Service de Prévision des Crues Grand Delta émet de fortes réserves sur la validité des mesures lors des crues des stations hydrométriques de l'Ouvèze car le fond du cours d'eau est très mobile (page 14),
- Que la station de Buis-les-Baronnies, dont les données mesurées sont de très mauvaise qualité, est mentionnée sans signification hydrologique (page 14),
- Que les débits des stations hydrométriques de Vaison-la-Romaine et de Roaix ne sont pas cohérents (page 14),
- Que les débits des stations hydrométriques de Vaison-la-Romaine et de Bédarrides ne sont pas cohérents (page 15) et nécessitent une meilleure compréhension hydrologique (voire hydraulique) des Sorgues au niveau de la station de Bédarrides (page 32).

Toute modélisation et prévision fiable, robuste requiert un minimum de données toutes autant fiables, données produites par des systèmes météorologiques robustes et ... fiables..

2.3.7 Autres points évoqués par les communes

Lors des différents entretiens avec les communes, de nombreux sujets très transverses à la mise en place d'un dispositif d'avertissement aux crues ont été abordés. Certaines difficultés et interrogations se sont avérées communes à tous, et devraient faire l'objet de réflexions ou d'actions parallèlement à ce projet.

2.3.7.1 Plan communal de sauvegarde et moyens de communication

Le fil conducteur à ses interrogations est certainement le Plan Communal de Sauvegarde (PCS), jugé

trop compliqué à mettre en œuvre par certaines communes, inadapté au contexte pour d'autres. L'organisation du PCS de Courthezon est remarquable, avec des cellules responsables par thématiques, des cellules décentralisées géographiquement au plus près des moyens techniques et des moyens humains. Ce PCS montre qu'il a fait l'objet de réflexions très abouties... mais comme tous les PCS, sans totalement appréhender une situation extrême de la crise qui mettrait à mal tous les PCS, un arrêt des communications téléphoniques terrestres (GSM et Internet).

Sans réseau GSM, les équipes ne peuvent plus communiquer entre elles et le PCS devient inefficace. Sans Internet, les communes adhérentes à Prédicte ne peuvent plus accéder aux services, et sans internet, aucune commune ne peut accéder à Vigicrues, ni au futur SDAL.

Commentaires :

Il semble intéressant que les communes partagent leur expériences sur leur PCS, en crise réelle comme en exercice de simulation. De ce partage pouvant être porté par le SMOP, pourrait sortir une doctrine de constitution d'un PCS. Ce partage pourrait aussi tisser un lien entre acteurs d'un même territoire, une solidarité de l'amont vers l'aval, lien aujourd'hui peu présent.

Quant aux difficultés télécom, ils ne sont pas spécifiques à l'Ouvèze. Un groupe électrogène est une réponse à une coupure d'alimentation du réseau électrique. Mais il faut penser aussi aux moyens de communication locaux et mobiliser le réseau radio police municipale étendu à d'autres acteurs en gestion de crise par exemple, et une infrastructure télécom satellite (à coûts maîtrisés) pour couvrir un dysfonctionnement de l'internet terrestre.

2.3.7.2 Moyens humains en informatique

Les communes dans leur quasi-totalité, ne disposent pas de compétences informatiques en interne, et recourent à des prestataires extérieurs, prestataire habitant de la commune pour Buis les Baronnies, mais prestataire extérieur au département (Nîmes) pour Courthezon.

Ce rapide paragraphe pour mentionner que les équipements et les logiciels de consultation du futur SDAL devront être le plus simple possible, à l'utilisation comme à l'installation (simple navigateur internet crypté, mais sans recours à un VPN).

2.3.7.3 Pédagogie du risque

Lors de la rencontre avec la commune de Courthezon, a été évoqué le départ à la retraite d'un agent communal et la perte de son savoir-faire en gestion de crise, notamment sur la progression dans les rues immergées de la commune.

Ci-après un abaque relativement simplifié des risques de progression en zone inondée pour un individu en fonction de sa taille et de son état de santé.

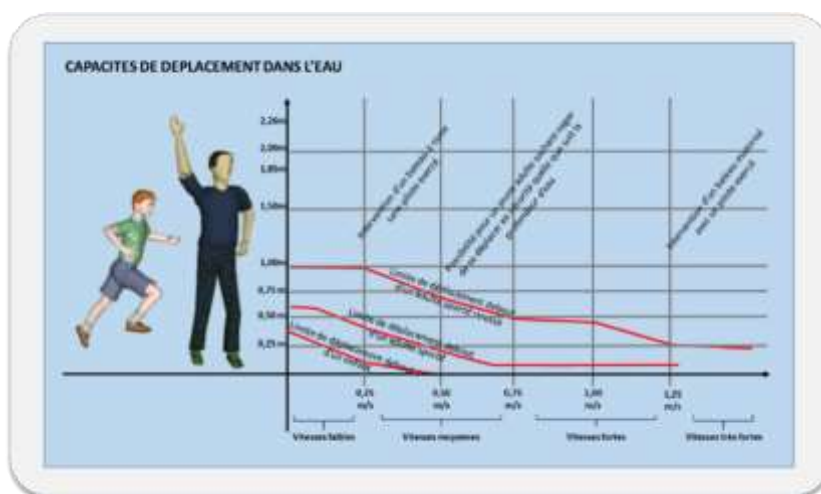


Figure 26 Abaque des risques Hauteur – vitesse

Le SMOP installe actuellement des repères de crues dans les zones urbanisées pour inscrire localement ce risque. En complément, il pourrait être intéressant que les communes affichent des repères vers les points d'hébergement listés dans les PCS, pour avertir les individus du risque qu'ils encourent. Mais le risque principal auquel les communes sont confrontées, est certainement celui de véhicules qui s'engagent sur des zones inondées sans que les conducteurs ne perçoivent réellement le danger. Un exemple ci-après d'échelles limnimétriques installées au passage de cours d'eau.



Figure 27 Echelles risque automobile (Montpellier)

2.4 LES ETIAGES DE L'OUEZE

2.4.1 Territoires affectés

Nous avons longuement évoqué les crues de l'Ouvèze, mais comme tout cours d'eau méditerranéen, l'Ouvèze connaît aussi des étiages sévères sur la période de juillet à septembre, voire octobre, avec des assecs régulièrement observés sur l'Ouvèze (sur une vingtaine de kilomètres entre Violès et Bédarrides), le Toulourenc et d'autres cours d'eau du bassin.

Ces périodes de sécheresse s'expliquent par le drainage important des cours d'eau, par les nappes d'accompagnement, et par les prélèvements cumulés pour les différents usages, avec une pression de plus en plus accrue.

La perception des deux grands faciès morphologiques évoqués précédemment (chapitre 2.3.4) se retrouve dans l'analyse des ressources en eau souterraines avec :

- de la source à Vaison-La Romaine (620km²), une partie montagneuse, calcaire, parcourue par des cours d'eau de faible débit et où les nappes d'accompagnement y sont très réduites, y compris pour l'Ouvèze.
- De Vaison-La-Romaine à la confluence avec le Rhône (260km²) : Une partie aval constituée d'une plaine dans laquelle la nappe alluviale de l'Ouvèze prend son essor et draine le cours d'eau. La nappe est incluse dans un système aquifère plus important (FRGR 301) qui inclut la nappe d'accompagnement de l'Aygues et de la Sorgue

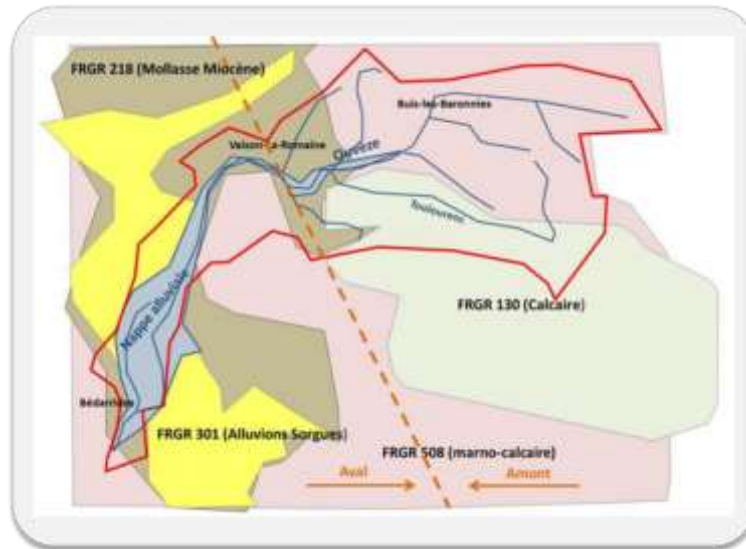


Figure 28 Hydrogéologie du bassin versant de l'Ouvèze

Dans ces profils, deux cours d'eau principaux, l'Ouvèze et le Toulourenc sont sujets à des assecs naturels :

- Des assecs de l'Ouvèze dus à un élargissement de la nappe, avec des débits naturels insuffisants pour compenser le drainage de la nappe. Ce drainage remonte jusqu'à Vaison-la-Romaine.
- L'assec du Toulourenc est dû quant à lui, à une discontinuité géologique et topographique locale.

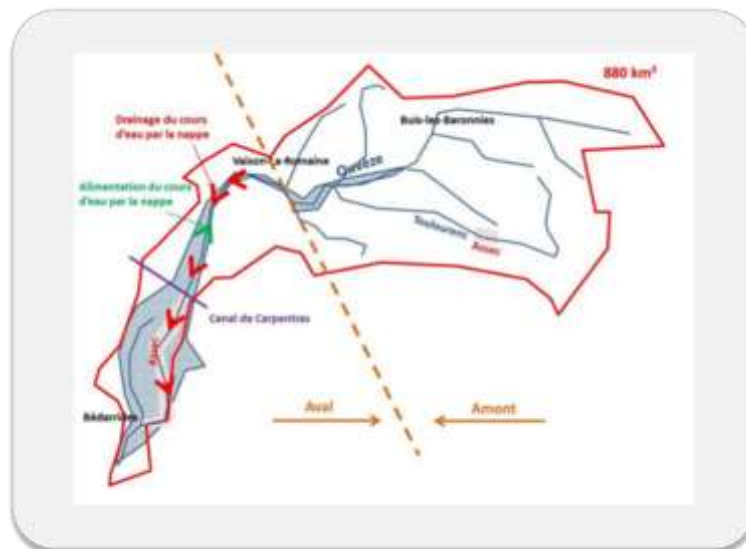


Figure 29 Les relations nappes/ rivières sur le bassin versant

Plus globalement, le bassin versant de l'Ouvèze a été identifié en déséquilibre quantitatif dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône-Méditerranée 2010-2015. Cet outil de planification de la gestion de la ressource et des écosystèmes aquatiques, à l'échelle des grands bassins hydrographiques, a considéré une situation de l'Ouvèze, inadéquate en regard des prélèvements (eau potable, agriculture et industries) et la disponibilité de la ressource.

2.4.2 Le réseau de suivi Etude de détermination des volumes prélevables

L'Etude de détermination des volumes maximum prélevables sur le bassin versant de l'Ouvèze (2012) avait dressé un bilan de la situation d'alors. Certains points sont toujours d'actualités presque dix (10) années plus tard. Ainsi est mentionné :

- Cinq (5) stations hydrométriques (SPCGD) disposent de données enregistrées sur le bassin versant. Les années disponibles sont parfois limitées et la fiabilité des données est faible dans l'ensemble. (page 25)
- Les stations hydrométriques, prévues pour les mesures de débits de crues, s'avèrent mal adaptées à des mesures d'étiage et souffrent parfois d'un manque d'entretien. (page 24)
- Seules les stations du Hameau de Veaux sur le Toulourenc et de Vaison-La-Romaine sur l'Ouvèze ont été utilisées pour la reconstitution de l'hydrologie. Si ces stations disposent de données journalières et de jaugeages ponctuels de contrôle, les débits ciblés à ces stations sont les crues et non les débits d'étiage. Néanmoins, l'étude (page 34) propose que les hydrogrammes de ces deux stations (Toulourenc et Vaison) sont calés pour les étiages.

Par contre, la station SPCGD de Roaix positionnée initialement à proximité de la prise du canal d'irrigation de Rastau, cette station a semble-t-il été positionnée plus en amont (école de Roaix) depuis.

Enfin, l'étude précise que la station de Carpentras (MétéoFrance) a été retenue comme caractéristique de l'évapotranspiration du bassin versant et non la station climatique de Beaumont-Mont-Serein peu représentative.

2.4.3 Réseau de suivi PGRE

Cela a conduit dans l'actualisation 2016-2021 du SDAGE Rhône-Méditerranée, 2016-2021, à la réalisation d'un plan de gestion de la ressource en eau (PGRE) de l'Ouvèze, et au classement dès 2016, du sous-bassin hydrographique de l'Ouvèze provençale et d'une partie du système aquifère des alluvions des plaines du Comtat-Ouvèze en Zone de Répartition des Eaux (ZRE). La ZRE est une « zone présentant une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins » (R.211-71 du Code de l'Environnement).

Ce PGRE a conduit à l'établissement de fiches d'actions pour minimiser les conflits entre usages et ressources, et à la création d'un observatoire de l'état quantitatif de la ressource pour répondre aux attentes de l'État Français qui instaure des objectifs de quantité dans le temps et dans l'espace en des points repères, des « points nodaux de référence » équipés de systèmes de suivi hydrologique en continu.

Des débits objectifs ont ainsi été fixés sur 5 points de référence dans une étude de Plan de Gestion des Ressources en Eau (2018), dans le but d'assurer le bon fonctionnement des milieux tout en satisfaisant au mieux l'ensemble des usages.

- 2 points sont dans le SDAGE (points sur lesquels l'Etat s'engage à assurer les données) ;
- pour les 3 autres, la création de stations de suivi des débits d'étiage est nécessaire, sous maîtrise d'ouvrage à définir.

Le document PGRE (Plan de Gestion des Ressources en Eau) a fait un état des équipements disponibles en 2018. Parmi ces 5 points, 4 stations de mesures des débits sont déjà en fonctionnement :

- L'Ouvèze à Vercoiran, mesures ponctuelles effectuées par le département de la Drôme ;
- L'Ouvèze à Roaix, station gérée par le SPC Grand Delta. Cette station est un des deux points stratégiques de référence du SDAGE 2016-2021 pour le bassin de l'Ouvèze. Cette station est également intégrée dans le Plan d'Action Sécheresse de Vaucluse ;
- L'Ouvèze à Entrechaux « pont Saint Michel », station gérée par le SPC Grand Delta. Cette station est intégrée dans le Plan d'Action Sécheresse de Vaucluse ;
- La station à Veaux par le SPC Grand Delta.
- Enfin, une station est identifiée comme point stratégique de référence du SDAGE 2016-2021 pour le bassin de l'Ouvèze, mais reste à équiper, l'Ouvèze à Buis-les-Baronnies. L'équipement de cette station fait l'objet d'une fiche action du PGRE ;

Bien que le suivi piézométrique ne soit pas mentionné dans la notification préfectorale de l'EEVP car l'étude n'a pas abordé le volet eaux souterraines, le plan action sécheresse de Vaucluse indique des suivis piézométriques pour le suivi quantitatif du bassin assurés par :

- La DDT 84 et la chambre agriculture pour le Vaucluse,
- Et le conseil départemental pour le département de la Drôme ;

Ainsi, notre projet s'il pouvait s'inscrire comme le futur système de surveillance des cours d'eau va donc s'intégrer dans le plan de gestion de la ressource en eau, et devenir comme une tour de contrôle des débits objectifs sur les ressources en eau superficielles et des niveaux piézométriques « seuils » sur les ressources souterraines, et venir éventuellement compléter l'observatoire national des étiages (ONDE).

2.5 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ (HYDROPRAXIS 2014) VOLET CRUES

Nous reprenons en conclusion, les orientations formulées lors de l'étude de faisabilité de 2014 et orientons certains choix de conception.

2.5.1 Enjeux

S'appuyant sur l'analyse des éléments recueillis (questionnaires et entretiens), l'étude de 2014 a dressé une liste des enjeux principaux, positionner les points de suivi sur les cours d'eau pour anticiper les crues sur ces zones à enjeux, et estimer approximativement les temps de propagation des crues par une modélisation simplifiée considérant uniquement le linéaire et pente pour chaque tronçon.

Parmi les enjeux principaux pouvant bénéficier d'un dispositif d'anticipation des crues, citons de l'amont vers l'aval :

- Les gorges du Toulourenc et les campings environnants (principalement celui installé à proximité de la confluence du Toulourenc et de l'Ouvèze),
- Les zones urbaines situées en tête de bassin :
 - Buis les Baronnie situés en amont sur l'Ouvèze (en amont de la station du SPCGD),
 - Entrechaux à la confluence entre l'Ouvèze, le Toulourenc et l'Ayguemarse (le bassin versant de ce dernier cours d'eau étant constitué d'un sol particulièrement imperméable, les crues y sont donc rapides) ;
 - Vaison la Romaine, incluant les affluents de l'Ouvèze, notamment le Lauzon.
- Toute la plaine alluviale où s'écoule la Seille, et où sont installées les communes de Violès, Jonquières, Courthézon et Bédarrides. A noter que même si le risque est peu élevé, l'Ouvèze peut déborder au niveau de Violès et se joindre à la Seille comme ce fut le cas lors de la crue de 1992.
- Et enfin la commune de Sorgues, en aval de la confluence de l'Ouvèze (env.900 km²) et la Sorgue (env. 1200 km²) et juste en amont de la confluence de l'Ouvèze avec le Rhône, le Rhône par sa côte (influence aval) va directement agir sur la montée de la crue et sa durée ;

2.5.2 Propositions de suivi

A) Réseau de base

Centralisation des données issues des capteurs des 6 stations temps réel SPCGD au pas de temps de 15 minutes :

- Hauteurs d'eau sur les stations SPCGD (Buis Barronnies, Veaux, Entrechaux, Vaison la Romaine, Roaix, Bédarrides/Ouvèze)
- Pluviométrie sur 4 stations (pas de pluviomètres sur Roaix et Vaison la Romaine)
- Prévisions par modèle des hauteurs d'eau sur les stations existantes du SPCGD sur les points suivants :

- Sur l'Ouvèze à l'entrée de la commune de Buis les Baronnie
- Sur le Toulourenc au niveau de Reilhannette (en amont des gorges du Toulourenc)
- Sur l'Ouvèze au niveau du pont à Violès. Il est à noter dans ce cas que la courbe de tarage est à mettre en place (via modèle hydraulique)
- Sur l'Ouvèze à l'entrée de la commune des Sorgues
- Sur la Seille à l'entrée de Bédarrides, et si possible également de Courthézon et Jonquières (pas de modèle SPCGD sur ce cours d'eau)

B) Réseau complémentaire (étape 1)

A partir de l'analyse des enjeux et des temps de réaction sur le bassin, 2 nouvelles potentielles stations sont donc proposées sur le bassin versant de l'Ouvèze au regard des besoins :

- station en amont de la Seille (au niveau de Jonquières)
 - permet d'anticiper les apports de la Seille et/ou des débordements de l'Ouvèze au niveau de Violès sur les 3 communes de Jonquières, Courthézon et Bédarrides
 - permet de compléter la connaissance hydrologique de ce cours d'eau
- station sur le Rhône, au niveau de la confluence avec la Seille
 - permet de connaître en temps réel la condition aval importante pour l'écoulement de Bédarrides à Sorgue
 - permet de valider le modèle hydraulique sur le Rhône utilisé pour les prévisions faites par le SPCGD

■ Réseau complémentaire (étape 2)

De plus, 2 stations complémentaires pourraient être également installées par la suite:

- station sur la Sorgue, en amont de confluence avec l'Ouvèze
 - permet compléter la connaissance hydrologique de ce cours d'eau (hors territoire du SMOP)
 - permet de compléter et valider le modèle hydrologique utilisé par le SPCGD pour les prévisions
 - Contrainte : localisation de la station délicate car située à la confluence avec l'Ouvèze (influence) – pas de site amont pertinent (ramification des différents affluents)
- station sur le Toulourenc, au niveau de Reilhannette
 - permet de compléter la connaissance des écoulements amont (débits et pluies)
 - permet de redonner les données pluviométriques issues des lames d'eau
 - contrainte : peu de temps de réaction pour intervenir dans les gorges à partir des données de hauteurs (moins de 1h) – PCS en place ?

2.5.3 Propositions actualisées

Une très grande majorité des propositions formulées en 2014 sont toujours d'actualité 7 années plus tard. Quelques changements sont apparus, comme la station SPCGD (Bédarrides/Sorgue) équipée d'un capteur de débit (ADCP) a été mise en service en 2015. Cette station semble aujourd'hui inactive tout au moins sur la banque hydro où aucune donnée n'est disponible.



Figure 30 Station SPC Bedarrides Sorgues

L'étude de 2014 incitait donc à construire le futur dispositif d'avertissement local aux crues en s'appuyant sur les outils existants du SPCGD, et le réseau SMOP doit se construire avec les stations du SPCGD. En complément à ce réseau, les premières réflexions menées avec le SMOP inviteraient à instrumenter :

- L'Eygumarse (1 site), affluent important de l'Ouvèze en amont de Vaison la Romaine (Mollans-sur-Ouvèze) ;
- La Seille (1 à 2 sites), qui conflue avec l'Ouvèze à Bédarrides ;

Autres réflexions à mener pour le futur à court et moyen terme (PAPI complet ?) :

- Une densification du réseau pluviométrique (3 à 4 sites) pour mieux appréhender l'hétérogénéité des pluies sur le bassin versant ;
- Un suivi des vallats éventuellement avec des équipements peut-être moins exigeants en termes de fiabilité, robustesse voire performances... ou de toutes autres technologies qui devraient « exploser » commercialement dans les tous prochains mois ;
- Un suivi des vannages sur la plaine en proximité de Bédarrides avec ces mêmes choix technologiques que pour le suivi des vallats ;

Le choix de se rapprocher d'adosser le futur SDAL sur les sites hydrométriques du SPCGD est cohérent d'un point de vue économique (investissements comme charges d'exploitation), mais il n'en reste pas moins des interrogations d'un point de vue technique :

- Sur la disponibilité des mesures en temps réel (en regard des taux de 96% et 98% évoqués précédemment),
- Sur la représentativité de certaines informations (pluviométriques notamment – classe 4S voire classe 5 à confirmer),
- Et enfin sur la nature des informations de prévision. Disposerons nous des valeurs numériques ou des codes couleurs peu efficaces pour anticiper les risques de débordement sur les systèmes d'endiguement notamment ;

Un réseau SMOP pourrait-il éviter certains de ces écueils en tirant profit des technologies disponibles à l'orée de l'année 2022 ? A toutes ces questions, nous allons essayer de donner une réponse dans les prochains chapitres, en proposant la conception d'un SDAL selon les « règles » de l'art de 2021 et dans le respect du cadre réglementaire défini par le R.I.C. (Règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'Information sur les Crues) du SPCGD (Service de Prévision des Crues Grand Delta).

3 RÉFLEXIONS, QUESTIONNEMENTS ET PROPOSITIONS

En préalable à la conception technique du dispositif, nous listons les réflexions, questions sans réponse ou propositions qui vont dessiner le futur SDAL, Système d'Avertissement Local aux Crues.

3.1 LES ATTENTES POUR UN FUTUR DISPOSITIF D'AVERTISSEMENT LOCAL

Ainsi, pour répondre aux attentes des communes et les assister dans leur gestion de crise inondations, le SMOP entend-t-il au titre de ses compétences, assurer sur le territoire communautaire, en toute cohérence avec l'axe n°2 du cahier des charges PAPI, le déploiement d'un Système D'Avertissement Local (SDAL) pour la prévision des crues et des inondations.

Commentaires

Il convient ici la nécessité de clarifier l'acronyme « SDAL » en tant que système d'alerte locale (au sens de dispositif technique/ équipements) et le différencier de l'usage « SDAL » parfois mentionner dans la bibliographie pour mentionner Service D'Avertissement Local (au sens moyens humains et non uniquement moyens techniques).

Dans ce présent document, nous ferons référence au dispositif technique/équipements lorsque l'acronyme SDAL est utilisé, et préfererons la terminologie « CELLULE OPERATIONNELLE D'AVERTISSEMENT AUX CRUES » lorsque nous ferons référence aux moyens humains.

3.2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET VISION SDAL PAR LES SERVICES DE L'ETAT

3.2.1 Avertissement versus Alerte

Nous référant au cadre réglementaire Français, il nous faut parler d'un dispositif d'avertissement et non d'un dispositif d'alerte aux crues comme il était d'usage voici encore quelques années, car dans la terminologie, chacun a une signification spécifique :

- La mise en vigilance va attirer l'attention sur une situation probable.
- L'alerte : un danger imminent qui signale le temps de l'action.
- L'avertissement : une mise en garde face à la survenue plausible d'un aléa.

Malgré ce distinguo, il semble nécessaire de préciser ces termes dans le contexte des risques majeurs.

- La surveillance consiste à suivre l'évolution d'un phénomène, à constater l'évènement.
- La prévision fait partie de la surveillance, mais va à partir d'évènements historiques passés, permettre d'estimer la survenue ou non d'un évènement, éventuellement sa dangerosité, et plus difficilement encore, le moment exact où il pourrait se produire.
- La vigilance et l'alerte sont deux procédures distinctes : chronologiquement, la première précède la seconde, qui constitue l'élément déclencheur de l'organisation communale de crise.
- L'alerte est fondamentale : une défaillance dans la procédure peut avoir de lourdes conséquences sur la suite des événements : retards dans la mise en œuvre des actions de sauvegarde. Sa diffusion relève de la responsabilité du maire, au titre de ses pouvoirs de police.

Or, il est fréquent de parler de dispositif d'alerte de crues. L'alerte à proprement parler, est une procédure relevant de la seule responsabilité des autorités (État et maire au niveau local si aléa localisé). Il existe en fait deux canaux d'alerte :

- l'alerte des autorités locales pour mettre en œuvre des actions coordonnées visant à garantir la sécurité des personnes et des biens ;
- l'alerte des populations par les autorités pour avertir les personnes d'un danger imminent ou d'une catastrophe en cours. Les conseils de comportement face aux situations dangereuses doivent être adoptées par la population au moment de l'alerte (attirer l'attention, alerter en

localisant les destinataires, nommer l'événement, caractériser le danger et le citer comme tel, prescrire le document adéquat puis renvoyer vers un moyen d'information complémentaire).

Les systèmes d'alerte (sirènes, SMS...) permettent de prévenir de la survenue certaine et/ou imminente d'une catastrophe. Ainsi, la population a connaissance de l'événement et peut appliquer les consignes de sécurité adaptées.

Recommandations /Constatations : Le dispositif envisagé ne répond pas à cette notion d'alerte. Nous utiliserons donc la notion d'avertissement pour le caractériser.

3.2.2 Un Dispositif d'Avertissement Local au sens réglementaire

Si, sur les grands cours d'eau comme le Rhône, la prévision est assurée par les services de l'Etat, notamment le Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI) avec l'appui des services de prévision des crues (SPC), cette prévision est parfois mal adaptée à la mise en place d'une prévention couvrant les crues des bassins versants de taille moindre.

En l'absence d'un tel dispositif, la capacité à anticiper une gestion de crise est incertaine, l'utilisation de la carte de vigilance météorologique étant souvent d'interprétation délicate, voire même inadaptée pour les crues soudaines. C'est pourquoi les communes riveraines de cours d'eau très capricieux mettent des systèmes de prévision et d'alerte locale du risque, et assurent l'avertissement des services détenteurs d'un pouvoir de police au titre de leur mission de Service Prévision des Crues Local.

Dans le **guide méthodologique « Conception et mise en œuvre d'un système d'avertissement local aux crues »**⁴ édité par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, (Yann Laborda - responsable cellule prévision du SPCGD est l'un des rédacteurs), est précisé ce terme de « dispositif d'avertissement local ».

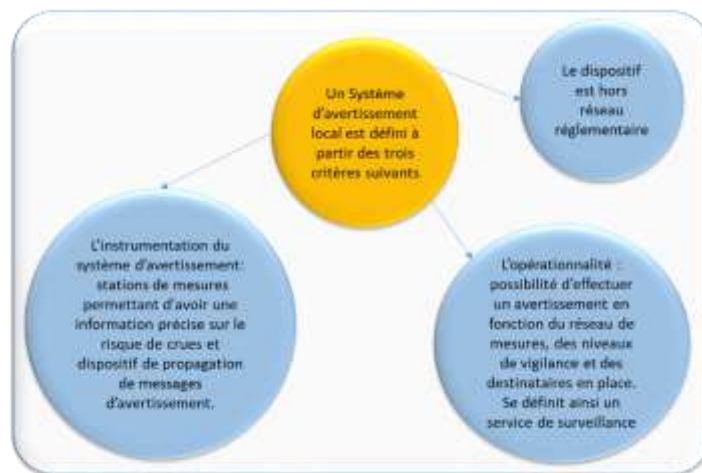


Figure 31 Définition d'un SDAL vue par le Ministère de la Transition écologique et solidaire

A la lecture de cette figure, deux critères précisent la richesse fonctionnelle du dispositif, le troisième définit un cadre légal à la mise en œuvre d'un SDAL : « le cours d'eau doit être hors du réseau réglementaire des services de l'Etat ».

Le réseau réglementaire est défini ainsi :

Le suivi et vigilance crues sont assurés sur les principaux cours d'eau métropolitains. Sur ces cours d'eau, l'Etat prend en charge la mission réglementaire de surveillance, de prévision et de transmission de l'information sur les crues, en application des articles L. 564- 1, L. 564-2 et L. 564-3 du code de l'environnement, et les schémas directeurs de la prévision des crues définissent les

⁴http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_methodo_sdal_vf_cle6a1141_1_.pdf

conditions de cette prise en charge par l'Etat.

Ces cours d'eau sont ceux pour lesquels l'importance des enjeux (personnes et biens exposés au danger) justifie l'intervention de l'Etat et pour lesquels la prévision du risque d'inondation par débordement des cours d'eau est techniquement possible à un coût économiquement acceptable.

Sur les autres cours d'eau, les collectivités territoriales peuvent mettre en place leurs propres dispositifs de surveillance, en complément de celui mis en place par l'Etat.

Faisant suite à la présentation du périmètre réglementaire du SPC Grand Delta, l'amont de l'Ouvèze sur sa partie Drômoise est hors du réseau réglementaire, la partie Vauclusienne intégrée dans le périmètre réglementaire.

Ainsi est précisé dans le Schéma directeur de prévision des crues du bassin Rhône-Méditerranée (page 41) :

« Les cours d'eau, portions de cours d'eau ou estuaires pour lesquels les collectivités mettent en place un dispositif d'alerte sont disjointes de ceux qui ont fait l'objet d'une surveillance, d'une prévision et d'une transmission d'information par l'Etat ou ses établissements publics, afin d'éviter tout risque d'incohérence dans l'alerte transmise aux organisations détentrices d'un pouvoir de police ou de l'information mise à disposition du public. »

Dans cette organisation de la vigilance et de l'avertissement, le SDAL entend se positionner en soutien des cellules communales de gestion des crises inondation, sans endosser une quelconque responsabilité quant à une obligation réglementaire, ou une obligation de résultats. Mais comment communiquer une prévision hydrométéorologique, complémentaire éventuellement concurrente de celle du SPCGD.

La mise en œuvre d'un SDAL avec un réseau complémentaire (densification de points de mesure et extension géographique des territoires surveillés) à celui du SPCGD, s'inscrit totalement dans la logique de « cohabitation » des deux dispositifs de surveillance hydrométéorologiques.

Seule la diffusion d'une prévision hydrologique SMOP en complément de celle du SPCGD peut poser interrogation. Nous proposons donc que l'accès à la prévision SMOP soit limité à la seule astreinte hydrométéorologique SMOP, qui pourra alors analyser les résultats à ceux produits par le SPCGD, afin de recommander si nécessaire, des activités anticipées des plans communaux de sauvegarde.

3.2.3 Niveau de technicité du Système d'Avertissement Local

Toujours dans le même guide, le Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) précise les critères qui vont définir le niveau d'instrumentation et de technicité du SDAL en considérant les caractéristiques des crues rencontrées sur le périmètre projet, allant d'un SDAL simple destinés principalement aux terrains de camping, des SDAL avec mesure de niveau d'eau et des SDAL avec mesure de niveau et de débit.

Nous nous proposons de ne pas suivre ces notions quelle peu réductrices, car elles écartent dans leur cheminement, tout recours au suivi pluviométrique. Si les produits et services Météo France peuvent pour partie, répondent à de nombreuses attentes, il est essentiel de pouvoir les qualifier, les calibrer avec des mesures in-situ installées sur le périmètre géographique du projet, dispositifs qui peuvent aussi servir à « l'auto-alerte » de l'astreinte du SMOP.

Nous vous soumettons donc notre vision des trois (3) niveaux de technicité d'un Système d'avertissement local, non guidés par des choix technologiques, mais plus par des capacités fonctionnelles d'anticipation hydrométéorologique :

- **Prévision** : consiste à prévoir avec suffisamment d'avance et de fiabilité un niveau ou un débit pour permettre d'afficher une connaissance précise de l'aléa (typiquement la hauteur d'eau à telle heure), afin que les secours puissent intervenir et agir dans des conditions acceptables pour la population ;
- **Suivi/annonce** : consiste uniquement à observer ce qu'il se passe en temps réel sur le bassin (pluviométrie et limnimétrie), lorsque les délais de prévisions sont trop courts ou trop imprécis ;
- **Prudence** : quand on n'est pas capable de faire de la prévision et pas non plus de l'annonce – c'est le cas notamment de la dynamique des crues et la morphologie du bassin sont tels

qu'il n'est même pas possible de disposer d'un réseau d'observation significatif des crues. L'information est alors du type « il est possible que telle hauteur d'eau soit atteinte ».

Pour ce dernier type, il est d'usage pour des projets hors France, d'utiliser « vigilance », mais ce terme fait référence à une notion réglementaire dans la gestion du risque inondation. Nous lui utiliserons donc le terme « prudence ». Certes il s'agit ici de simples clarifications sur le vocabulaire à utiliser, mais elles éviteront toutes interprétations erronées dans les discussions avec les services de l'Etat.

Le SMOP a clairement mis en avant dans son étude de faisabilité et son dossier PAPI d'intention, l'élaboration d'un outil de prévision hydrologique, ce qui donne au «Service d'Avertissement Local», la dimension attendue de « Prévision ».

Un paragraphe doit être rappelé dans le guide du MTES mentionné auparavant. Il y est fait référence à une fonctionnalité de bancarisation des données mesurées très souvent oubliée : « *au regard de l'investissement humain et technique à porter, on soulignera l'importance pour la collectivité d'un engagement sur la durée, en vue de disposer de chroniques longues, continues et de qualité constante, et on l'invitera, comme futur producteur de la donnée, à réfléchir à sa bancarisation et sa valorisation, et aussi à son versement dans la banque nationale HYDRO* ».

En effet, dans la vision globale d'un dispositif d'avertissement, ce type de dispositif doit offrir la possibilité de « délivrer, en temps opportun, à des institutions préalablement identifiées, des messages d'alerte, des informations sur le risque encouru ou prévisible, pour assurer l'évacuation des populations exposées et la mise en protection des biens vulnérables ». Mais pour être efficace, un SDAL doit être pensé dans une vision décloisonnée de la gestion du risque, une solution intégratrice :

- 1) pour la connaissance du risque. L'évaluation des risques va privilégier les stratégies d'actions de prévention, y compris au cœur de l'évènement, mais aussi guider dans la conception même du SDAL;
- 2) pour le suivi et la prévision. Les réseaux de suivi hydrométrique associées à des capacités de modélisation ouvrent la voie à la prévision du risque à courte échéance ;
- 3) Diffusion de l'information: Les systèmes de communication doivent délivrer aux gestionnaires de la crise, des messages d'alerte compréhensibles et suffisamment synthétiques pour être rapidement suivis d'actions sur le terrain ;
- 4) Coordination des mesures de sauvegarde : une bonne gouvernance et des plans d'action appropriés sont les points clés d'une alerte précoce efficace, de même que la sensibilisation du public aux risques encourus ;



Figure 32 Descriptif fonctionnel d'un système global d'avertissement/alerte

Dans ce cheminement, toute défaillance d'un de ces éléments conduit à l'échec global de la mise en sécurité des personnes et des biens, qui est le but ultime de l'avertissement du risque inondation;

Commentaires : Si les financements offerts par le PAPI d'intention Ouvèze Provençale pour ce projet sont destinés avant tout pour les sites de mesure, il faut garder à l'esprit cette recommandation pour une base de données métrologique, voire imaginer dans un futur à moyen terme (Dossier PAPI complet), un dispositif global de gestion de la crise (que nous présentons dans l'annexe D sous l'acronyme S.I.R.C. Système d'Informations sur le Risque Inondations), qui viendra intégrer l'outil de supervision, la plateforme de simulation des prévisions hydrométéorologiques, la base de données historique et toute la coordination des Plans Communaux de Sauvegarde.

3.3 SECURISATION ET DISPONIBILITE ATTENDUES D'UN AVERTISSEMENT AUX CRUES

Pour assurer la disponibilité d'un service d'avertissement aux crues, il faut définir quels équipements privilégier, leurs modalités de maintien opérationnel (maintenance préventive et curative), et l'organisation de l'exploitation d'un service d'avertissement (moyens humains et moyens techniques). Pour caractériser ce niveau de disponibilité et les choix de conception qui en découlent, il faut définir un niveau d'intégrité de sécurité (Safety Integrity Level –SIL), niveau le meilleur car il faut considérer un possible risque de pertes humaines en cas de dysfonctionnement du dispositif d'avertissement (non envoi de l'alerte).

Nous allons développer spécifiquement un chapitre à cette réflexion et nous verrons que cette notion SIL est revenue pour partie, sous une autre formulation avec le décret 2018-384 du 23 mai 2018 relatif à la sécurité des réseaux et systèmes d'information des opérateurs de services essentiels, dont relève justement les dispositifs d'avertissement aux crues.

Sur la base de ces définitions, il est clair que l'exploitation du Dispositif d'Avertissement Local aux Crues se situe dans un contexte d'exploitation le plus rigoureux.

Reste à définir la notion de sureté et plus étroitement la disponibilité « permanente ». La question se pose tout au long des prochains chapitres de la conception du futur système d'avertissement, du niveau de disponibilité accepté pour chaque service, car d'une certaine manière, ce niveau induit un coût pour chaque élément, et au final le coût supportable par le SMOP pour accéder à cette disponibilité.

Par comparaison sur un domaine très proche, le suivi patrimonial des ressources en eau (Gestion Intégrée des Ressources en Eau), les contraintes sont beaucoup plus souples et tolèrent une absence de service sans crainte de risque mortel.

	Taux de disponibilité	Cumul annuel d'indisponibilité du service acceptable
Gestion de ressources en eau	99%	3.65 jours/an
Alerte de crues	99.99%	53 minutes/an

Table 1 Disponibilité des services

Pour pleinement prendre conscience de l'impact financier de cette disponibilité, l'hébergement d'un serveur virtuel pour le poste central Web supervision. Même si au final cela est peu significatif à l'échelle global du projet, la location d'un serveur virtuel hébergé en datacenter Tier IV sera facturée environ le double de celui d'un hébergement en Tier III.

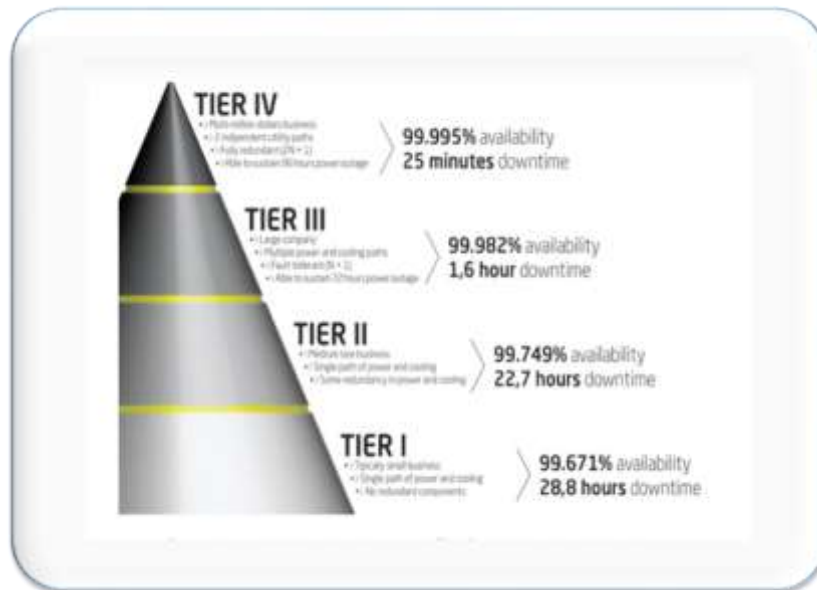


Figure 33 Classification des Data centers

Enfin, au-delà des aspects technologiques, il faut aussi associer les aspects humains à la réflexion, et notamment pour assurer la maintenance curative sur défaillance d'un équipement majeur comme le poste central de supervision.

Commentaires : Il est essentiel de penser au maintien opérationnel du dispositif d'avertissement au cœur de la crise :

- Une première action pourra être fournie par une redondance des équipements par exemple, et une externalisation en data center (voire une redondance de data center) hors des régions du Sud de la France, des fonctionnalités du poste central, pour éviter les risques de défaillance durant les épisodes météorologiques violents qui touchent souvent simultanément, la frange littorale méditerranéenne dans son ensemble (régions Occitanie – Sud – Corse).
- Mais une seconde action, toute aussi importante, sera la disponibilité des équipes informatiques principalement avec une organisation en 24h/24 365j/365 de personnel pour la seule activité de maintien opérationnel du dispositif informatique technique.

Par les choix exprimés par le SMOP et ses moyens humains et compétences internes, ces deux actions vont trouver réponse dans une externalisation pour le maintien opérationnel du poste central du SDAL.

3.4 ORGANISATION DE LA CELLULE OPERATIONNELLE CRUES

3.4.1 Activités

Quel que soit le niveau de technicité d'un système de suivi ou d'avertissement mis en place, une organisation pour le suivi temps réel des crues est nécessaire. Elle prend la forme d'une cellule hydrométéorologique avec du personnel (interne ou externe) mis en astreinte et formé à la supervision du dispositif hydrométéorologique.

Le personnel ainsi mobilisé en crue doit apporter une vision claire de l'aléa à l'échelle de la ou des collectivités concernées par la crue pour que le directeur des opérations de secours (le maire pour la commune) ordonne les actions de mise en sécurité appropriée.

En termes d'activités d'une cellule hydrométéorologique, cela concernent principalement :

- Pour les activités « hydrologiques » au sens large :
 - L'entretien et l'entretien et la maintenance préventive et curative des équipements

- Le jaugeage de chaque station (mesure précise de débit en rivière) ainsi que l'archivage des données de terrain ;
- L'élaboration, le suivi et la gestion des courbes de tarage ;
- Le traitement et la critique des relevés et leur bancarisation en tant que données validées ;
- La constitution, la gestion et la mise à jour des dossiers de vie des stations hydrométriques
- Pour les activités spécifiques au suivi des crues :
 - L'astreinte hors période d'alerte ;
 - L'assistance à l'exploitation durant les périodes d'alerte ;
 - Et éventuellement le jaugeage des débits de crue ;

Par entretien préventif, il faut comprendre une visite trimestrielle, dont une visite d'entretien préventif avant la période automnale (propice aux épisodes violents) et une visite au sortir de l'hiver. Au cours de chaque visite, les intervenants procéderont à toutes les réparations et opérations d'entretien nécessaires si des anomalies sont constatées.

Par entretien curatif, doivent être gardés à l'esprit que l'objectif prioritaire est de maintenir la continuité du fonctionnement des équipements. Pour ce qui est du poste central, les attentes minimum seront les suivantes :

- Disponibilité du service (par redondance des solutions) : 99,99%
- Garantie de temps d'intervention sur équipement défaillant (non redondé) : 8h, 24h/24 et 7 jours/7,
- Garantie de temps de rétablissement (non redondé): 12h, 24h/24 et 7 jours/7.

Pour ce qui est des stations, il est délicat d'imposer un temps de rétablissement car il sera dépendant de la fin de la période de crise pour des aspects de sécurité d'intervention du personnel sur le terrain, idéalement, une garantie de temps d'intervention sous 3 jours ouvrés après la fin de la période de crise.

3.4.2 Organisation de la cellule hydrométéorologique du SDAL SMOP

Il n'existe pas à notre connaissance, de document de référence (cadre Français) sur l'organisation d'un service opérationnel pour l'exploitation d'un SDAL. La circulaire du 4 novembre 2010 relative à l'évolution de l'organisation pour la prévision des crues et l'hydrométrie du MEED a dimensionné les besoins humains d'un Service de Prévision des Crues.

Il est aussi intéressant de faire un parallèle avec des projets menés à l'international, et citer notamment les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Météorologie sur l'effectif nécessaire pour chaque catégorie de personnel.

Trois informations à retenir pour un projet SDAL de grande ampleur en nombre de stations :

- En période de crise inondations, un prévisionniste ne doit pas gérer simultanément plus de 5 à 7 bassins versants, ou plus de 10 points de prévision ;
- Hors des périodes de crises inondations, un technicien peut assurer la maintenance et l'exploitation de 18 à 20 sites hydrométriques,
- En toutes périodes, les activités de jaugeage doivent mobiliser systématiquement deux intervenants au minimum pour des contraintes de sécurité;

A cela, il faut pouvoir assumer les problèmes de renouvellement des équipes lorsque la crue perdure, de façon différente si elle est lente (plutôt avec une organisation en 2×8 h) ou rapide (plutôt en 3×8 h), ou intermédiaire (on peut alors commencer en 3×8 h et poursuivre en 2×8 h).

Ces informations doivent être considérées comme indicatives car il est peu probable que le réseau envisagé par le SMOP soit aussi dense en termes de stations et de bassins versants. Ainsi, dans la situation actuelle du SMOP, l'équipe actuelle peut assurer au quotidien (hors crise) le suivi du SDAL, la maintenance des équipements est prévue quant à elle, externalisée dans le cadre d'un marché avec une entreprise spécialisée.

Il faut préciser que les moyens techniques nécessaires pour produire ces services, au-delà de la

mobilisation du personnel, peut aussi concerner la mobilisation d'une logistique notamment en intervention maintenance, comme les véhicules pour le travail sur le terrain, ou encore des locations de matériels spécifiques pour certaines interventions (nacelle pour travail en hauteur, engin de levage, engin travaux publics pour retrait d'embâcles). Ainsi, pour certaines activités, il peut s'avérer plus avantageux de recourir à un soutien extérieur de main d'œuvre spécialisée.

Cette remarque vaut pour les activités de maintenance des équipements in-situ. Mais fonction du degré de complexité du SDAL (suivi, prévision) qui sera construit dans le présent projet, l'équipe de la cellule hydrométéorologique devrait être pluridisciplinaire. Mobiliser en interne certaines expertises très spécialisées devrait être compliqué, aussi à des soutiens externes pour suivre le dispositif lors des crises devra être là aussi envisagé en priorité.

Commentaires :

Le choix a été tranché de ne mobiliser, les compétences internes au SMOP qu'en période de crise inondations, et pour les seules interprétations des conditions et des prévisions hydrométéorologiques sur le bassin versant de l'Ouvèze. Reste à définir le cadre très spécifique de la mobilisation de l'équipe SMOP durant un événement de crues qui pourrait perdurer au-delà d'une demi-journée (12 heures).

Toute autre prestation sera externalisée ou sortie du périmètre de fonctions endossées par le SMOP.

3.4.3 Cas particulier des activités de jaugeages

Nous focalisons ici notre réflexion sur les jaugeages en crues pour le seul établissement des courbes de tarage sur les hauts débits. Le SMOP ne disposant pas des équipements (ADCP) nécessaires pour de tels jaugeages, nous avons schématisé (Figure 34 Logigramme de mobilisation d'une équipe de jaugeage) ce que pourrait être la mobilisation d'un prestataire extérieur pour des jaugeages de crues.

Outre le fait que toutes ces étapes auront une contrepartie financière (mobilisation des astreintes), sans forte certitude de disposer d'une nouvelle information hauteur/débit venant renseigner la loi de tarage, il faut s'interroger sur la possible mise en danger de l'équipe de jaugeage lors du déplacement vers le site à jaugeer, au cœur de l'évènement pluviométrique.

Enfin, lors des crues importantes, les conditions hydrauliques ne permettent pas toujours la mise à l'eau d'appareils. Pour pallier à cette situation, le SMOP pourrait s'équiper de « pistolet radar vélocimétrique » pour la mesure des vitesses de surface sur les sections de mesure en crue. Même si cela ne constitue pas une mesure très précise, cet équipement permet une estimation du débit avec une erreur de l'ordre de 15 à 20 % à comparer à 7% annoncé un ADCP⁵. Mais utiliser ce pistolet vélocimétrique impose qu'un opérateur soit présent sur le site, même s'il est préférable de mobiliser deux personnes pour limiter les risques en situations parfois dangereuses.

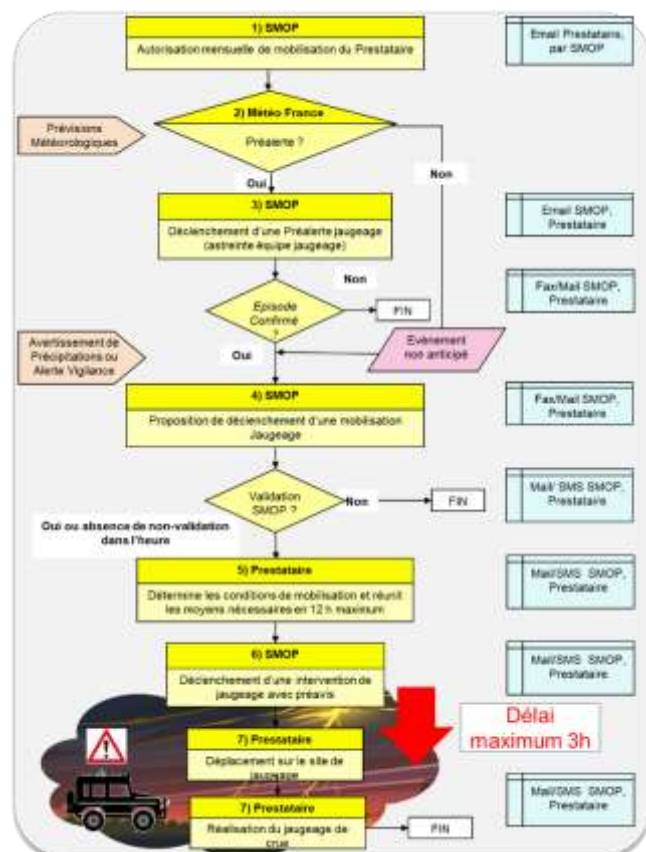


Figure 34 Logigramme de mobilisation d'une équipe de jaugeage

⁵ Guide pratique Inter comparaisons de mesures de débit en rivière (SCHAPI Mars 2016)

Nous avons mentionné la possibilité de jauger lors des crues. La question est posée d'une possible externalisation des activités de jaugeage. Comme pour la maintenance des équipements in-situ, les campagnes de jaugeage en crue sont contraintes à la sécurité des interventions durant les crises inondation. Vouloir jauger un pic de crue, requiert une mobilisation avant l'évènement, et donc un coût sans certitude de jauger un évènement majeur.

Autre alternative, compte-tenu de la rareté de ces événements, trois scénarii :

- équiper certains sites limnimétriques d'un dispositif de mesure simplifiée par exploration du champ des vitesses de surface (radar vélocimétrique in-situ, caméra LSPIV type TENEVIA),
- privilégier l'usage du pistolet « vélocimétrique » (radar vitesse de surface) pour estimer les conditions hydrauliques en crues, et le SMOP peut investir dans ces équipements et former quelques intervenants des cellules de crise pour effectuer ces mesures lorsqu'ils se déplacent pour observer certains points névralgiques ;
- ou encore préparer certaines sections (études bathy et topo) pour que ces mêmes observateurs fassent des prises de vue vidéo (avec leurs smart phones), vidéos qui seront étudiées à posteriori pour déterminer la vitesse (prestations TENEVIA par exemple)

Commentaires Si ce choix de « jauger » en période de crues est confirmé par le SMOP, le troisième choix semble présenter le meilleur compromis précision/coût/sécurité.

Le SPCGD a souhaité mentionné que ses équipes d'hydrométrie cherchent à fiabiliser les techniques de jaugeages sur ce bassin complexe, et propose d'orienter la discussion vers un partage des ressources et d'expérience autour de cette problématique des jaugeages.

3.4.4 Assistance hydrologique aux cellules de crise communales

Nous avons déjà évoqué le rôle actif de l'équipe technique du SMOP au cœur de la gestion de crise et avons tranché pour sa participation à l'interprétation des états et prévisions hydrométéorologiques.

La question se pose d'ouvrir le SDAL à Prédicit Service (ou toute autre entreprise) pour lesquelles les communes adhérentes du SMOP, souscrivent à un service d'appui à la gestion de crise.

Prédicit Services dispose des compétences hydrométéorologiques pour interpréter les informations (mesures et prévision) fournies par le SDAL, mais ceci ne doit pas masquer aux collectivités, le travail de prévision effectué par le SMOP.

Commentaires : Si le SDAL est ouvert à Prédicit Services (ou toute autre entreprise impliquée dans la gestion de crues et en contact avec les collectivités), une convention doit clarifier les règles de communication (écrite et verbale) des prévisions aux collectivités.

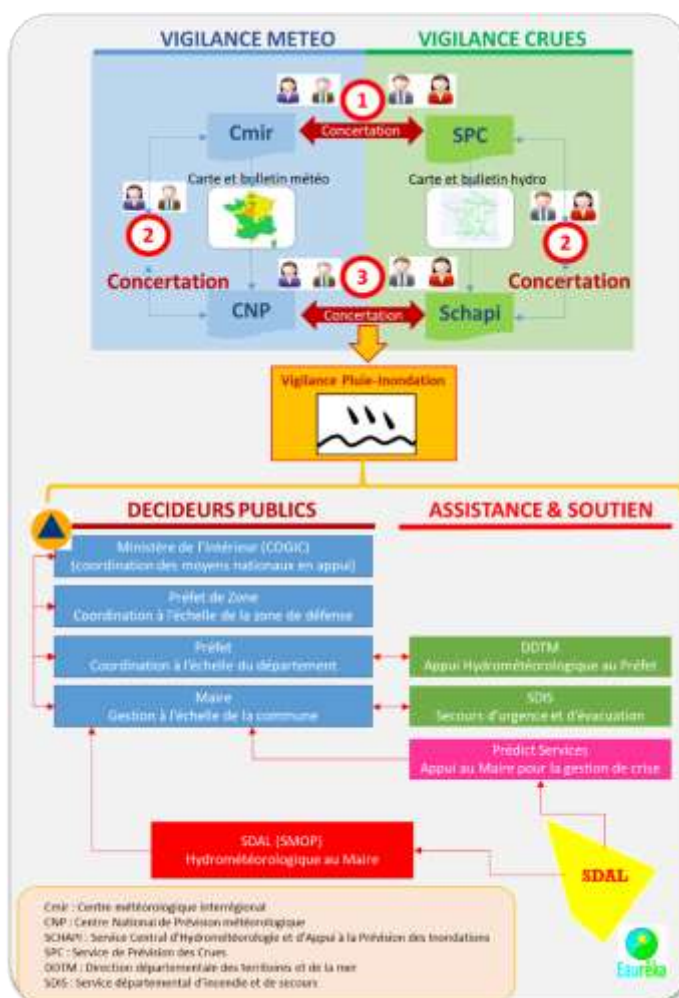


Figure 35 Positionnement du SDAL parmi les gestionnaires de la crise Inondations

3.5 SUIVI PLUVIOMETRIQUE

3.5.1 Gradient pluviométrique

Nous avons à maintes reprises, mentionné la nécessité d'accéder à une information pluviométrique temps réel fiable et représentative pour permettre une anticipation des crues.

Certes, l'étude de détermination des volumes prélevables considère sans trop l'étayer, que le gradient topographique sur les pluies du bassin de l'Ouvèze est faible. Cette remarque s'inscrit dans une logique de gestion des ressources en eau, et ne vaut que pour les cumuls pluviométriques sur de longues périodes (mensuelles voire annuelles).

Néanmoins, la visualisation ci-après des images radar sur l'évènement de 2019 montre une certaine hétérogénéité des intensités de pluies et le besoin de densifier le suivi pluviométrique, en s'adossant si possible à la donnée radar et en la corrélant à quelques postes de mesures pluviométriques in-situ.

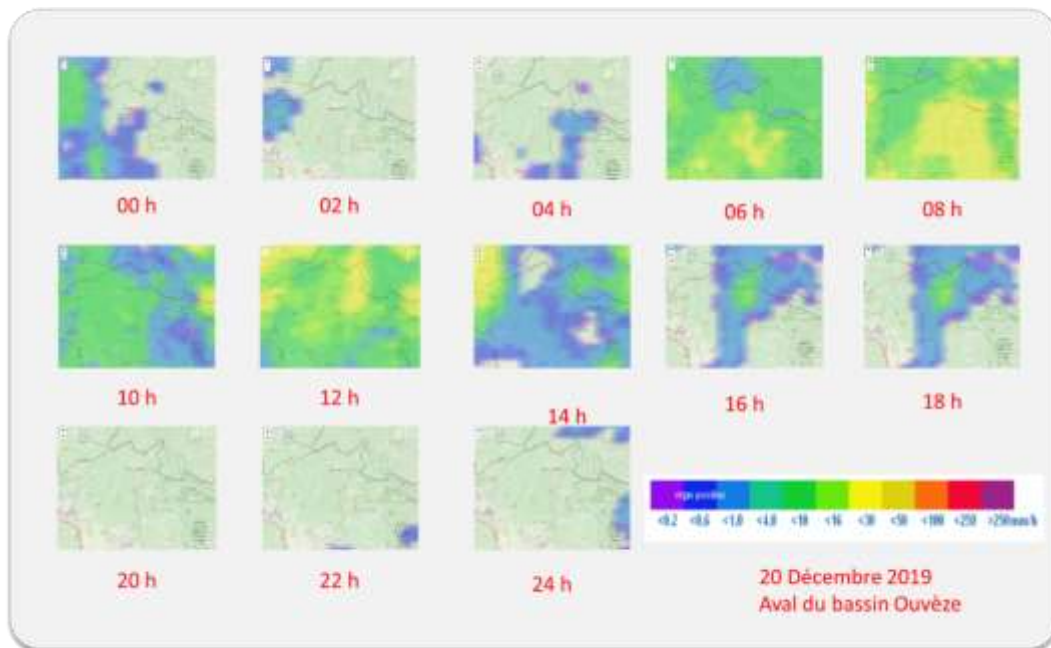


Figure 36 Suivi radar météorologique 20 décembre 2019

Comme déjà mentionné, la connaissance de l'évapotranspiration est une donnée importante dans la modélisation hydrologique. Il serait donc judicieux que ces quelques stations pluviométriques puissent être complétées pour certaines, de capteurs de température de l'air voire de pression atmosphérique, ou encore de vent (vitesse, orientation) pour répondre aussi aux attentes de suivi des étiages (anticipation des prélèvements pour irrigation).

La rationalisation du réseau pluviométrique nous semble devoir être effectuée. Elle va définir la densité et la localisation de sites pluviométriques pour assurer un bon suivi des précipitations sur le bassin versants, un suivi s'appuyant sur les réseaux in-situ existants, le futur réseau SMOP, complété ou non du suivi radar météorologique.

Commentaires :

Nous suggérons que l'étude de rationalisation soit intégrée dans les termes de référence pour

l'élaboration d'un modèle de prévision des crues.

3.5.2 Réseaux pluviométriques existants

En complément au réseau SPCGD, et à un éventuel réseau pluviométrique propre au SMOP, d'autres réseaux existants peuvent venir enrichir ce suivi pluviométrique.

3.5.2.1 Réseau Radome MétéoFrance

MétéoFrance exploite un réseau temps réel (de 550 stations automatiques environ) sur le territoire Français au pas de temps horaire et/ou infrahoraire (6mn) pour le suivi de paramètres de base (température, humidité, direction et force du vent, précipitations) et paramètres complémentaires selon instrumentation (température dans le sol, visibilité, état du sol, insolation, rayonnement global). Pour information, l'abonnement annuel à 1 station du réseau Radome est de 376 Euros.

3.5.2.2 Réseau climatologique CIRAME

Ainsi la chambre d'agriculture du Vaucluse s'appuie sur les compétences du CIRAME (<http://www.agrometeo.fr/index.asp>) le Centre d'Information Régional Agrométéorologique installé à Carpentras, qui dispose de son propre réseau climatologique, même si le réseau est peu densifié sur l'Ouvèze amont, et l'accès aux données payant.

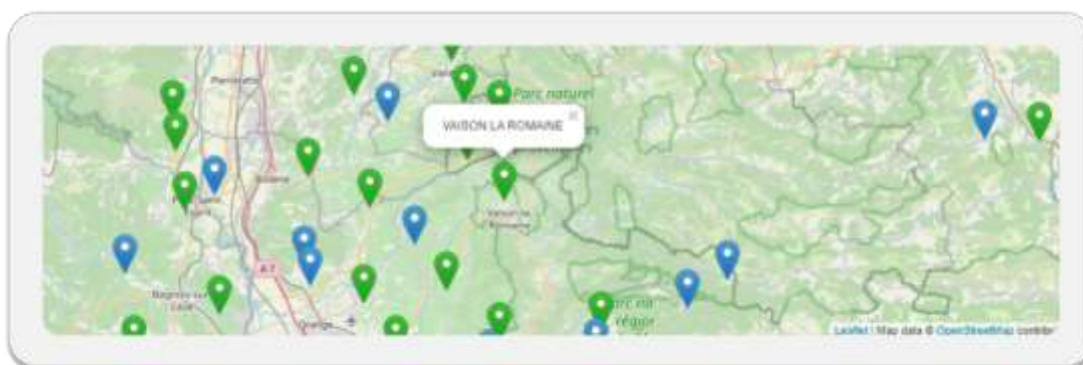


Figure 37 Cartographie des stations climatologiques CIRAME

Commentaires :

Le choix ou non d'accéder à ce réseau sera posé dans les termes de référence pour l'élaboration d'un modèle de prévision des crues.

3.5.2.3 Réseau pluviométrique auto-surveillance assainissement

La commune de Buis les Baronnies a proposé de se rapprocher de son gestionnaire d'ouvrage d'assainissement Suez pour voir comment accéder aux données pluviométriques pour l'autosurveillance des réseaux d'assainissement.

L'intérêt serait de collecter tous les pluviomètres d'autosurveillance⁶ auprès des 3 exploitants principaux (Veolia, Suez et Saur), à priori présents sur l'ensemble du bassin de l'Ouvèze, mais sans certitude toutefois que les sites pluviométriques respectent les conditions d'installation prescrits par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (approche autosurveillance plus « souple »).

Cette proposition est intéressante mais soulève quelques interrogations techniques.

⁶ Suivi des ouvrages assainissement sur les agglomérations d'assainissement supérieures à 2 000 équivalent Habitants

Pour accéder à ces informations le plus aisément possibles, la collecte doit se faire au niveau de chaque poste d'acquisition, à priori des équipes type Sofrel S500 le plus couramment rencontrés en hydraulique urbaine. Ces équipements peuvent être rattachés à deux postes centraux de supervision distincts, mais le protocole de communication utilisé doit être à priori identique.

Dans notre perception du futur poste central du SMOP, l'architecture devrait être hébergée en cloud datacenter, cela veut dire qu'aucun équipement matériel (hardware) ne peut être envisagé au niveau du poste central.

Toute la couche de communication doit être assurée en logiciel et non en matériel comme cela est le cas avec le frontal de communication FR1000. Le partage des informations ne pourra s'envisager que si le poste d'acquisition Sofrel S500 est connecté avec le superviseur Suez via un protocole sous TCP-IP (Modbus TCP-IP par exemple) en connexion sur réseau 3G sans fonction de sécurisation APN.

Cette architecture technique est relativement complexe car les systèmes de supervision exploitant, sont considérés comme dispositif « d'opérateur de services essentiels » soumis à des contraintes fortes de cybersécurité.

La solution envisageable serait un export automatique du superviseur vers un serveur FTP, mais des expériences passées montrent que la maintenance de telles architectures est compliquée dans la durée (changement de configuration effectuée par l'exploitant, sans informer le responsable du système d'informations (équivalent à un SDAL).

Si le choix était fait par le SMOP de poursuite dans cette voie, il sera alors nécessaire que le SMOP prenne contact avec les trois principaux prestataires présents sur le bassin de l'Ouveze pour que nous puissions vérifier la faisabilité technique de récupération des données en Temps Réel, et l'intégrer dans les termes de référence du SDAL.

La faisabilité technique confirmée, il faudra alors que le SMOP établisse une convention avec les contraintes administratives et commerciales, avec ces prestataires et les communes concernées.

Commentaires :

Ce choix ne nous semble pas à retenir, car les coûts de mise en œuvre ne seront pas minimes (minimum 10 keuros au minimum par superviseur exploitant), à comparer à des sites pluviométriques propres au SMOP (environ 12-15 Keuros par site).

3.5.3 Suivi radars météorologiques

3.5.3.1 Les différents radars disponibles pour le suivi de l'Ouveze Provençale

En complément au réseau pluviométrique in-situ, nous proposons de réfléchir à un suivi par radar météorologique, données parfois recalibrées avec le réseau in-situ de Météo France.

Les radars météorologiques permettent une mesure indirecte des précipitations de manière spatialisée : en fonction de la quantité de signal réfléchi (réflectivité), des formules plus ou moins empiriques permettent d'estimer les intensités de précipitations à la maille du km² – voire plus finement et au pas de temps 5 ou 15 minutes selon les cas et le type de produit (lames d'eau brutes ou calibrées à partir des postes pluviographiques), avec une latence très faible (disponibilité à t+2 minutes après acquisition).

En fonction des gammes de fréquence utilisées, la portée du radar peut atteindre 150 à 200 km (radars en bande C ou S) ou 40 à 60 km (radars en bande X), la précision et la résolution diminuant toutefois avec l'éloignement du radar. En outre, en contexte montagneux, cette portée théorique peut être grandement réduite par le masque imposé par le relief environnant le radar.

Le radar, s'il ne permet qu'une mesure indirecte des précipitations et s'il est entaché d'incertitudes importantes, constitue néanmoins un complément très intéressant aux mesures ponctuelles de précipitations (pluviographes) dans la mesure où il fournit une vision spatialisée des champs de pluie et de leur mouvement, permettant potentiellement une anticipation de quelques dizaines de minutes à quelques heures selon le type d'épisode pluvieux (orage, perturbation, etc.).

La carte ci-après fournit un aperçu des différents radars présents sur le territoire métropolitain.

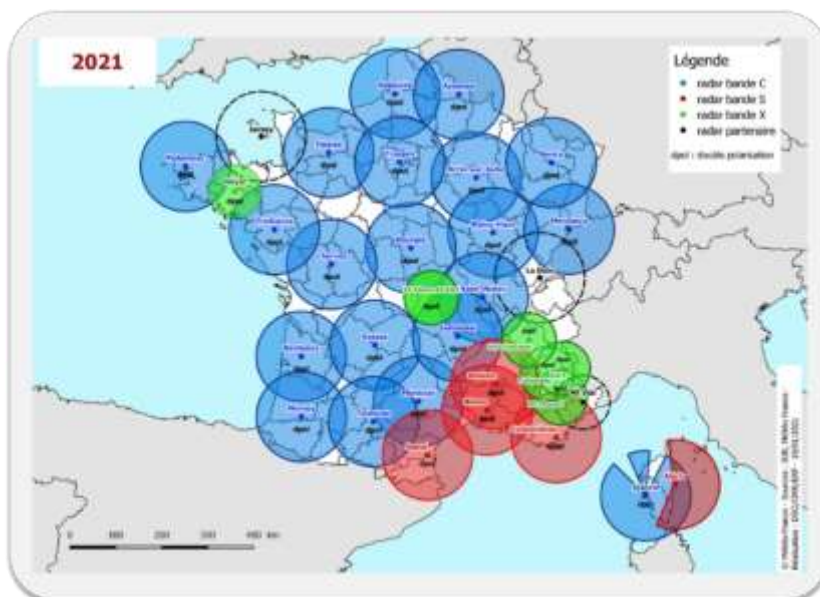


Figure 38: carte de localisation des différents radars météorologiques sur le territoire métropolitain

Les cercles autour des radars en bande S (en rouge) et C (en bleu, en noir pour les radars limitrophes) ont un rayon de 100 km. Les cercles autour des radars en bande X (en vert) ont un rayon de 50km. Dpol veut dire double polarisation ; il s'agit des radars de dernière génération capables de distinguer le type des précipitations.

5 radars météorologiques peuvent potentiellement intéresser le bassin versant de l'Ouvèze si le relief n'offre pas de masquage:

- Le radar de Bollène (portée 100 km) sur la globalité du bassin versant
- Le radar de Nîmes (portée 100 km) sur la partie aval du bassin
- Les radars (portée 50 km) sur les mont Moucherotte, mont Colombis et sur le sommet de la Mayt à Vars

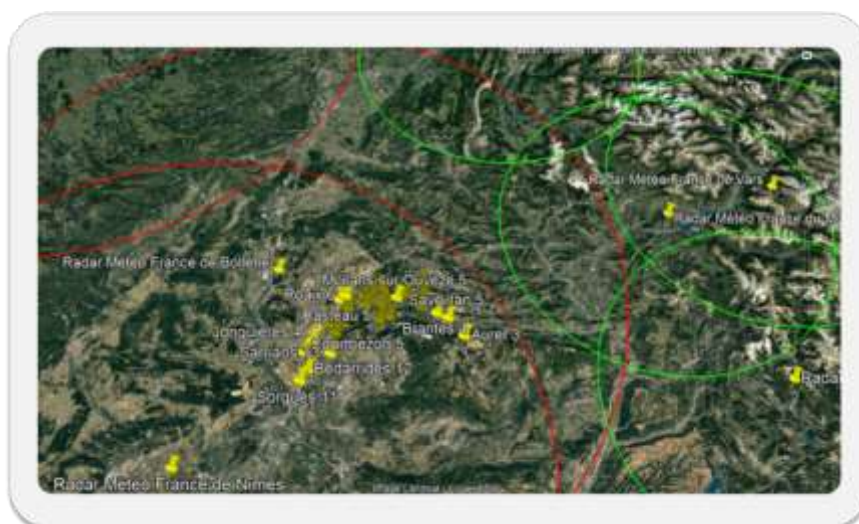


Figure 39: carte de couverture théorique des radars météorologiques sur le bassin de l'Ouvèze

Les 3 radars, implantés à Nîmes, Collobrières et Bollène, sont utiles pour mesurer les précipitations en plaine, mais insuffisants pour couvrir les zones plus montagneuses sur l'amont. Les signaux émis sont en effet masqués par les premiers reliefs en amont de Buis les Baronnies.

Le SPCGD quant à lui, base ses prévisions pluie-débit sur ces lames d'eau radar (Bollène et Nîmes,

et sur la lame d'eau mosaïquée de Météo France (Panthère + Antilope).

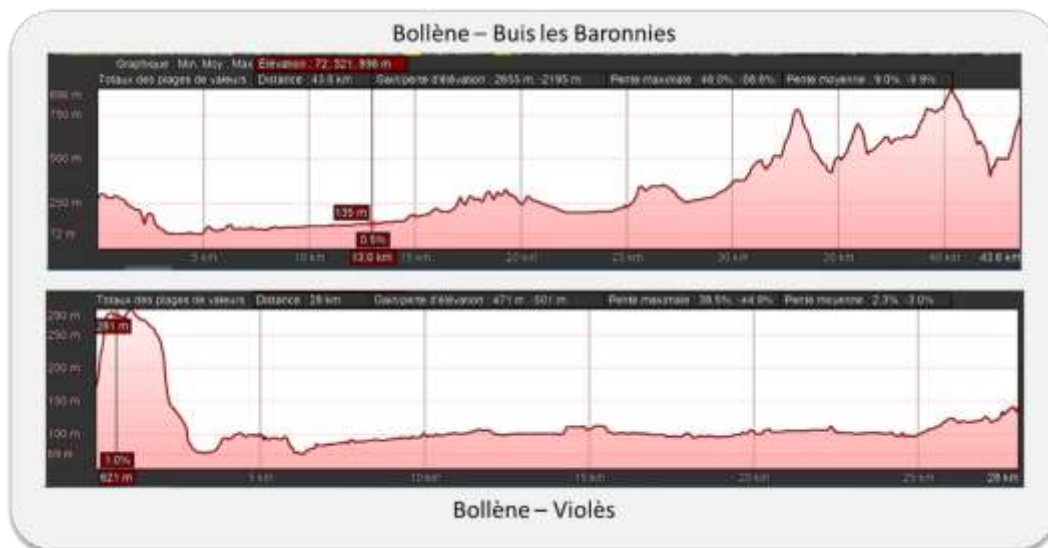


Figure 40 Visibilité du radar de Bollène sur le bassin de l'Ouvèze

Des radars « Doppler bipolarisés⁷ en bande X » seront respectivement implantés, sur la montagne de Maurel (1770 mètres), sur le mont Colombis (1770 mètres) et au sommet de Vars Mayt (2400 mètres).

Ces radars bande X sont situés en limite voire au-delà de la zone de couverture des radars en bande X (60 km), mais présentent une mauvaise visibilité de l'amont du bassin de l'Ouvèze du fait de leur « faible » altitude et des massifs montagneux qui s'interposent sur le parcours. Ils peuvent néanmoins fournir des indications sur les formations orageuses qui se forment en hautes altitudes.

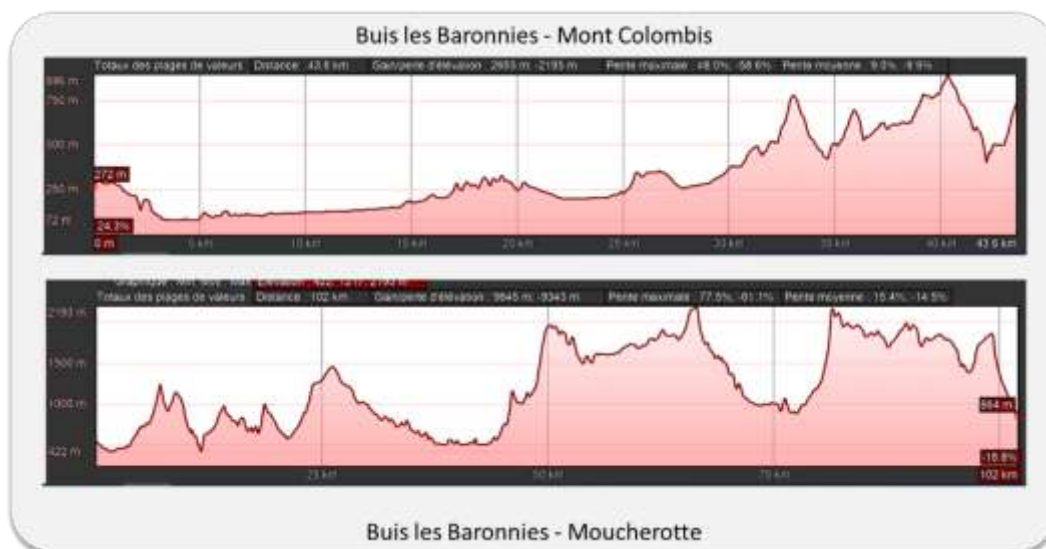


Figure 41 Visibilité des radars bande X sur l'amont de l'Ouvèze

⁷ grâce aux deux ondes émises au lieu d'une pour les radars classiques, leur vision est améliorée en cas de fortes précipitations, lorsque le rideau de pluie, neige ou grêle risque de l'obstruer

3.5.3.2 La Plateforme RHYTMME

Le projet RHYTMME (Risques Hydrométéorologiques en Territoires de Montagne et Méditerranéens) avait pour objectif de déployer, au cœur des Alpes du sud, trois radars compacts de nouvelle génération (Doppler bipolarisés en bande X).

Il s'agit des trois radars mentionnés dans le chapitre précédent, radars bande X dédiés à l'observation de la pluie en zone de relief, et qui sont venus compléter le réseau ARAMIS des radars météorologiques de Météo-France.

Ils sont utilisés pour développer des services d'aide à la gestion des aléas naturels en zone montagneuse (pour l'ONF, la RTM, les SPC et les collectivités locales). Ils fournissent des cumuls de pluie et des alertes sur les dépassements de seuil statistique sur les pluies (périodes de retour 2, 10 et 50 ans). Ces seuils sont basés sur la méthode SHYREG-pluie et débit.

Trois limites majeures ont été pointées dans le cadre de l'utilisation de cette plateforme par les acteurs du bassin versant :

- L'historique des données consultables est limité à une semaine ;
- **L'impossibilité d'accéder aux données brutes et de les exporter** en vue d'une valorisation au travers d'autres outils comme des **modèles de prévision hydrologique** typiquement ;
- L'absence de mode « push » (envoi d'alerte en cas de dépassement de seuil, type APIC), ce qui suppose un suivi proactif d'un événement

Commentaires :

Seul le SMOP pourra vérifier l'utilité ou non d'analyser les images radar dans cet environnement. Nous suggérons que le SMOP sollicite les conditions d'accès (techniques et commerciales) fasse une demande d'accès : Abonnement gratuit sur demande à : rhytmme@meteo.fr et adresse web : <http://www.meteo.fr/extranets/> (informations datant de 2016. Non actualisée à ce jour).

3.5.3.3 Achat des données radar

L'abonnement auprès de Météo France pour l'accès annuel à la mosaïque nationale (réflectivité et/ou lame) est de 100 000 euros HT. Ce prix est suffisamment dissuasif pour imaginer une quelconque discussion commerciale à l'échelle du bassin versant.

Il est possible d'acheter les données de couverture radar à l'unité, soit pour un radar individuel ou domaine de moins de 40 000 km² à raison de 0,65 € (sur un compte MétéoFrance prépayé), soit 187 euros par jour.

Il est envisageable d'acheter « au détail » auprès de Prédic Services, les données radar sur le seul territoire du bassin versant de l'Ouvèze. Lors d'un précédent projet sur le territoire de la communauté de communes du golfe de Saint Tropez (elle-même abonnée aux services Prédic), l'accès via serveur Ftp aux pluies radar en temps réel était facturé huit mille (8 000) euros HT par an.

Commentaires :

Le choix ou non d'exploiter les données radar doit être posé dans les termes de référence pour l'élaboration d'un modèle de prévision des crues. Le coût sera à intégrer dans le contrat annuel d'actualisation du modèle de prévision.

3.5.4 Autres services de suivi : dispositifs APIC et VigiCruesFlash

Le dispositif APIC (Avertissement des Précipitations Intenses à l'échelle des Communes) déployé depuis une dizaine d'années par Météo-France couvre désormais l'intégralité du territoire métropolitain alors qu'il excluait jusqu'à il y a peu les zones où l'image radar n'était pas considérée comme fiable.

Le caractère récent de cette évolution n'a pas encore permis de dresser de retour d'expérience sur l'intérêt et la valeur ajoutée de ce dispositif vis-à-vis des problématiques étudiées (capacité d'observation et de détection des événements, pertinence des seuils statistiques, etc.).

Le dispositif VigiCruesFlash déployé de manière opérationnelle depuis 2017, fournit des prévisions de dépassement de seuil statistique de débit à l'échelle de tronçons hydrographiques

L'accès à ces services est gratuit pour les communes, les intercommunalités et les opérateurs de réseaux (fourniture d'énergie, distribution et traitement d'eau...).

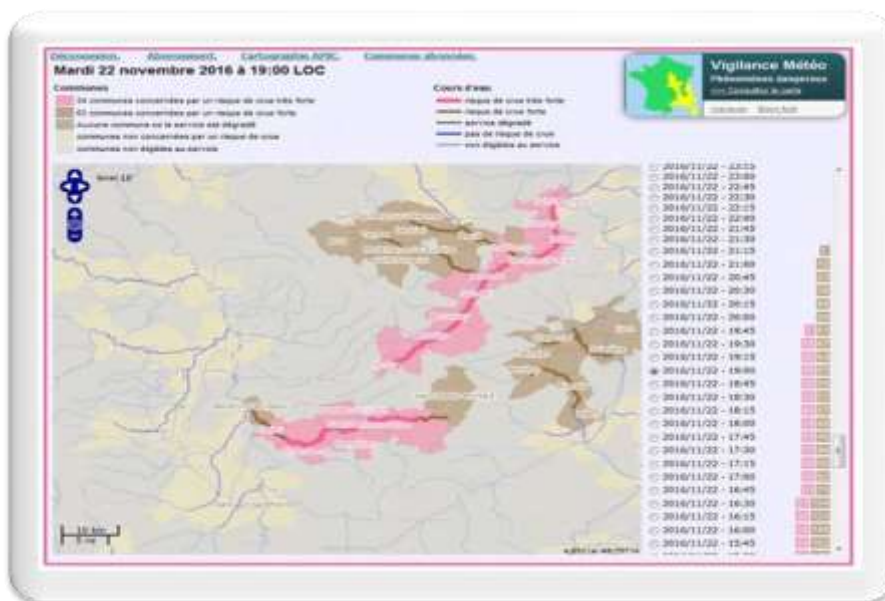


Figure 42 Exemple de carte VigiCrues Flash

Commentaires :

Le SMOP a certainement déjà communiqué ce service à ses communes adhérentes.

3.5.5 Prévisions pluviométriques

Comme exposé dans le chapitre (2.3.6.4.2 Modèle hydrologique GRP), la prévision des pluies à un horizon supérieur au temps de réaction du bassin versant est nécessaire pour construire une prévision hydrologique aux crues.

Météo-France utilise deux modèles complémentaires la prévision du temps jusqu'à 3 jours d'échéance: ARPEGE, pour les phénomènes de grande échelle (sur l'Europe avec une maille de 5 km) et AROME, pour les phénomènes localisés jusqu'à un jour d'échéance. Il couvre un domaine limité à la France métropolitaine et les pays voisins (maille de 1,3 km), modèle de prévision à des fins de vigilance pour ARPEGE, AROME offrant une réponse aux besoins de prévision pour l'avertissement.

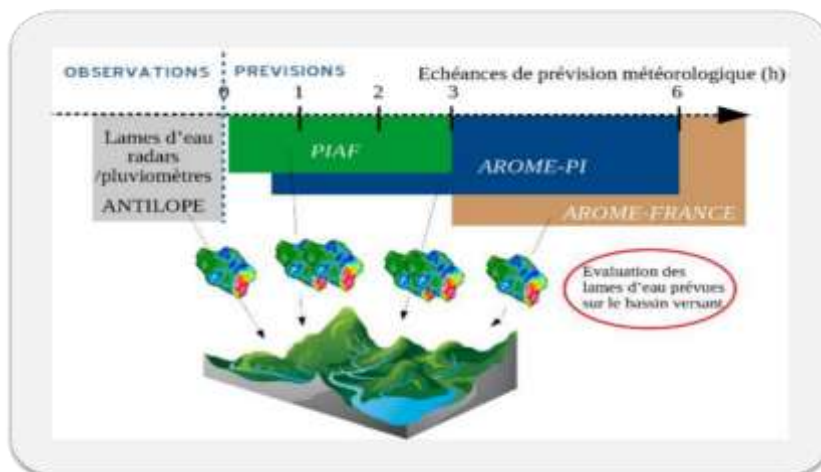


Figure 43 Les différentes prévisions pluviométriques de MétéoFrance

Ces deux modèles de prévision ARPEGE et AROME sont accessibles en licence ouverte EtatLab (gratuite) mais uniquement via WebServices WMS en visualisation et WCS en acquisition de données.

Enfin, la prévision PIAF-Lame d'eau, ou PIAF-RR (pour « Rain Rate » en anglais), fournit une prévision déterministe d'image de lame d'eau sur la France métropolitaine à 1 km de résolution jusqu'à 3h d'échéance. Des nouvelles prévisions sont produites à une cadence de 5 min et fournissent des sorties toutes les 5 min.

La lame d'eau désigne les précipitations au sol cumulées sur une certaine période de temps, période qui est de 5 min ici. PIAF-Lame d'eau se base sur une fusion d'images de lame d'eau extrapolées et d'images équivalentes simulées par le modèle régional à échelle kilométrique dédié à la Prévision Immédiate AROME-PI.

Le but est de tirer le meilleur parti de ces deux sources d'information, notamment en bénéficiant de la prévision numérique pour les échéances où l'extrapolation n'est plus pertinente. Cette dernière ne fournit en particulier pas d'information sur la tendance des pluies prévues et ne tient pas compte du relief qui, en plus de perturber la mesure radar, impacte parfois fortement l'évolution des systèmes précipitants.

L'information est mise à disposition toutes les 5 minutes mais disponible 10 minutes après l'acquisition auprès du réseau radar. Toutefois, PIAF⁸ est considérée de très bonne qualité jusqu'à 1h de prévision, mais cette qualité se dégrade très rapidement, pour atteindre une qualité comparable voire inférieure à AROME-PI au-delà de 1h15/1h30 de prévision. Entre 2h et 3h d'échéance, AROME-PI est de qualité supérieure ou équivalente à PIAF.

Renseignements pris auprès de **MétéoFrance**, l'abonnement annuel pour les services PIAF avec une actualisation toutes les 15 minutes, pour une **prévision pluviométrique** au pas de 5 minutes sur un horizon de **5 à 180 minutes**, cet abonnement est facturé **35 000 euros par an**.

Commentaires :

Certes la prévision PIAF pourrait apporter une précision meilleure dans certaines conditions, mais au prix d'un abonnement qui nous semble totalement inapproprié (service à ne pas retenir).

Le choix d'exploiter les modèles de prévision ARPEGE et AROME accessibles gratuitement sera à analyser dans les termes de référence pour l'élaboration d'un modèle de prévision des crues.

La question de l'interfaçage via le webservice sera à considérer dans le superviseur.

3.6 SUIVI HYDROLOGIQUE

Complément au suivi pluviométrique, le suivi hydrologique doit lui aussi suivre des règles de rationalisation pour optimiser le nombre des sites limnimétriques. Ces règles diffèrent selon que le réseau est destiné à la gestion des ressources (suivi étiages dans notre cas), ou avertissement aux crues. Vous trouverez les présentations de ces différentes rationalisations dans le document annexe C.

3.6.1 Densification du réseau de suivi des étiages

Commentaires :

La station hydrométrique du SPCGD sur le Toulourenc se nomme « Veaux » alors qu'elle est à priori installée sur la commune de Mollans. Le point de suivi des étiages se nomme Mollans, mais il s'agit bien d'un seul et même site de mesure.

La rationalisation a d'une certaine manière été traitée dans l'étude PGRE (Plan de Gestion des Ressources en Eau). Une station a été identifiée dans une fiche action du PGRE comme point stratégique de référence sur l'Ouvèze à Buis-les-Baronnies. Le déplacement de la station SPCGD à

⁸ These : Prévision à très courte échéance des crues rapides méditerranéennes par Alexane Lovat <http://www.theses.fr/2019INPT0105>

l'entrée de la commune (voir chapitre 2.3.6.2Le réseau hydrométrique SPCGD) pourra offrir cette information si :

- Le seuil existant à ce site potentiel (seuil qui fait l'objet d'une étude pour sa modification afin d'assurer la continuité écologique du cours d'eau) offrira dans sa configuration future une bonne sensibilité (Hauteur,Débit) pour le suivi des bas débit (échancrure dans le seuil ou passe à poisson).
- Si les mesures hauteur et débit sont toujours transmises par le SPCGD, restera à confirmer la faisabilité de la courbe de tarage lorsque l'étude du nouveau seuil (et l'éventuelle passe à poisson) aura été finalisée.

Par ailleurs, un site plus en amont de Buis les Baronniees a été recherché sur la commune de Vercoiran (ce nouveau site servira par ailleurs à l'anticipation des crues sur Buis).

En

. Le site pourrait se positionner en amont des gorges d'Ubrieux, lorsque la route de Sédéron traversant l'Ouvèze. Un site installé sur le pont offrirait une possibilité d'annonce de crues à la commune de Buis avec une anticipation de l'ordre de 15 à 20 minutes.

Il convient néanmoins de vérifier :

- qu'aucun prélèvement irrigation important ne vient bousculer la stratégie de suivi envisagée par le PGRE ;
- que ce site est couvert par un service d'internet mobile mais semble disponible sur le réseau Orange (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)
- que la section de mesure se prête à la mesure des étiages et des crues. La photo ci-après (Figure 44 Site de mesure) semble montrée des roches qui perturbent l'écoulement de l'Ouvèze. Il conviendra donc d'être vigilant à la visite en période de basses eaux ;



Figure 44 Site de mesure de Vercoiran (chemin de la Mondone)

Ce site permet l'installation des équipements sur un pont surplombant l'Ouvèze. Il a été préféré au pont la D242 (Hubac) dont une protection de rive est aménagée et laisse penser à une zone de baignade.

D'autres sections hydrauliques (passages à gué) offrent des veines hydrauliques fluides pour les jaugeages mais la colonne d'eau est insuffisante (20 cm lors de la visite Novembre 2021) pour donner

un jaugeage précis.

Ce site de la Mondole est certes dans un méandre, mais la berge rive gauche (extrados) est aménagée avec un mur de soutènement qui canalise la veine hydraulique. Lors de la visite de terrain, la section active (triangle) était d'environ 2,5 m de large avec une profondeur de 1 mètre environ, et une longueur de chenal de stabilisation de la veine équivalent à 4 - 5 fois la largeur. Le jaugeage devrait être plus précis par la colonne d'eau importante, et le déversoir naturel aval qui élimine toute influence aval.

Une attention particulière devrait portée à l'utilisation de cette station pour un usage de crues, la mesure de niveau étant susceptible d'être influencée par l'extrados.



Figure 45 vue de la section hydraulique Vercoiran

3.6.2 Densification du réseau d'avertissement aux crues

En complément à ce réseau, les premières réflexions menées avec le SMOP envisagent l'instrumentation de nouveaux sites, un site sur l'Eyguemarse, et deux sites sur la Seille.

Commentaires :

Les cours d'eau sur le bassin ont tous en commun des vitesses de flux importants et des profils de lit relativement changeant au gré des crues. Cet aspect va être contraignant pour la pérennité des courbes de tarage.

3.6.2.1 Eyguemarse

L'Eyguemarse est un affluent important de l'Ouvèze en amont de Vaison la Romaine (Mollans-sur-Ouvèze). Nous proposons d'équiper un site limnimétrique sur le pont sur la RD 46, environ 450 mètres en amont de la confluence de l'Eyguemarse et de l'Ouvèze.



Figure 46 site potentiel sur l'Eyguemarse

D'un point de vue hydrologique, ce site va fournir une connaissance des apports de l'Eyguemarse à l'Ouveze. Mais l'installation doit respecter certaines contraintes précisées dans le document annexe C et notamment :

- la stabilité de la section hydraulique,
- l'installation hors d'eau (PHE) pour les équipements
- la sécurité pour les interventions de maintenance ;
- le risque vandalisme car le site sera vraisemblablement alimenté par panneaux solaires ;

3.6.2.2 Seille

Un site a été recherché lors de la traversée de la Seille dans la commune de Courthézon, notamment lors de son passage en dallot sous le rond-point du boulevard de la République, ce qui offre une section calibrée stable. Lors de la visite de terrain, l'entrée dallot est gérée par des vannes d'isolement du bief (activités piscicoles ?). L'installation sera donc plus efficace en sortie du dallot et la physionomie de la Seille s'apparente plus à un canal d'irrigation. Les faibles pentes de la Seille, l'influence aval liée à l'inondation des casiers sur Bedarrides incite à équiper ce site d'un débitmètre (type Mainstream) pour avoir réellement connaissance du débit.



Figure 47 site potentiel sur la Seille (traversée Courthezon)

3.6.2.3 Ouvèze à Violès

Ce site potentiel est un point de suivi important pour la commune de Violès et peut fournir un site de contrôle de la propagation de la crue pour les communes en aval comme Bedarrides, qui ne disposent aujourd'hui que du site de Roaix comme repère en amont.

Avant tout, ce site doit plus être considéré comme un point d'annonce de la crue (constatations) pour les communes, car le SPCGD souhaite mentionner que ce site risque de présenter les mêmes difficultés de jaugeage que celles rencontrées à Roaix (forte mobilité du lit), et ne devrait rien apporter de plus en termes de débit de pointe, les débordements en rive droite ont lieu plus en aval.



Figure 48 site potentiel sur l'Ouvèze à Violès

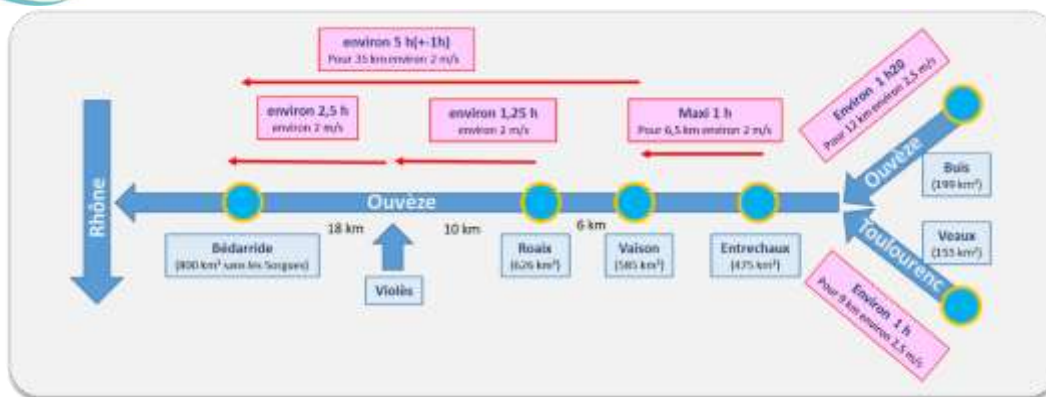


Figure 49 apport de ce site de Violès au suivi de la crue

Ce site offrira un point de suivi de la crue tout au long de l'Ouveze puisqu'actuellement, aucun site n'assure la surveillance sur un tronçon de près de 28 kilomètres sur la zone aval.

La question est posée d'équiper le site sur le vieux pont qui serait plus sûr pour les interventions de maintenance (voie rapide sur nouveau pont), mais les dégâts sur le parapet du vieux pont peut laisser craindre pour sa pérennité. De même, un aménagement de protection frontale en rive droite doit produire des effets (complexes à imaginer) lors des crues importantes.



Figure 50 Vieux pont Violès

3.7 MODELES DE PREVISION HYDROLOGIQUE

Le projet revêt deux volets, les crues et les étiages. Si le premier aspect est un besoin vivement exprimé par les collectivités, le second aspect, s'il ne constitue pas une priorité, peut tout à fait faire l'objet d'une collaboration de recherche du SMOP avec un laboratoire d'hydrologie. A cette fin, nous présentons le fruit d'une collaboration d'institutions Françaises.

3.7.1 Prévisions des crues

Nous avons décrit dans le document Annexe D, les différentes approches utilisées pour la prévision hydrologique et notamment la phase amont, la prévision météorologique. Une description relativement bien détaillée du logiciel GRP développé par l'INRAE, permet dans ce document annexe, de mieux comprendre le fonctionnement de ce modèle hydrologique global, apparenté aux modèles conceptuels, mais qui fonctionne en continu à pas de temps horaire. Ce modèle a été développé pour

un objectif spécifique de prévision des crues avec une collaboration forte avec les SPC et le SCHAPI.

Mais il nous faut ouvrir la réflexion à d'autres outils et ne pas imposer GRP comme étant la seule solution à la prévision des crues. Pour cela, nous formulerons dans les termes de référence pour la prévision des crues, que l'ingénierie attributaire du marché, argumente dans une première phase de l'étude, le choix de l'outil définitif.

Dès à présent, nous vous proposons les grandes lignes suivantes pour élaborer les termes de référence :

L'objet de la demande :

- Un modèle de transformation pluie-débit capable de convertir en temps réel de la pluie en un débit ruisselé (mode « simulation ») et de prévoir les débits à quelques heures d'échéance (mode « prévision ») à partir des dernières données pluviométriques et éventuellement radar,
- Une méthode de prévision du dépassement des seuils caractéristiques de crue (2, 5 et 10 ans) pour les prochaines heures,
- Un outil informatique fiable de prévision opérationnelle, hébergé en cloud, capable de fournir en toute circonstance la meilleure prévision des crues à partir de toutes les observations hydrométéorologiques disponibles,
- Une maintenance du service (matériel, logiciel, calage du modèle) avec une astreinte 24h/24 ;

Faute d'un historique important, l'outil de prévision recherché devra permettre d'identifier et prévoir les crues fréquentes à partir d'une période de retour de 2 ans. A cet effet, la première information que devra fournir l'outil de prévision correspond au dépassement ou non d'un seuil de débit souvent proche de la crue biannuelle voire annuelle, qui engendre des coupures des axes routiers principaux (débit crues retour 2 ans proche du débit de pleins bords). Ensuite, bien entendu l'intensité d'une crue est aussi une information primordiale pour la gestion de la crise.

La démarche proposée sera :

- Collecte des données historique ;
- Sélection des événements à retenir pour le calage
- Etude comparative des modèles opérationnels de prévision des crues et sélection de l'outil pour le SMOP. L'outil de modélisation devra reproduire les crues fréquentes (de l'ordre de la crue biannuelle), car l'outil de prévision attendu devra autant que possible permettre de détecter les crues fréquentes comme les moins fréquentes.
- Proposition de construction du modèle, détermination des stations in-situ et proposition, si le logiciel retenu permet la création de stations « virtuelles », d'équiper une échelle limnimétrique ou un capteur limnimétrique temporaire pour confirmer les prévisions (appel d'offres instrumentation).
- Rationalisation du réseau pluviométrique et extension météorologique éventuelle (capteur additionnels) pour estimation ETP pour mise en œuvre de nouvelles stations (appel d'offres instrumentation);
- Détermination du pas de temps de calcul et des échéances de prévision maximale à comparer aux temps de concentration ;
- Calage de l'outil de modélisation avec ou sans les lames d'eau radar et étude technico-économique d'exploiter ou non les données payantes (lames d'eau radar) et gratuites (prévisions pluies) de MétéoFrance (voire de Prédicte) ;
- Détermination de l'échéance maximale de prévision Tmax avec pluie future nulle ou pluie future parfaitement connue.
- Qualité de l'estimation globale des débits obtenue pour chaque station et analyse de la capacité à détecter des crues au-delà d'un seuil donné (par exemple, Q retour 2 ans, Q retour 5 ans) et mettant en avant le nombre de fausses alertes et d'alertes manquées.
- Critères d'évaluation du modèle de prévision (RMSE, ratio-RMSE, critère de Nash-Sutcliffe) et comparaisons avec les scores obtenus par des prévisions de pluie. Analyse de la retranscription de la temporalité des hydrogrammes de crues modélisées sera menée sur les pointes de crue et sur les débits seuils objectifs (Qi).

- Rédaction d'un rapport expliquant les choix opérés, les résultats obtenus et les actions à réaliser pour l'intégrer dans une chaîne de prévision opérationnelle
- En tranche optionnelle 1, si les études sont probantes :
 - fourniture d'un modèle hydrologique pluie-débit en mode « prévision » pour une prévision basée sur l'information pluviométrique SMOP et sur l'assimilation des données de débit accessible en temps réel via le réseau SPCGD et le réseau spécifique SMOP.
 - Installation dans un environnement Cloud avec interface d'acquisition avec les stations SPC-GD, services de prévision Météo France et d'accès lames d'eau radar ;
- En tranche optionnelle 2, maintien opérationnelle de la plateforme de modélisation avec maintenance du modèle ;

3.7.2 Prévisions des Etiages

Les différentes discussions que nous avons eu avec les communes, ont porté principalement sur la gestion du risque inondations. Mais l'Ouvèze souffre aussi d'étiages sévères et la prévision des étiages serait un premier un outil de gestion de la ressource.

Nous présentons dans le document D, les résultats d'une modélisation PREMHYCE. Le logiciel PREMHYCE a été testé en temps réel sur 38 bassins versants de France métropolitaine depuis 2017 comprend cinq modèles hydrologiques qui peuvent être calés sur des bassins versants jaugés et assimilent les dernières observations de débit. Les prévisions de débits sont émises jusqu'à un horizon de 90 jours selon l'approche Ensemble Streamflow Prediction (ESP) (données météorologiques historiques utilisées comme ensemble de scénarios d'entrée). Ces données météorologiques (précipitations, évapotranspiration et température) sont issues de la réanalyse SAFRAN journalière de Météo-France, sur la période 1958-2018.



Figure 51 Localisation des 38 bassins versants modélisés avec PREMHYCE

La capacité d'anticipation des périodes d'étiage s'est révélée bonne et les modèles ont montré leurs capacités à reproduire le débit caractéristique VCN10 à court terme (7 jours) et à long terme (30 jours) malgré une tendance à la surestimation et une diminution de la précision avec l'augmentation de l'échéance de prévision.

Commentaires :

Cet outil est porté principalement par INRAE Antony, et nous ne cernons pas l'effort de calage que représente un tel environnement de prévision, interrogation à laquelle seront tout autant confrontées les ingénieries si elles devaient répondre à une consultation. En l'absence de budget affecté à un

logiciel de prévision d'étiages, nous suggérons au SMOP de se rapprocher de l'INRAE Antony, pour envisager la faisabilité d'une collaboration.

3.8 AUTRES ASPECTS NON ABORDES DANS L'ETUDE DE FAISABILITE

Le suivi des vallats n'a pas été envisagé dans le périmètre financier du PAPI d'Intention, ni dans l'étude de faisabilité de 2014 (hydroPraxis), alors que ce besoin est exprimé par les communes de l'amont (Buis les Baronnies et Vaison La Romaine).

Toujours dans une logique de gestion des crues, mais aussi d'étiages, il ne faut pas interdire au SMOP la possibilité d'instrumenter certains points de prévision hydrologique sur l'Ouvèze en complément du réseau SPC-GD. Toutefois, le SPCGD souhaite mentionner que « toute prévision "concurrente" en crue est à proscrire pour la gestion de crise sur le réseau réglementaire. »

Dans une perspective de suivi des étiages, l'instrumentation des prises d'eau irrigation essentiellement permettrait une connaissance des débits prélevés (mesures) serait un atout pour anticiper les situations d'assecs.

Enfin tout autre contexte, tout autre besoin, la commune de Bédarrides installée sur l'aval, doit quant à elle, assurée une gestion coordonnée de près de 61 vannes d'isolement ou de régulation de tout un réseau de drains sur le territoire communal. Ces vannages manuels ne sont aujourd'hui pas surveillés, et des incohérences de réglage de vannes peuvent être parfois constatées au cœur de la crise, suite à des initiatives de personnes non habilitées à manœuvrer ces équipements. Ce besoin n'a pas été envisagé financièrement.

Quatre besoins non identifiés ou plus certainement écartés en regard des coûts d'investissement à consentir à l'époque (2014) pour répondre à ces attentes. En 2021, nous sommes toute autre situation avec deux évolutions majeures, étroitement liées, l'internet des objets (IOT : Internet of Things) et l'intelligence artificielle. Deux évolutions qui vont bousculer le suivi de l'environnement au sens large. Pour exploiter pleinement l'intelligence artificielle en hydrologie, il est nécessaire d'avoir beaucoup d'observations, des chroniques de mesures sur de longues périodes et très denses spatialement, d'où les besoins d'une instrumentation peu onéreuse en investissements comme en exploitation, le credo de l'IOT.

Notre propos se focalise ici pour le seul internet des objets, mais il nous faut garder à l'esprit les possibilités futures de l'intelligence artificielle, et ce pour un proche avenir (d'ici 3 à 5 ans). Dans cette perspective, mais aussi répondre dès aujourd'hui aux attentes exprimées par les communes, nous proposons de constituer un réseau de stations dites « secondaires » pour venir compléter le réseau des stations « primaires » du SPC-GD.

Par stations secondaires, il faut considérer des équipements à moindre coût (10 à 15 % d'une station primaire), tout aussi performantes car de technologies et de conception totalement différentes, mais possiblement moins fiables, faute d'expérimentation sur la durée.

Ces équipements auront certainement acquis leur maturité et fiabilité technologique d'ici deux à trois ans. En disposant de cette première expérience pilote, le SMOP pourra s'en inspirer pour concevoir un « Smart Territoire » résilient aux crues et intégrer cette approche novatrice lors de la rédaction de son document de labellisation au PAPI complet.

Commentaires :

Nous nous interrogeons sur la possibilité d'intégrer dès à présent, dans un chapitre « innovation » au CTPP d'installation instrumentation, la mise en œuvre, pour une évaluation opérationnelle du modèle de prévision sur une durée de 2 ans, de cinq sites limnimétriques secondaires (moins riches en termes de fonctionnalités, donc plus attractifs économiquement) sur les points de prévision de l'Ouvèze.

Ces sites « secondaires » pourraient être intégrés dans le poste central de supervision du SMOP, au même titre que les sites « primaires » du SPCGD et SMOP (pluvio et limini Eyguemarse et Seille). Cette réflexion pourrait aussi être étendue à certains sites d'alerte sur les Vallats.

Le choix se ferait pour de la location des équipements sur une durée de 2 ans. Ceci permettrait d'arrêter la démarche dès que la prévision est validée, ou si les résultats de cette technologie innovante ne sont pas suffisamment probants en termes de fiabilité, précision..

3.9 POUR FAIRE UNE SYNTHÈSE DE CES INTERROGATIONS !

Un grand nombre de questions a trouvé réponse lors de la réunion du 24 Septembre avec le Services de Prévision des Crues du Grand Delta. Les orientations exprimées par le SPCGD vont permettre au SMOP de statuer sur l'organisation de son futur SDAL et de sa propre cellule opérationnelle de prévision des crues.

Ne sont donc pas concernés dans ce projet, le suivi des vallats et les vannages sur Bedarrides, qui pourront éventuellement, être intégrés dans le périmètre du SDAL SMOP lors du PAPI complet.

4 CONCEPTION DU SDAL

Les chapitres à venir, décrivent les équipements et les fonctionnements envisagés dans le SDAL, à un horizon de 18 mois, délai nécessaire à la mise en œuvre d'un projet de cette ampleur.

4.1 CHOIX DU STANDARD AUSTRALIE — NOUVELLE ZELANDE

L'avertissement aux inondations requiert des exigences spécifiques sur la précision des mesures, la représentativité de l'information sur toute la plage de la mesure, mais surtout la disponibilité de la mesure pour un usage Temps Réel (prévision et annonce). Comme les sites hydrométriques, limnimétriques comme pluviométriques, même les mieux conçus, peuvent être perturbés par des conditions météorologiques extrêmes, les dispositifs d'alerte ou d'avertissement aux inondations doivent être prévus avec un certain niveau de redondance pour assurer la continuité des services d'alerte.

Pour s'assurer de la pertinence des choix de conception du futur Dispositif d'avertissement Local au risque inondation, en l'**absence** à notre connaissance, d'une **norme Française**, nous proposons de nous rapprocher d'une « standardisation » produite par le Comité australo-néo-zélandais de gestion des urgences (**ANZEMC pour Australia New Zealand Emergency Management Committee**).

Ce document concerne toutes les formes d'avertissement aux crues, pour les larges bassins versants de 30 000 km², comme pour les plus petits 100 km² soumis aux crues urbaines principalement.

Ce standard a été élaboré pour garantir la durabilité du réseau d'alerte⁹ aux crues en fournissant les exigences de performance pour l'alerte aux crues. Nous essayerons de nous y référer tout au long des chapitres de la conception du futur SDAL.

4.2 SCENARIO DE CRISE POUR LA CONCEPTION DU SDAL

Pour construire le scénario extrême du cas d'usage du futur Dispositif d'Avertissement, nous avons considéré une crue majeure (crue de retour 50 ou 100 ans) sur une durée de 24 heures. De ce fait, les voies d'accès aux locaux du SMOP sont inondées, les infrastructures terrestres de télécommunication fortement perturbées, et nous avons envisagé des conditions d'exploitation extrêmes :

- Les cours d'eau sont en crue forte, avec des vitesses importantes transportant de nombreux flottants (arbres arrachés...) ;
- Les voies routières sont totalement submergées, interdisant toute mobilité ;
- Les poteaux téléphoniques (réseau téléphonique commuté), installés sur le bord de ces mêmes voies routières, sont arrachés par les flottants ;
- Le réseau public d'électricité est interrompu depuis plusieurs heures, soit du fait de la foudre, ou de la destruction du réseau électrique installé sur le bord des routes (conditions similaires à celles du réseau téléphonique) ;

⁹ Nous référant à des documents internationaux, nous aurons parfois recours au terme « alerte » en lieu et place du terme « avertissement » ce distinguo réglementaire étant très Franco-Français, et pas toujours repris même dans les publications des Services de l'Etat Français dans des publications internationales.

- Des pluies intenses créent une pénombre depuis 48 heures, interdisant l'utilisation de panneaux solaires en secours énergie ;
- L'évacuation des eaux est difficile du fait de la crue du Rhône ;

Ces conditions extrêmes vont induire des solutions techniques, à même d'assurer : i) des communications avec des infrastructures installées hors et dans les champs d'inondation, ii) des secours énergie offrant une autonomie de fonctionnement durant 48 heures, iii) un fonctionnement des télécommunications sur disparition du média principal de télécommunication.

4.2.1 Les fonctions que doit assurer ou auxquelles doit contribuer le système d'alerte

Dans ce scénario extrême, les différents intervenants doivent pouvoir, au travers du dispositif :

- Pour le Maire :
 - Coordonner les activités du Plan Communal de Sauvegarde dans le cadre de sa cellule de crise, en ayant connaissance par le dispositif de la situation actuelle et les prévisions hydrométéorologiques ;
 - Communiquer avec les services de la Préfecture, et tant que possible avec les communes riveraines ;
 - Alerter la population d'un risque imminent
- Pour le Syndicat Mixte de l'Ouveze Provençale en tant que cellule opérationnelle de prévision des crues :
 - Avoir connaissance par le dispositif de la situation actuelle et établir les prévisions hydrométéorologiques sur les secteurs vulnérables aux inondations ;
 - Accéder aux informations de prévision pluviométriques et être alerté de l'imminence d'un événement ;
 - Communiquer fréquemment des prévisions aux cellules de gestion de crise communale ;
- Pour le Service de Prévision des Crues Grand Delta :
 - Disposer des mesures fournies par les stations propres au SMOP ;
- Pour Prédic Services :
 - Avoir connaissance par le dispositif de la situation actuelle et des prévisions hydrométéorologiques sur les secteurs vulnérables aux inondations ;

Toutes ces fonctions doivent trouver réponse dans la mise en œuvre du dispositif d'avertissement et les services déjà existants sur le territoire du projet.

4.2.2 Critères et priorités pour la conception du dispositif d'alerte

Les rencontres avec les différentes communes et partenaires de l'Etat ont permis de mieux cerner les critères et priorités à prendre en compte dans la conception dudit dispositif. Parmi les points d'attention mentionnés par les différents acteurs, il convient de citer :

- La **robustesse** : nonobstant la complexité des phénomènes à anticiper au travers du dispositif d'avertissement, il est important de faire preuve de pragmatisme et de s'assurer que celui-ci demeure un outil opérationnel et pratique, quitte à évoluer dès lors que de nouvelles données ou connaissances seront disponibles
- La **technicité** : les différentes entités mobilisées dans l'exploitation du dispositif n'entendent pas se doter de moyens spécifiques (techniques comme humains) pour maîtriser et exploiter l'ensemble des composants – instrumentations, modèles, plateforme informatique, etc., et pour cela entendent privilégier une externalisation des prestations de maintenance, d'où l'accès à des technologies largement diffusées pour ne pas se lier avec un seul prestataire ;
- La **pérennité** : le dispositif a vocation à perdurer dans le temps et il convient donc de s'assurer qu'au-delà des investissements initiaux pour lesquels des financements existent avec le PAPI, les moyens humains et financiers nécessaires à l'exploitation du dispositif doivent être mobilisés sur le long terme, et les budgets d'exploitation inscrits sur le long terme ;
- L'**anticipation** : compte tenu du caractère difficilement prévisible de certains phénomènes et des délais inhérents à la mobilisation des moyens de sauvegarde, le dispositif devra permettre

d'appréhender l'ensemble des phases d'anticipation (vigilance / prévision / alerte) ; le calage des seuils de déclenchement et le choix des différentes actions à engager à chaque étape devra intégrer les risques de fausses alertes ou à l'inverse d'alertes manquées

- La **réactivité** : compte tenu également du caractère vif de certaines crues, et de la difficulté prévisible des communes à mobiliser une personne pour assurer un suivi actif et continu de la situation hydrométéorologique, il est indispensable que le dispositif assure une surveillance permanente et diffuse automatiquement l'alerte dès l'apparition d'un événement pluviométrique ou hydrologique.
- L'**accessibilité** : Il est essentiel que les acteurs intervenant dans la mise en œuvre des actions de sauvegarde puissent accéder aux informations quelles que soient les conditions hydrométéorologiques, dans la limite du scénario de crise ;

Ces différents critères et priorités guideront notamment la hiérarchisation des différentes variantes envisageables pour le dispositif d'alerte.

4.3 METROLOGIE DU SYSTEME D'AVERTISSEMENT

Pour suivre notre cheminement dans la conception du SDAL, toujours en nous inspirant de la « standardisation » produite par le Comité australo-néo-zélandais de gestion des urgences (ANZEMC pour Australia New Zealand Emergency Management Committee), ci-après les différents éléments techniques relatives à la mesure.

4.3.1 Données caractéristiques des bassins versants et typologies des crues

La conception du dispositif est guidée dans le standard ANZEM, par deux informations prévues pour caractériser les crues rencontrées sur un bassin versant :

- Temps de montée de la crue (partie montante de l'hydrogramme de crue -augmentation du débit) du débit « normal » jusqu'au pic de crue :
- Temps de concentration du bassin versant, défini comme le temps nécessaire à une goutte d'eau de pluie pour parcourir la distance depuis le point le plus éloigné jusqu'à l'exutoire du bassin ;

Temps de montée (en heures)	Temps de concentration (en heures)	Surface amont du bassin versant (km ²)	Caractérisation du Temps de Réponse
<1	< 1	<100	Crue éclair
>1 et <3	<6	>100 et <400	Crue éclair
>3 et <8	<12	>400 et <10,000	Rapide
>8 et <36	<24	>10,000 <30,000	Lente

Figure 52 Typologie des crues (référentiel ANZEM)

Cette caractérisation des crues a un impact immédiat sur les attentes du dispositif d'avertissement aux crues, puisqu'elle va définir le temps de latence du dispositif, le temps entre l'acquisition de la mesure et sa mise à disposition au poste de supervision.

Type de crues	Temps de concentration (en heures)	Période d'acquisition des données depuis le superviseur (minutes)
Eclair	< 6 heures	5
Rapide	<12 heures	15
Lente	<24 heures	60
Lente	>24 heures	1440 (24 heures)

Figure 53 Fréquence d'acquisition mesures Acquisition locale –Superviseur central (référentiel ANZEM)

4.3.2 Données caractéristiques des bassins versants SMOP et pluies

4.3.2.1 Temps de propagation (étude HydroPraxis 2014)

L'étude de faisabilité de 2014 mentionnait des estimations de temps de propagation des crues qu'il est intéressant de rappeler ici pour les futurs horizons de prévision attendus sur le SDAL.

Sur l'Ouvèze : de l'amont à l'aval (confluence au Rhône)		9 heures
	Amont de l'Ouvèze à Buis les Baronnie	2 heures
	De Buis les Baronnie à Entrechaux	1 heure
	De Entrechaux à Vaison la Romaine	30 minutes
	De Vaison la Romaine à Roaix	30 minutes
	De Roaix à Violès	environ 1 heure 20 minutes (passage du régime torrentiel en régime fluvial)
	De Violès à Bédarrides	environ 2 heures 45 minutes
	De Bédarrides au Rhône	environ 1 heure

Sur le Toulourenc: de l'amont à l'aval (confluence à l'Ouvèze)		3 heures 15 minutes
	De l'amont du Toulourenc à Veaux	2 heures 30 minutes
	De Veaux à Entrechaux	environ 45 minutes

Sur la Seille: de l'amont à l'aval (confluence à l'Ouvèze)		2 heures
	De l'amont de la Seille au départ de la contre Seille à Bédarrides	1 heure 30 minutes
	Du départ de la contre Seille à l'Ouvèze à Bédarrides	environ 20 minutes
	De Violès (si débordement de l'Ouvèze) à Bédarrides	environ 2 heures 40 minutes

Figure 54 Estimation des temps de propagation (HydroPraxis)

Le SPC avait en 2014 mené une analyse sur les 15 dernières années, confirmant la cohérence des temps de propagation proposés dans l'étude.

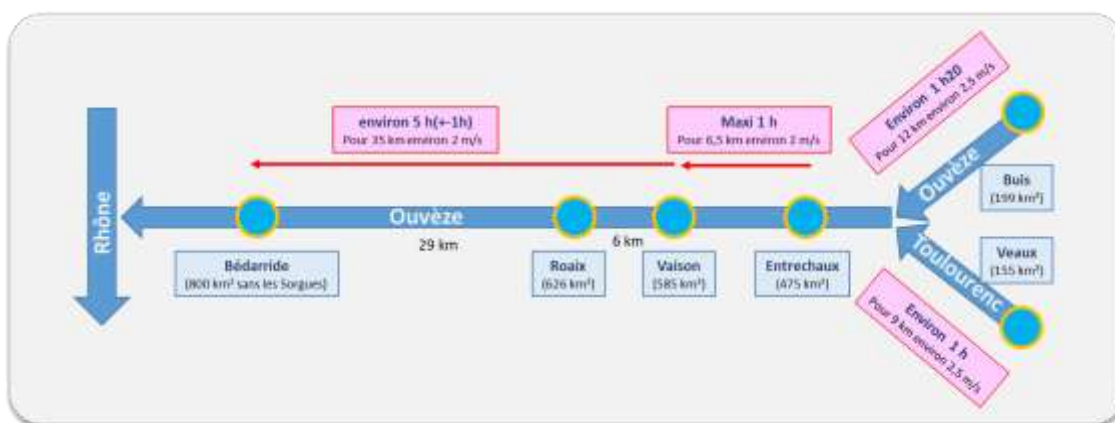


Figure 55 Estimation des temps de propagation (SPCGD)

Si nous adoptons la méthode AMZEC au territoire du SMOP, les temps de concentration des bassins versant et sous bassins surveillés par le futur SDAL sont inférieurs à 6 heures pour l'Ouvèze et bien en deçà pour les vallats et ses affluents.

Recommandations /Constatations : Ces éléments invitent donc à concevoir un SDAL dimensionné pour avertir d'un risque de crues éclair. La fiabilité attendue ne sera envisageable qu'en recourant à des solutions télécom satellite. Il sera alors nécessaire d'espacer les transmissions (proposées à 5 mn) pour minimiser les coûts de communication, en intégrant dans les équipements locaux d'acquisition une analyse du contexte hydro-météo pour informer des changements du contexte.

4.3.2.2 Intensité des pluies rencontrées

Durée (mn)	6 mn	15 mn	30 mn	45mn	60mn
Occurrence des pluies (ans) et intensité mm/h sur la durée					
5 ans	111,927	78,296	59,750	44,514	36,155
10 ans	134,987	95,733	73,820	56,290	45,720
20 ans	157,694	114,639	90,069	70,286	57,087
30 ans	172,320	126,889	100,665	79,920	64,931
50 ans	191,115	143,858	116,042	93,553	76,029

100 ans	215,342	167,223	138,106	115,596	93,969
---------	---------	---------	---------	---------	--------

Figure 56 Intensités de pluie / période de retour sur le poste pluviométrique de Carpentras

Recommandations /Constatations : Nous verrons dans la suite du document, que ces indications vont permettre la sélection du type de capteurs pluviométriques, mais aussi intervenir dans le choix d'un vecteur de communication satellite (robustesse face aux pluies intenses).

4.3.3 Caractéristiques de la mesure

Vous trouverez plus d'informations dans le document Annexe B.

4.3.3.1 Gamme de mesures des capteurs

4.3.3.1.1 Pluviomètres

Recommandations /Constatations : Pluie 100 ans sur l'intervalle d'acquisition de la mesure considéré (6 minutes), d'où nécessité de mesure une plage de pluie de 215 mm/h en cumul horaire. Pour information, un pluviomètre Précis mécanique à auget dynamique 3039 présente une limite de mesure (1000mm/h avec équilibreur) et des précisions meilleures que +/-4% de 0 à 300mm/h / et 5% à 1000mm/h.

4.3.3.1.2 Limnimètres

Recommandations /Constatations : Cote 0 (normalement niveau assec) et cote max pour une crue 100 ans. Cette contrainte n'est pas réellement inhérente au capteur (sauf à une erreur de choix de capteur), mais plus à ses conditions d'installation, et idéalement, un limnimètre devrait couvrir le pic d'une crue centennale, mais surtout de la cote des Plus Hautes Eaux connues + marge de sécurité.

Pour tous les sites à équiper, il est proposé arbitrairement de retenir la cote de crue de 1992 plus une plage de 1 mètre.



Figure 57 Marque de crue (PHEC) Septembre 1992

4.3.3.2 Fréquence d'échantillonnage des mesures

4.3.3.2.1 Pluviomètre

Réponse de la rivière	Période d'échantillonnage (minutes)	Intervalle d'échantillonnage des événements(mm) par exemple ALERTE
Éclair	5	<= 1
Rapide	15	<= 1
Lente	15 à 60	<= 5
Lente	1440 (24 heures)	1% de la pluie horaire centennale

Figure 58 Intervalles d'échantillonnage pluviomètres en fonction des typologies de crues (référentiel ANZEM)

Recommandations /Constatations : il est proposé une période d'échantillonnage des pluies toutes les 5 minutes, mais nous retiendrons en fait la période de 6 minutes pour rester homogène à la période d'acquisition des mesures Météo France. Quant à l'intervalle d'échantillonnage à la minute durant l'alerte, elle n'est pas utile pour des pluviomètres à impulsion puisque l'acquisition est permanente (avec endormissement d'une partie de la centrale d'acquisition). Cette période d'échantillonnage serait difficilement observée pour des capteurs type disdromètre ou pluviomètre à pesée, car cela imposerait des contraintes d'énergie importante pour le site, la centrale devant rester active pour mesurer en permanence, sans possibilité d'endormissement.

4.3.3.2 Limnimètre – Débitmètre rivière

Réponse de la rivière	Temps de concentration du bassin versant	Intervalle d'échantillonnage (minutes)
Éclair	<1 heure	5
Éclair	<6 heures	15
Rapide	<12 heures	15
Lente	<24 heures	60
Lente	> 24 heures	1440 (24 heures)

Figure 59 Intervalles d'échantillonnage limni-débitmètres en fonction des typologies de crues (référentiel ANZEM)

Recommandations /Constatations : il est proposé une période d'échantillonnage des pluies toutes les 5 minutes pour les limnimètres face aux crues éclair, même s'il est souvent préféré une période de 15 minutes pour limiter les contraintes d'énergie. Cette période permet un gain de plusieurs minutes sur l'évacuation des populations, ce qui est extrêmement important. Si le délai d'évacuation s'avère moins contraignant, il est proposé une période garantissant la mesure lors du pic de crues, et une période permettant d'estimer le volume de la crue avec une précision meilleure que 5 % par rapport à une mesure du niveau en continu.

4.4 ACQUISITION DES MESURES

4.4.1 Fiabilité attendue

Recommandations /Constatations : La fiabilité de l'acquisition de la mesure in-situ au sens large (métrologie, alimentation énergie, acquisition et télécommunications, et infrastructure physique) doit être égale voire supérieure à la fiabilité de conception de l'ensemble de la chaîne de traitement de l'information, c'est-à-dire supérieure à 99,9% dans notre projet.

4.4.2 Conditions environnementales

Recommandations /Constatations : L'infrastructure au sens large (électronique, électricité, métallerie, génie civil) doit être conçue pour résister et fonctionner lorsqu'elle est exposée à des dangers d'une gravité rare comme une pluie centennale, contexte retenu pour le scénario de conception du dispositif. Pour cela, l'infrastructure devra répondre à cette liste de contraintes génériques (Figure 60 Facteurs pouvant agir sur la fiabilité du site de mesure).

Conditions / dangers ou tout autre facteur jugé important	Recommandations
Température	Prévoir des équipements assurant un fonctionnement dans la plage de -40° à + 60°C
Humidité	Prévoir des équipements assurant un fonctionnement jusqu'à 75% d'humidité de l'air
Intrusion d'eau	Conception des équipements avec presse étoupe pour passage des câbles. Equipements extérieurs avec indice IP 55. Sachet dessiccateur dans les boîtiers ou coffrets contenant de l'électronique non conditionnée dans une enveloppe IP 55.
Poussière et boue	Mettre des filtres papier sur les entrées d'air pour bloquer l'intrusion de poussière et sable dans les équipements. Eviter les capteurs immergés dans le cas de fort transport solide.
Niveau des instruments par rapport au niveau des crues	Installer les équipements à une hauteur en dessus des Plus Hautes Eaux Connues augmentée d'une sécurité de 1 mètre.
glissement de terrain	Faire des ancrages suffisants pour éviter des affaissements de berge.

Bétail et faune	Maille métallique fine sur les prises d'air pour éviter l'intrusion d'insectes, serpents, rongeurs dans les équipements. Mettre des grillages soudés avec poteaux sur massif béton pour faire une enceinte de protection sur les sites en proximité de passage de bétail ou animaux sauvages (sangliers).
Charge due au vent	Installer des massifs en béton assurant une portance des équipements selon la norme NV65. Installer les équipements le plus éloignés des arbres (chutes d'arbres mais aussi chutes de feuilles sur les capteurs comme les pluviomètres par exemple).
Foudre	Mettre des protections para-surtensions sur les entrées antenne et alimentation énergie, ainsi que sur les deux extrémités (capteur et centrale d'acquisition) des lignes de mesure passant en aérien. Mettre une prise de terre avec une impédance inférieure à 100 ohms.
Grêle	Protéger éventuellement le panneau solaire d'un plexiglas pour limiter les risques de cassure. Attention prévoir de renouveler le plexiglas dès qu'il commence à se dégrader suite à de longues expositions au soleil.
Glace / Neige	Eviter les capteurs immergés dans le cas de fort risque de gel en période de basses eaux. Dimensionner les structures pour supporter une chute de neige (norme NV65). Amplifier les angles de pose de panneaux solaires pour limiter le risque d'adhérence de neige humide.
Vandalisme	Privilégier des dispositifs de fermeture sans serrure (module clé DTG). Prévoir des enclos métalliques mais privilégier des modes d'installation offrant une grande exposition visuelle (volume, couleurs). Mettre un panneau d'affichage expliquant l'objet du réseau de mesure.
Feu	Privilégier l'installation d'équipements sur des ouvrages type pont (limnimètre) ou toit d'habitation (pluviomètre) pour limiter ce risque d'incendie, sans certitude dans le cas de forte exposition.

Figure 60 Facteurs pouvant agir sur la fiabilité du site de mesure (référentiel ANZEM)

Au-delà de ces critères, il faut bien entendu que le site respecte les recommandations d'installation de l'Organisation Mondiale de la Météorologie pour le type de mesure considéré.

Pour ces aspects, vous trouverez plus d'informations dans le dossier annexe C.

4.4.3 Conditions d'alimentation énergie

Le système d'alimentation énergie doit être capable de fournir de manière fiable suffisamment d'énergie pour répondre au budget d'alimentation.

Tant que possible, il faut privilégier une alimentation par le réseau public énergie. Une interrogation toutefois lors qu'un éclairage public est disponible à proximité, de raccorder le site (faible consommation) sur un candélabre. Cela impose une autorisation de la commune, une discussion avec l'entreprise en charge de la maintenance de l'éclairage public, mais cela fait gagner le coût d'un abonnement mensuel, le coût d'un coffret compteur mais surtout celui d'un raccordement parfois prohibitif (1500 euros) pour une si faible consommation.

«Idéalement» lorsque le site ne peut disposer du réseau public énergie à proximité, nous privilégions une alimentation par panneaux solaires, et évalué un cadre de fonctionnement sécurisé avec 1 jour de production solaire suivi de 2 jours sans aucune production.

Ce choix doit aussi être confronté au risque de vol ou de vandalisme, et pour cela, l'usage des panneaux solaires doit être limité à des petites puissances (maximum de petites surfaces 20 Watts crête) pour une surface totale de panneaux tant que possible, équivalente à un format de document A3.

Même si un site est alimenté par le réseau public, il doit respecter les mêmes conditions d'autonomie attendues d'une alimentation par panneaux solaires, à savoir, une autonomie de fonctionnement en marche nominale du site de mesure avec comme seule source d'énergie, des batteries électriques.

Quelques soit la solution retenue, un suivi à distance de l'état de charge des batteries doit être possible depuis le poste central de supervision.

Recommandations /Constatations : Les sites doivent pouvoir fonctionner durant deux jours (48 heures) en totale autonomie (sur ses seules batteries). Les panneaux solaires doivent assurer une recharge complète des batteries (déchargées initialement à 40%) en une journée d'hiver (mois de Décembre) avec une puissance crête maximale de 20 watts (au-delà surface importante et risque de vol). Même contrainte de délai pour une alimentation par réseau public.

Si les équipements sélectionnés permettent un fonctionnement autonome (sans source de production pour la recharge) sur batterie ou piles, alors les solutions devront offrir une autonomie de 6 mois de fonctionnement.

4.5 TRAVAUX SUR LES STATIONS

4.5.1 Nouvelles stations hydrométriques

Des fiches de visite pour les sites retenus dans les termes de référence préciseront les conditions d'installation des équipements. A priori, seront concernés les sites :

- A) Limnimétriques en tant que sites primaires, sur le site en amont de Buis les Baronnie, de l'Eygumarse et de la Seille, sous maîtrise d'ouvrage SMOP avec mise à disposition des données au SPCGD ;
- B) Limnimétriques en tant que sites secondaires temporaires sur certains points complémentaires de prévision sur l'Ouveze (en complément de Vaison et Entrechaux) pour suivi de la performance du calage de la prévision ;

Les sites Pluviométriques (C) voire météorologiques (précipitations, pression atmosphérique, température air, vent orientation et vitesse) seront localisés à l'issue de la rationalisation du réseau pluviométrique. S'agissant d'installation générique, ces sites ne feront pas l'objet d'une fiche de visite de sites, puisque leur localisation ne sera pas encore connue.

4.5.2 Modernisation des sites existants

Ce chapitre pourrait concerner les équipements hydrométriques du SPC-GD qui pourraient souffrir d'un manque de fiabilité comme semble l'indiquer l'épisode de 2019 et l'arrêt de certaines stations au cœur de la crue.

En l'état, il n'est pas prévu que le SMOP modernise les équipements du SPCGD. A été évoqué la possibilité d'équiper en parallèle sur certaines stations SPCGD, des solutions caméra type Camflow (Tenevia) sous maîtrise d'ouvrage SMOP, les informations étant mises à disposition du SPCGD.

4.6 TELECOMMUNICATIONS M2M

Vous trouverez de plus amples informations dans le document Annexe D.

4.6.1 Besoins télécommunication

Les besoins en termes de télécommunication dans un système d'avertissement local aux crues (SDAL) éclairs, existent tant au niveau de l'acquisition des mesures depuis les stations hydrométriques, via une liaison « M2M » (machine to machine) que pour la diffusion de ces mêmes informations depuis le poste central à destination des cellules de crises, via un réseau de télécommunications couvrant une grande zone géographique dit « réseau étendu » et souvent désigné par son acronyme anglais WAN (Wide Area Network)¹⁰.

¹⁰ Notez que le réseau M2M est lui aussi un W.A.N. Nous écarterons l'emploi de cet acronyme pour ce réseau afin de ne complexifier la lecture du document.

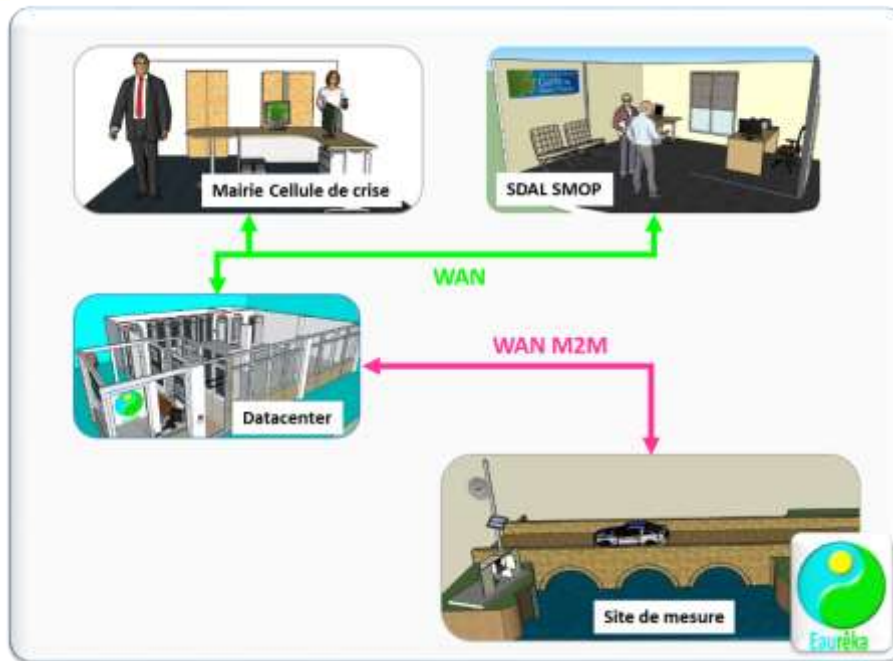


Figure 61 Différentes télécommunications réparties (WAN) au sein d'un SDAL

Une solution Machine-to-Machine (M2M) est une structure d'échange de données entre la station de mesure et le poste central conçu pour capturer, traiter et diffuser des informations dérivées de ces mesures. Ces dispositifs distants connectés à des installations centrales de collecte de données dédiées, ont été appelées pendant de nombreuses années, des applications de "télémétrie", mais ce qui distingue aujourd'hui les solutions M2M de ces dernières, est l'utilisation d'Internet.

4.6.2 Préférences pour une solution M2M

4.6.2.1 Présentation

Selon ABI Research¹¹, le marché mondial des communications cellulaires de machine à machine (M2M) va être pratiquement multiplié par cinq d'ici à 2024 pour atteindre 3 milliards de connexions cette année-là, contre un peu plus de 620 millions en 2019.

Toujours selon cette même étude, « De nombreux opérateurs parient sur l'émergence des nouveaux réseaux 5G et LPWA (Low Power Wide Area / Lorawan) pour étendre leurs initiatives M2M. Mais la réalité est qu'en 2024 les connexions 3G et 4G compteront pour 72% du chiffre d'affaires généré par les services M2M à valeur ajoutée. Dans un futur proche, des services M2M seront disponibles sur des canaux (fréquences) spécifiques des réseaux 3G, 4G, mais c'est surtout 5G qu'ils apporteront une réelle plus valeur en termes de débit et de temps de latence (réaction inférieure à la milliseconde avec des flux vidéo temps réel) pour des usages de télé chirurgie notamment. A priori, nous n'avons pas besoin de ces débits, plus encore lorsque l'on sait que la 5G devrait fonctionner dans la gamme des 26 Ghz fortement perturbée par les pluies.

A l'heure actuelle, des solutions LPWAN comme LoraWan (gamme VHF 868 Mhz) pourraient répondre aux besoins de l'hydrométrie si elles ne souffraient pas d'une absence de produits hydrométriques compatibles avec ces technologies. Un secours satellitaire disponible pour un service temps réel constituerait un bon média de repli. C'est à priori la solution hybride (technique et commerciale) envisagée par Kineis-Bouygues, solution qui ne devrait pas être commercialisée avant fin 2021. Mais facteur limitant, aucune station de mesure des principaux fabricants (OTT, Paratronic..) ne dispose d'interface avec les modems LPWAN.

¹¹ <https://www.abiresearch.com/market-research/service/m2m-iot-ioe/>

4.6.2.2 Les disponibilités des réseaux 3G/4G sur le territoire du SMOP

Le référentiel ANZEM¹² précise que le système de transfert de données doit être capable de transférer des données d'un site vers un réseau avec une fiabilité égale ou meilleure que la norme ou la directive minimale reconnue définie pour cette technologie de transfert de données.

Les attentes réglementaires de l'ARCEP (organisme de régulation des Télécommunications en France) sont une fiabilité supérieure à 95%, seuil relevé à 98% à compter du 3^{ème} trimestre 2020.



Figure 62 carte des couvertures et fiabilité simulée du réseau Orange

Cette figure est peu explicative car recouverte presque en totalité d'une couleur orange uniforme, donc avec une excellente couverture des services Orange.

Mais l'ARCEP (organisme de surveillance des opérateurs téléphoniques) annonce des performances de fiabilité d'environ 98 à 99% de garantie de taux de disponibilité. Ces données sont annualisées et doivent être affinées pour les seules périodes d'événements hydrométéorologiques significatifs comme en décembre 2019.

Les premières indications de performance invitent à s'orienter vers des cartes SIM multi-opérateurs pour mutualiser la disponibilité des réseaux (type MATOOMA <https://www.matooma.com/fr/>), spécifier un modem 3G/4G pour les stations assurant automatiquement un recherche du meilleur signal réseau.

Enfin pour pallier au dernier centième de pour-cent de disponibilité (0.01%), les 52 minutes d'absence de fonctionnement par an difficilement accessibles aux réseaux terrestres, il nous recourir à une solution satellite non perturbée par les pluies.

4.6.2.3 Proposition d'une solution satellite en secours

Nous avons estimé les atténuations possibles sur le site de Vaison la Romaine pour la solution Ka/Q/V et celles pour une liaison en bande Ka.

Selon la référence ITU 838, l'affaiblissement linéique γ_R (dB/km) est calculé à partir de l'intensité de précipitation R (mm/h) par la relation de loi en puissance:

$$\gamma_R = kR^\alpha$$

Avec R la pluie en mm/h, K et α deux constantes spécifiques à la fréquence. Dans le tableau ci-

¹² Comité de gestion des urgences Australie-Nouvelle-Zélande

après, nous citons les coefficients pour les liaisons montantes et descendantes de Ka-Sat (20 et 30 GHz) et ceux d'une liaison (Hellasat bande Ku) mise en œuvre pour un autre projet d'alerte de crues (SISA – Siagne).

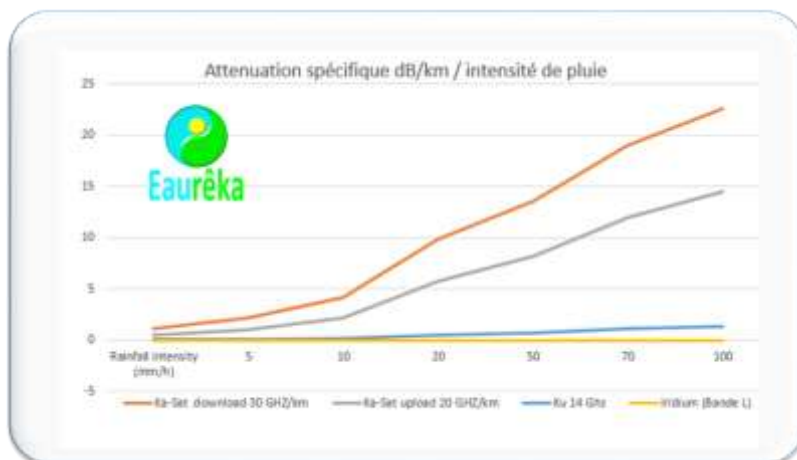


Figure 63 Courbes atténuation linéique / intensité de pluie

Sachant que ces valeurs sont par unité kilométrique, mais que pour les satellites géostationnaires comme Ka Sat, pour les données suivantes :

- Une position du satellite avec un angle de 39° par rapport à l'horizon ;
- Une hauteur de nuages estimée à 3.86 km ;

Le trajet total du signal de transmission de 6.14 km dans la troposphère.

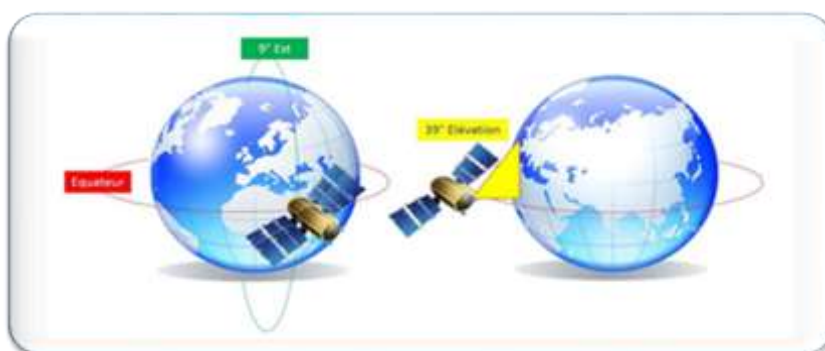


Figure 64 Position de Ka-Sat sur l'équateur et visée depuis Vaison

Pour les constellations satellite comme Iridium, outre que les atténuations sont beaucoup plus faibles, les trajets dans la troposphère seront aussi faibles puisque le satellite est en défilement par rapport à la Terre à 780 km d'altitude, avec une inter-trace de 100 km à l'équateur, inter-trace resserrée à 48 km pour une latitude de 43° (Vaison), et donc un angle de déport de 3° par rapport à la verticale, soit globalement l'épaisseur de la troposphère.

Le choix d'une transmission bande L et d'une constellation dense de satellites (offrant une répétition de passages et des trajets courts) est donc un bon choix technique.

4.6.2.4 Recommandations

Recommandations / Constatations : Nous proposons de suivre les mêmes orientations proposées dans l'étude ABI Research, à savoir utiliser les technologies IP GPRS/3G/4G et adjoindre un média satellitaire de secours type Iridium (non perturbé par les pluies intenses), choix déjà testé et mis en exploitation pour le dispositif d'avertissement des crues de la Siagne et ses affluents (Alpes

Maritimes) ou encore du Golfe de Saint Tropez (Var).

4.7 DONNEES TRANSMISES ET INFORMATIONS NECESSAIRES

4.7.1 Données métrologiques

Le référentiel ANZEM précise que :

- Les données mesurées seront transférées non filtrées (données brutes), horodatées à la source, et converties en unités SI.
- Que les données peuvent être converties en unités SI à la réception au poste central, à condition que les métadonnées de transformation/traduction soient conservées et mises à jour dans un seul emplacement, le poste central.

4.7.2 Métadonnées

Tous les éléments de métadonnées du site doivent être disponibles pour les utilisateurs de données et sont stockés dans le poste central, ou pouvoir être extractibles à partir des systèmes d'informations des entités productrices de ces mesures.

Recommandations /Constatations : La démarche méthodologique proposée est totalement adéquate. Elle entend centraliser dans un seul référentiel et un seul lieu géographique, toutes les informations nécessaires à la transcription des données brutes en données compréhensibles et par les stations, et par le poste central. Quant au transfert des données brutes, cette règle est reconnue par tous les fabricants de dispositifs hydrométriques.

4.8 POSTE CENTRAL

Vous trouverez de plus amples informations dans le document Annexe D.

4.8.1 Expression du besoin

Système évolutif partagé par les différents partenaires en charge de la gestion de crise inondations sur le territoire du SMOP, la plateforme de supervision et applications associées, offrira, dans un premier temps, un seul profil utilisateurs. Potentiellement, il pourrait servir :

- les « Décideurs », les entités ayant une action dans l'anticipation de l'évènement hydrométéorologique, le SMOP en tant que SDAL, **le SPC-GD, éventuellement les SDIS aux niveaux départementaux, voire Prédict Services** ;
- les « Exécutifs », acteurs des cellules de crise au niveau communal, et autres entités prestataires intervenant dans la gestion de l'évènement hydrométéorologique ;
- le « Citoyen », sous une forme synthétique de l'information, citoyen qui pourrait être concerné dans son environnement proche par la situation hydrométéorologique ;

Mais sans présumer dans le futur, d'un possible développement spécifique d'une plateforme spécifique de supervision et applications associées offrant de nouvelles perspectives, il est convenu qu'à ce stade de réflexion :

- le Citoyen serait informé par le relais des exécutifs;
- Les Décideurs seraient informés par les exécutifs via des moyens autres que la plateforme de supervision (exemple email, téléphone...) ;

Recommandations /Constatations : Seuls les décideurs et les exécutifs (cellules de crise communales, SDIS) auront, à ce stade actuel des réflexions, accès à la plateforme poste central prévue dans le cadre de cette étude. Mais à terme, la plateforme prévue pourrait s'envisager à terme, avec des fonctionnalités spécifiques (vivre la crue à posteriori par exemple), s'ouvrir au grand public, si la demande en était faite, et les financements trouvés.

Selon ces différentes orientations, il en découle les contraintes techniques suivantes :

- Les utilisateurs de la plateforme de supervision et applications associées seront de l'ordre d'une vingtaine (20) d'utilisateurs Décideurs du SMOP, en simultané puisque l'usage se fera principalement lors des crues,
- Une possible ouverture de la plateforme pourrait s'envisager à moyen terme (3 ans), si d'utilisateurs l'accès était élargi, à une trentaine(30) d'utilisateurs supplémentaires;
- Les utilisateurs seront sur des sites distants, non raccordés au réseau local du SMOP, donc avec des contraintes de sécurité informatiques fortes (notamment pour les grandes entités comme les services du département ou le SDIS), imposant des solutions client léger et protocole http (protocole systématiquement ouvert sur les protections informatiques pare-feu / firewall);
- Les utilisateurs pourront accéder à la plateforme de supervision et applications associées depuis un microordinateur PC, une tablette, un Smart phone. Le site sera donc développé en environnement « mobile first » et disponible en responsive, sans qu'une dimension spécifique d'écran ne pose difficulté ;
- Les utilisateurs auront éventuellement une culture métier (eau et environnement) mais pas forcément une culture informaticienne, d'où une utilisation facile de la plateforme de supervision et applications associées;
- En termes de contraintes d'exploitation et de criticité, le dispositif devra fonctionner 24h/24 et 365j/ an pour assurer une disponibilité supérieure à 99,99% par an.
- La plateforme de supervision et applications associées pourra être consultée avec une actualisation quasi temps réel (de l'ordre de la minute), ce qui impliquera des puissances de calcul et des liaisons avec des bandes passantes correctes. Pour cela, la plateforme de supervision et applications associées sera hébergée dans un Data Center Tier III au minimum (idéalement Tier IV) offrant des puissances de calcul et des bandes passantes modulables avec l'évolution de la plateforme.

4.8.2 Richesse fonctionnelle

Pour définir la richesse fonctionnelle du futur dispositif d'avertissement, il s'agit, dès lors que les profils métier des futurs utilisateurs du système sont précisés, de préciser le périmètre applications et leurs richesses de fonctions sur toutes les grandes familles d'activités (surveillance, archive/validation, modélisation/prévision, alerte/avertissement).

Cette richesse se traduit donc selon ces trois voies basées sur la survenue d'un évènement hydrométéorologique:

- La prévention de l'évènement par l'analyse de la réponse à l'évènement :
 - Le suivi de l'entretien et de la maintenance des ouvrages et cours d'eau;
 - L'analyse des données météorologiques (réseaux et stations) à des fins de diagnostics ;
 - La modélisation hydrologique et hydraulique pour les études d'aménagement ;
 - L'optimisation des temps dans la gestion de la mise en protection des personnes et des biens (Plans Communaux de Sauvegarde) ;
- Anticipation et la gestion de l'évènement en temps réel :
 - Le suivi des phénomènes météorologiques (radar et satellites météorologiques) ;
 - Le suivi des cours d'eau et des ouvrages écrêteur ou régulateur de crues ;
 - La modélisation hydrologique et hydraulique en temps réel pour la gestion dynamique ;
 - La visualisation cartographie des zones impactées ou vulnérables;
 - L'animation du plan communal de sauvegarde pour les zones impactées ou pouvant l'être à très court terme ;
- Retour d'expérience :
 - Validation des données mesurées
 - Outils bilans de l'évènement
 - Evaluation économique du dysfonctionnement.

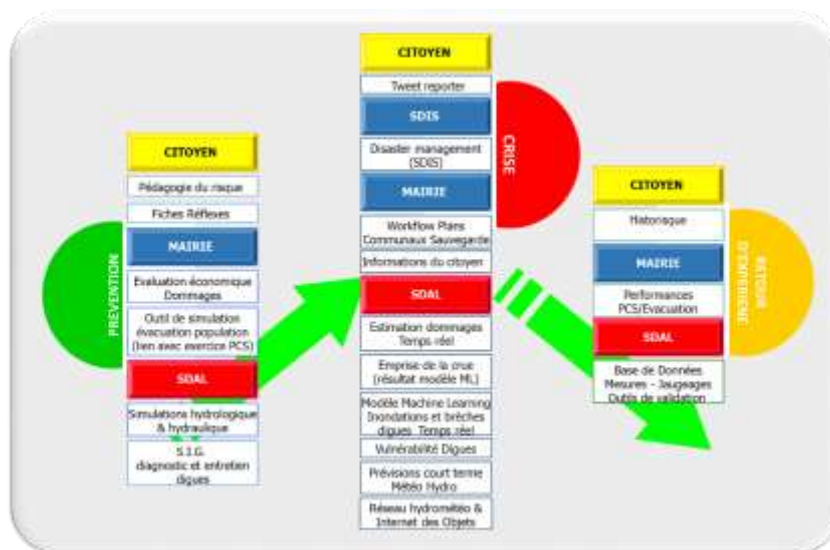


Figure 65 Familles des fonctions de gestion du risque inondations

Au-delà de la complexité des fonctions, le nombre d'utilisateurs, et des puissances de calcul à mobiliser pour assurer un service de simulation en temps réel, peuvent aussi conduire à la conception d'une architecture technique spécifique pour porter une architecture applicative plus complexe (applications, composants fonctionnels, flux de données, ...) qu'une simple application sur « étagère ».

4.8.3 Décret relatif à la sécurité des systèmes d'information des Opérateurs de Services Essentiels

Nouvellement apparu dans la réflexion pour la conception d'un Dispositif d'Avertissement Local aux Crues, le décret d'application du 23 mai 2018 est la transcription en droit Français de la directive Network and Information System Security (NIS) qui a pour objectif de renforcer les standards de sécurité informatique (cybersécurité) d'acteurs indispensables à la vie quotidienne de nos concitoyens.

Des différentes discussions menées par Eaurêka avec l'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information), ce silence semble être lié à la vision de l'ANSSI du domaine de l'eau, réduite principalement à l'hydraulique urbaine, de par la présence des majors de l'eau (Suez Veolia).

Suite à ces entretiens, l'ANSSI se penche sur l'inclusion des Dispositifs et plus globalement des Services d'Avertissement Local aux Crues, en tant qu'« Opérateur de services essentiels ».

4.8.4 Recommandations

Recommandations /Constatations : Une des principales questions est ou sera de savoir si des solutions dites « sur étagères » (progiciels existants) sont suffisamment fiables, efficaces ou tout simplement existantes pour répondre aux attentes, ou s'il est nécessaire d'envisager des développements spécifiques. De prime abord, la seule intégration du logiciel de prévision des crues dans la chaîne de prévision invite à des développements spécifiques d'interfaçage.

4.9 W.A.N. DATACENTER <-> CELLULES CRISE COMMUNALE

Nous allons détailler la liaison télécommunication, entre le système d'information (Météo comme Hydro) et les cellules de crise, car elle va dimensionner l'infrastructure « sortante » du système d'information du SMOP à destination de 30 « clients » (premières estimations), personnel SMOP en astreinte, cellules de crise communale, des services d'assistance à la gestion de la crise (Préfecture, SDIS).

Les besoins en termes de bande passante, vont être « sortants », et ce point doit être précisé car

les liaisons internet « grand public » dites « ADSL » sont comme le nom l'indique « Asymmetric Digital Subscriber Line », sont asymétriques, c'est-à-dire avec un débit entrant de 2Mbps (Mégabauds/bits par seconde) par exemple mais 512 Kbps (Kilobauds/bits par seconde).

4.9.1 Rapide expression des besoins

L'application Superviseur SMOP va visualiser en client léger, donc avec un simple navigateur internet, au travers de son interface ergonomique Web, tout un lot d'informations hydrométéorologiques sous la forme de symboles colorés, de courbes et de cartes.

Or, une simple information pluviométrique ponctuelle telle que l'offre un capteur pluviométrique, ne permet pas d'appréhender pleinement une cellule orageuse sur le bassin versant. Il est donc essentiel de mettre à disposition l'information pluviométrique sous la forme d'isohyètes d'intensité des pluies, et/ou sous la forme de rasters des images radar/satellite météorologiques.

Nous avons focalisé notre propos sur la pluviométrie, mais d'autres besoins trouveront réponse dans une mise en forme cartographique, comme par exemple, la colorisation des tronçons hydrographiques (idem VigiCrues ou Alerte Etiages) sur les cours d'eau.

Pour être efficace, l'actualisation des données cartographiques doit être compatible avec un usage opérationnel en gestion de crise. Il ne serait pas concevable, au risque de craindre un refus de systèmes de la part des cellules communales de gestion de crise, que l'application présente un délai important (plusieurs dizaines de secondes) pour la mise à disposition des données d'alerte par exemple.

Dans la suite du présent chapitre, nous avons axé notre réflexion sur la bande passante nécessaire en sortie pour le serveur. Mais la réflexion doit être menée de bout en bout, c'est-à-dire tant coté serveur, que coté client.

Par analogie, nous pourrions construire une voiture de course (application Superviseur & serveur), une autoroute pour la diffusion de la donnée (accès coté serveur), mais avoir un chemin de terre en accès côté utilisateur. Ce point devra être expliqué aux différentes collectivités, notamment celles en zone faiblement urbanisée voire en zones blanches internet si elles existent sur le territoire du SMOP.

4.9.2 Type de données

L'interface cartographique va donc générer un trafic important sur le réseau local mais surtout sur l'accès Internet (en sortie). Nous proposons donc de réfléchir le Système d'Information en client léger, c'est-à-dire avec un accès à l'application avec un simple navigateur internet comme Google Chrome, et privilégions un transfert des données sous protocole HTTP (port 80) pour nous émanciper des contraintes de sécurité mises en place dans les pare-feu (firewall), mais dans le respect des règles de sécurité édictées par les Directions Informatiques.

La taille de l'image de la carte, basée principalement sur la résolution de l'affichage client, sera déterminée par l'administrateur du serveur lors de la publication Web. Le découpage des cartes en fichiers d'images d'une taille allant de 50-200Ko est fréquemment mis en œuvre, produisant des volumes de données pour chaque transaction d'affichage de cartes, de l'ordre de 500Ko à 2Mo.

4.9.3 Quelle durée pour transférer une image cartographique ?

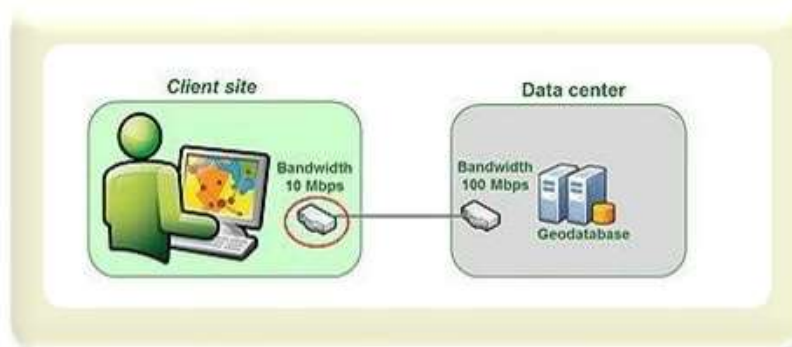


Figure 66 Temps de transfert dans le réseau

Le temps de transport de la donnée dans le réseau est le temps nécessaire à la passerelle de réseau (hub, routeur et modem) pour traiter le trafic sur le réseau. La contrainte de conception de la connexion réseau est donc établie par le composant présentant la plus faible bande passante au sein de la voie de transmission.

Temps de transport du réseau = temps minimum de traitement de la passerelle de réseau (trafic d'affichage / bande passante)

En règle générale: Le temps du transport par affichage = Volume de données en Mo/ Minimum de la bande passante de la passerelle (Mbps)

La « Figure 66 Temps de transfert dans le réseau » montre les exigences typiques pour le transfert des données en considérant le volume à transmettre en Mégaoctets, la conversion en temps de transmission fonction des capacités (en mégabits par second) du média de transmission, les durées pour le traitement pour « encapsuler » ces données dans le protocole, et les volumes totaux pour transférer la carte par le protocole et le média de transmission concernés (ajout des données de service). Les temps de traitement encapsulation peuvent s'avérer plus importants pour certains protocoles, ils sont ici mentionnés à titre d'exemple et sont des références basses (faible temps de traitement).

Les durées minimales de transport de données sont ici mentionnées pour cinq supports de communication (avec référence à des bandes passantes standard).

- 1.54 mégabits par seconde (Mbps) pour des liaisons WAN typiques (réseau cellulaire 3G);
- 10 Mbps, 100 Mbps, and 1 gigabit par seconde (Gbps) pour des réseaux locaux ou des solutions satellitaires (20 Mbps en bande Ka par exemple).

Attention: Des segments d'un réseau de communication partagés avec d'autres applications, ne feraient qu'augmenter les temps de transfert du réseau.

Client/server communications		Network traffic transport time				
Typical display traffic	Bandwidth	56 Kbps	1.54 Mbps	10 Mbps	100 Mbps	1 Gbps
Shape file to workstation client (CIFS/NFS) 1 MB => 10 Mb + 40 Mb = 50 Mb		893 sec	32 sec	5 sec	0.5 sec	0.05 sec
File Geodatabase to workstation client (NFS) 1 MB => 10 Mb => 5 Mb		89 sec	3.2 sec	0.5 sec	0.05 sec	0.005 sec
Geodatabase server to workstation client 1 MB => 10 Mb => 5 Mb		89 sec	3.2 sec	0.5 sec	0.05 sec	0.005 sec
Windows Terminal Server to terminal client (ICA) Vector 100 KB => 1 Mb => 280 Kb Image 100 KB => 1 Mb		5 sec 18 sec	0.18 sec 0.6 sec	0.03 sec 0.1 sec	0.003 sec 0.01 sec	0.0003 sec 0.001 sec
Web server to browser client (HTTP) Light 100 KB => 1 Mb Medium 200 KB => 2 Mb		18 sec 36 sec	0.6 sec 1.2 sec	0.1 sec 0.2 sec	0.01 sec 0.02 sec	0.001 sec 0.002 sec
Web server to ArcGIS for Desktop client (HTTP) Light 200 KB => 2 Mb Medium 400 KB => 4 Mb		36 sec 72 sec	1.2 sec 2.4 sec	0.20 sec 0.40 sec	0.02 sec 0.02 sec	0.002 sec 0.004 sec

User workflows

Traffic flow times

Figure 67 Référence de temps pour le transfert de données cartographiques

4.9.4 Quelles performances sont acceptables ?

Pour mieux distinguer si un temps de réponse d'une application est lent ou rapide, trois limites de temps sont importantes à considérer :

- 0,1 seconde est la limite pour donner à l'utilisateur, la sensation que le système réagit instantanément, ce qui signifie qu'aucune action/message autre que l'affichage des résultats n'est nécessaire.
- 1,0 seconde est la limite pour conserver l'attention exclusive de l'utilisateur, même s'il remarquera le retard. Habituellement, aucune action/message n'est nécessaire pour les durées de traitement inférieures à 1,0 seconde, mais l'utilisateur perd le sentiment d'une application « réactive ».

- 10 secondes est la limite pour conserver l'attention de l'utilisateur sur le dialogue. Pour des délais plus importants, l'utilisateur va effectuer d'autres tâches en attendant que le traitement des données se finisse. L'application doit donc informer l'utilisateur de l'avancement des traitements et afficher, si nécessaire, des messages d'alerte pour indiquer que le traitement attend des saisies utilisateurs. Des actions/messages doivent dans ce cas, être particulièrement nombreux, notamment si le temps de réponse est très variable.

Idéalement, un temps de traitement informatique avec un dialogue interactif, ne doit jamais être supérieur à 1 seconde

4.9.5 Dimensionnement de l'accès Internet pour le serveur SMOP

Obtenir la bonne connexion tant coté serveur que coté client devra s'envisager en fonction du nombre d'utilisateurs et de la technologie Client Léger choisi.

Si nous considérons que le territoire du SMOP est particulièrement sensible aux épisodes météorologiques violents venus de la mer et épisodes très larges ou avec une trajectoire imprécise qui mettent une vigilance, une grande majorité des communes adhérentes du SMOP, le nombre d'utilisateurs prévu pour le SI sera de 30 postes clients en accès simultané, voire 50 postes pour compter très larges, si les communes demandaient plusieurs accès.

Dès lors que les communes passeront en mode surveillance des conditions hydrométéorologiques, c'est-à-dire avec une actualisation Temps réel (1 fois par minute), seules les couches vectorisées (hors fond de plan raster) seront actualisées pour un volume d'environ 150 Kilo-octets de data à transférer à chaque poste client. Nous pouvons considérer une couche tronçon hydrographique, une couche symboles Etat des stations et une couche isohyètes calculées (spline 2D par exemple).

Toutes les données suivantes sont issues d'une étude menée par ESRI pour sa solution ARCGIS. Sachant que l'encapsulation sous trame IP a un taux d'expansion de 10%, qu'un octet correspond à 8 bits data, nous obtenons les tableaux suivants :

Estimation pour 50 postes de consultation en accès simultané

50 postes	3 couches vectorisées (450 Koctets) chaque minute	Couche raster (500 Koctets) toutes les six minutes
Volume actualisation couches vectorisées	23 Megaoctets	25 Megaoctets
Volume avec encapsulation IP	25 Megaoctets	28 Megaoctets
Débit min pour actualisation couches vectorisées	3,3 Mbps (M bits par sec)	
Débit MAX pour actualisation simultanée couches vectorisées et raster		7 Mbps (M bits par sec)

Recommandations /Constatations : La lecture de ce tableau n'a pour objet que dimensionner les débits sortants à demander dans les termes de référence pour la location d'un accès à un superviseur mutualisé, puisqu'aucun budget n'est prévu pour l'investissement d'un superviseur dédié et qu'un tel choix n'apporterait aucune plus-value pour le SMOP.

4.10 SCENARI D'ORGANISATION DU FUTUR DISPOSITIF D'AVERTISSEMENT

Si le choix est relativement simple à trancher pour ce qui de l'externalisation de la maintenance des sites de mesure, définir le mode d'exploitation et de maintenance du système d'information, voire même de son acquisition ou de sa colocation, est plus complexe.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le SMOP ne dispose pas des compétences informatiques pour gérer un SDAL complexe, ni de budget d'investissement pour financer son superviseur. Il est préférable que le SMOP recoure à une externalisation totale de la prestation d'exploitation, au sens informatique du terme, il ne faut pas considérer l'exploitation hydrométéorologique dans cette phrase.

Recommandations /Constatations : En l'absence de budget pour financer la mise en œuvre d'un superviseur et une plateforme de modélisation spécifique au SMOP, il est proposé que ces services soient considérés comme des abonnements inclus dans un marché dont le périmètre reste à définir.

5 CONCLUSION

5.1 VISION SIMPLIFIEE DU SDAL POUR LA GESTION CRUE

Un schéma très simple pour mieux comprendre le SDAL dans ses grandes fonctionnalités.

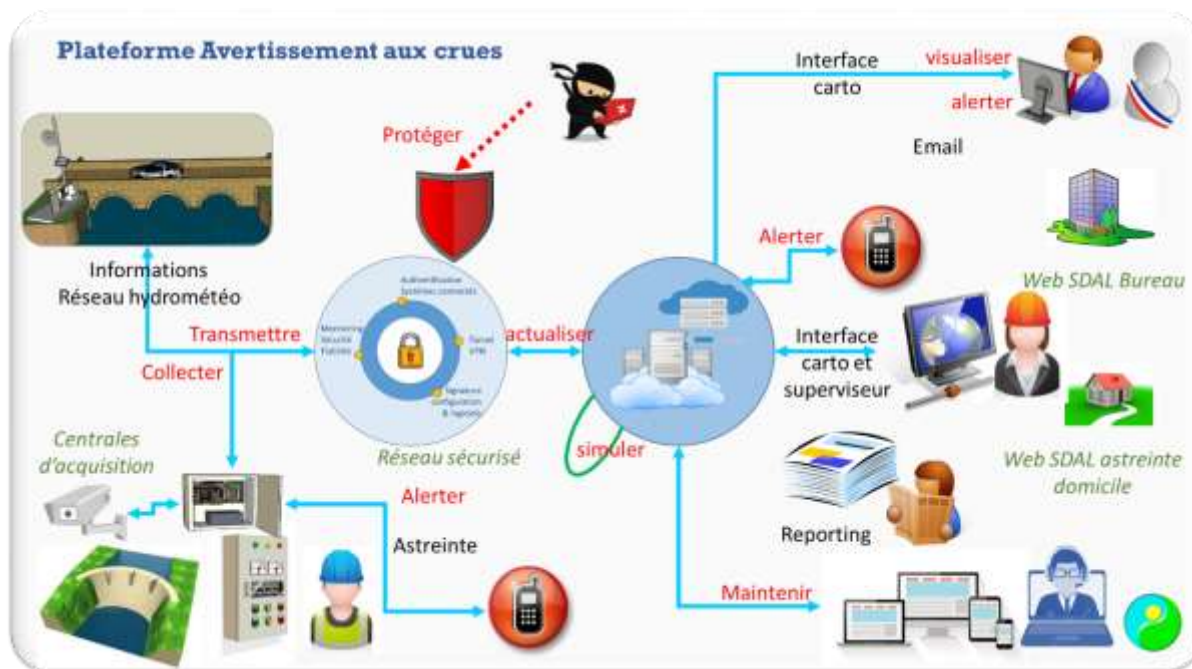


Figure 68 Schéma simplifié Plateforme d'avertissement aux crues

5.2 FLUX D'INFORMATIONS DU SDAL POUR LA GESTION CRUE

En complément à ce schéma précédent, des diagrammes de flux donnent une vision relativement simplifiée de l'usage du SDAL lors de la survenue d'une crue. Ils montrent aussi la grande dépendance du SDAL vis-à-vis des télécommunications, et suggèrent comme nous l'avons décrit dans les chapitres précédents la nécessité :

- d'une redondance télécom (3G/4G et satellitaires) pour les stations limnimétriques ;
- d'une télécom 3G/4G pour les stations pluviométriques (la donnée radar pouvant partiellement palier à l'absence de données in-situ) ;
- d'une redondance possible par satellite pour les accès internet du SMOP et des cellules de crise communales (WAN). Sur disparition de l'internet terrestre, cette télécommunication permettra de poursuivre la surveillance sur le SDAL, mais aussi les communications SMOP et cellules de crise via des services comme Skype, Whatapp ou encore Signal ;
- le SDAL et le module de prévisions doivent être hébergés en datacenter, avec redondance géographique (tant que possible) ;

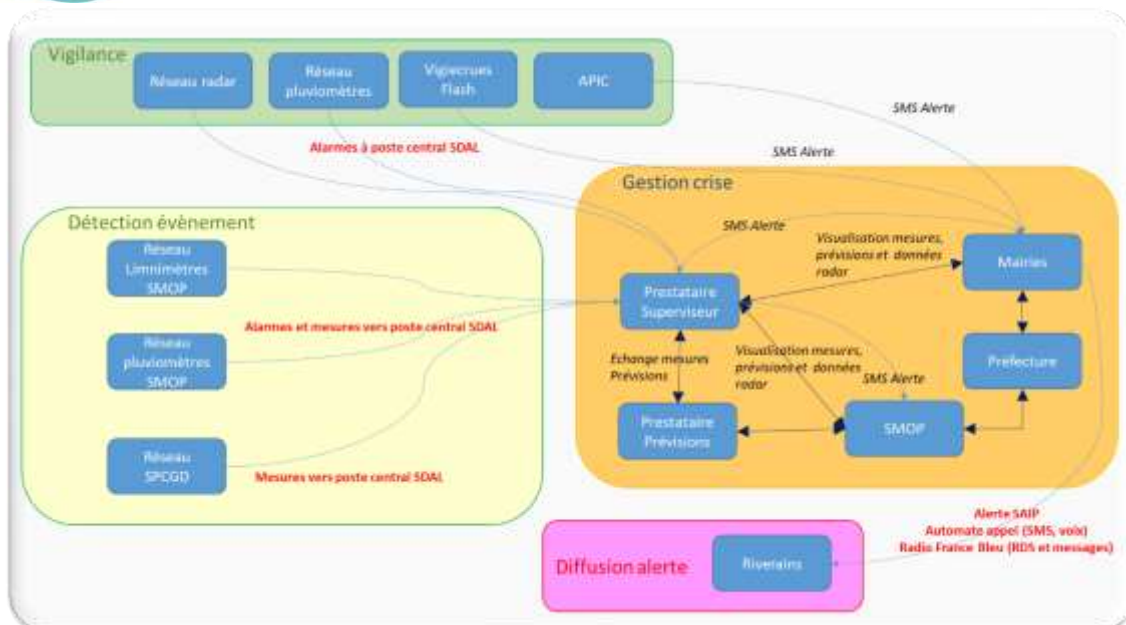


Figure 69 flux d'informations du SDAL pour la gestion de la crue

5.3 PROPOSITION D'INSTRUMENTATION DE NOUVEAUX SITES DE MESURE

La figure ci-après visualise le réseau hydro pluviométrique tel que nous l'envisageons avec :

- En icône « rond jaune », le réseau existant du SPCGD. Notez le déplacement de la station 1A Buis les Baronnie sur le site 1B plus en amont dans la commune même de Buis ;
- En icône « rond vert », les sites hydrométriques du SMOP, avec une interrogation sur l'opportunité d'équiper deux sites de mesure sur la Seille
- En icône « triangle bleu », les sites pluviométriques dont l'intérêt devra être confirmé par l'étude de prévision hydrologique ;

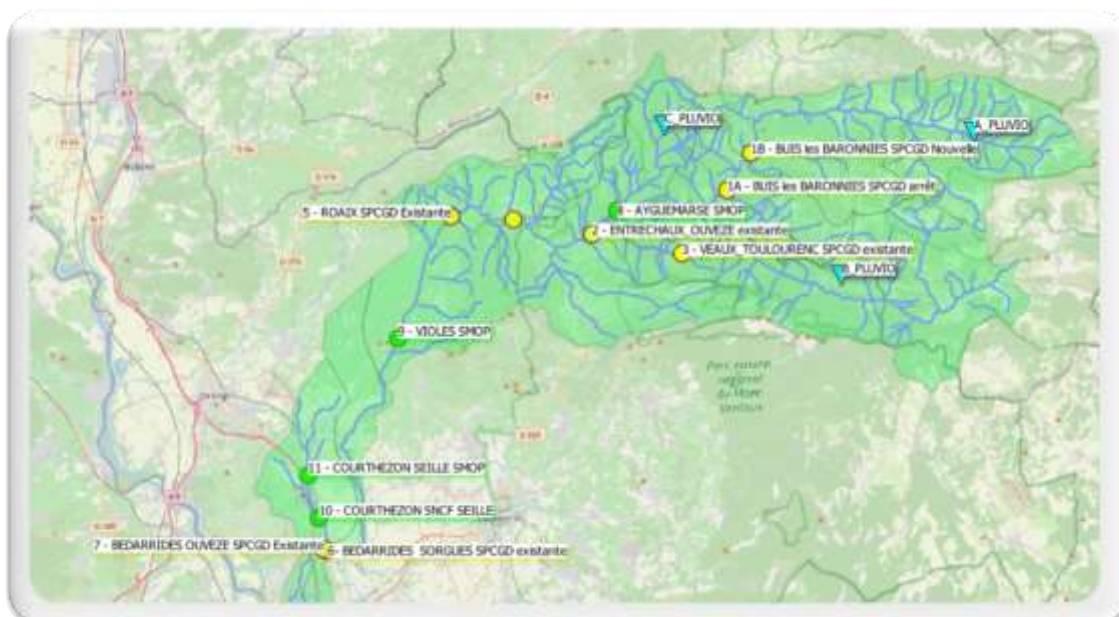


Figure 70 Proposition d'un nouveau réseau de suivi hydro-pluviométrique

5.4 COÛTS D'INVESTISSEMENT PAR ACTIVITE

Nous avons évalué les toutes premières estimations financières par activités, études de prévision et installation de sites de mesure. Ces estimations seront affinées lors de la finalisation des termes de référence par la construction du bordereau des prix, mais d'ores et déjà, elles permettent d'anticiper les budgets et éventuellement prioriser les différents travaux.

5.4.1 Prévisions des crues

Prévisions de crues	(euros)
Rationalisation du réseau météo	5 400
Analyse performances des différents outils de modélisation	4 500
Calage	12 000
Apport de la donnée radar et réseau in-situ	6 400
Tests et validation opérationnelle	9 200
Intégration dans système information SDAL	4 500
Formation	3 600
Points de mesure temporaires pris en compte par ailleurs	
TOTAL	45 600

Achat des données Météo France pour rationalisation et calage (provisions 6000 euros)

Achat lames d'eau radar (par an) auprès de Prédicte (10 000 euros) à vérifier.

5.4.2 Configuration T : station limnimétrique Temporaire

Nous proposons d'équiper certains points de mesure temporaire vérifier le calage de la prévision à des sites d'alerte non équipés.

Site limnimétrique avec capteur radar	(euros)
Installation temporaire et dépose du point de mesure	450
Location centrale d'acquisition avec modem Lora ou GPRS (24 mois)	1 800
Abonnement télécommunications	240
Entretien et hébergement superviseur sur 24 mois	720
TOTAL	3 220

5.4.3 Configuration P : station pluviométrique

Nous avons considéré l'installation de trois sites pluviométriques, mais l'intérêt sera confirmé lors des études préalables au calage du modèle de prévision.

Site pluviométrique	(euros)
Coffret électrique (pas d'alimentation EDF)	1 100
Centrale d'acquisition avec d'acquisition GPRS/3G/4G (pas de secours Iridium)	2 300
Capteur pluviométrique	1 900
Pied et dalle	900
Enclos grillagé	1 800
Etude, installation, paramétrage et réception	3 100
TOTAL	11 100

5.4.4 Configuration L : station limnimétrique

Nous avons considéré prioritairement l'installation de quatre sites limnimétriques (Aygue Marse,

Violes, Courthezon, Vercoiran/étiages), même si des réflexions seront sur le site de Courthezon pour équiper la station d'un capteur de débit (type mainstream – surcôté de l'ordre de 2000 euros) en lieu et place d'un capteur limnimétrique.

Site limnimétrique avec capteur radar	(euros)
Armoire / Coffret électrique domaine public (y compris panneaux solaires)	2 900
Centrale d'acquisition GPRS/3G/4G	2 700
Secours Iridium	1 800
Capteur limnimétrique radar	1 800
Potence	1 600
Dalle	1 300
Echelles limnimétriques (^4 m)	900
Etude, installation, paramétrage et réception	4 400
TOTAL	17 400

5.4.5 Configuration C : station limnimétrique avec Camera (sans limni)

Nous mentionnons ici ce type d'installation en complément aux sites du SPCGD. Leur objet est avant tout d'estimer les vitesses de surface lors des crues et ainsi permettre une estimation du débit de crue par une approche comparable à un jaugeage aux flotteurs. Les coûts d'investissement en regard des contraintes d'installation et des limitations d'usage (notamment la nuit), nous invite à préconiser ce type d'installation dans un second temps.

Site limnimétrique avec caméra	(euros)
Armoire / Coffret électrique domaine public (y compris cellule EDF)	3 200
Centrale d'acquisition avec routeur 3G/4G pour caméra	3 600
Secours Iridium	
Capteur limnimétrique radar	
Caméra et projecteur infrarouge	2 400
Module de calcul Camflow (paramétrage)	6 000
Potence	1 800
Dalle	1 300
Echelles limnimétriques (^4 m)	800
Etude, installation, paramétrage et réception	4 400
TOTAL	23 500

Raccordement au réseau EDF non inclus (provisions 3500 euros par site)

5.5 PROPOSITION D'INVESTISSEMENT

Construire une stratégie de déploiement à ce projet doit s'envisager avec pragmatisme, la sagesse prévalant sur l'enthousiasme, même s'il est simplement technique. Par ailleurs, il faut garder à l'esprit que tout investissement produit implicitement des charges d'exploitation, et ne pas uniquement planifier le projet sur les seules contraintes budgétaires fournies par le PAPI.

Une grande part des interrogations auxquelles nous sommes confrontés aujourd'hui, sera solutionnée lors de l'étude de prévision, que ce soit le nombre de pluviomètres et leurs localisations, la nécessité d'un second site limnimétrique sur la Seille. Pour ce qui est des sites temporaires de validation du calage du modèle, le choix relève plus de la volonté ou non du SMOP d'assurer une vérification des performances du modèle sur une période de deux ans.

En premier lieu, doit être envisagée l'étude de prévision des crues, avec le souhait ou non que suivre la performance du modèle avec l'instrumentation temporaire ;

Puis selon les résultats de l'étude :

- Envisager ou non l'instrumentation de sites pluviométriques ou privilégier l'exploitation des données de prévision pluviométrique de MétéoFrance ;
- Considérer l'installation des trois sites de mesure limnimétriques (Aiguemarse, Violès, Courthezon) avec selon les choix de l'étude de prévision, l'ajout ou non d'un site additionnel sur la Seille,
- Considérer l'installation du site de Vercoiran pour le suivi des étiages ;

Et enfin, quel que soit le nombre de sites hydro-pluviométriques, tous doivent être connectés à un superviseur (abonnement), superviseur mettant aussi à disposition les mesures des sites SPCGD, et diffusant l'ensemble de ces données à disposition d'une plateforme de prévision temps réel.

Ces réflexions amènent à ces premières estimations.

5.5.1 Solution de base

Cette solution considère l'étude du modèle de prévision, 5 points de mesure temporaire pour sa validation, 3 sites limnimétriques, l'achat des données météoFrance.

CHARGES D'INVESTISSEMENTS			
Prestations	Nombre de sites	Prix unitaires (euros HT)	Sous Total (euros HT)
Prévision des crues	1	45 600	45 600
Configuration L : Station LIMNIMETRIQUE	4	16 500	66 000
Configuration stations dans superviseur (SMOP SPC Tempo)	14	900	5 400
Lot de maintenance et pistolet jaugeur (1)	1	7 300	7 300
Points de mesure temporaire	5	3 220	19 320
TOTAL (version de base)			143 620

CHARGES D'EXPLOITATION			
Prestations	Nombre	Prix unitaires (euros HT)	Sous Total (euros HT)
Maintenance préventive (2 passages par an)	4	520	2 080
Maintenance corrective (nb interventions sur une année)	1	1350	2 700
Hébergement stations sur superviseur	14	430	2 580
Frais de télécommunication stations 3G/4G	4	370	1 480
Frais de télécommunication stations satellite (20 jours/ an)	4	520	2 080
Hébergement et maintenance modèle de prévision	1	8 000	8 000
Achat lames d'eau radar (à confirmer)	1	10 000	10 000
Divers (provision)	1	500	500
TOTAL (version de base)			31 510

5.5.2 Solution complète

Cette solution s'enrichit d'un réseau pluviométrique pour venir compléter les données Météofrance, un accès sécurisé internet par satellite et un groupe électrogène pour assurer une continuité de service même en dysfonctionnement des infrastructures de services terrestres (télécom et énergie).

CHARGES D'INVESTISSEMENTS			
Prestations	Nombre de sites	Prix unitaires (euros HT)	Sous Total (euros HT)
Prévision des crues	1	45 600	45 600
Configuration L : Station LIMNIMETRIQUE	4	16 500	66 000
Configuration stations dans superviseur (SMOP SPC Tempo)	17	900	15 300
Lot de maintenance et pistolet jaugeur (1)	1	7 300	7 300
Points de mesure temporaire	5	3 220	19 320
Configuration A : Station PLUVIOMETRIQUE	3	11 100	33 300
Micro-ordinateurs – imprimantes – réseau local	1	8 000	8 000
Terminal satellite	1	900	900
Groupe électrogène locaux SMOP	1	6 000	6 000
TOTAL (version complète)			198 500

CHARGES D'EXPLOITATION			
Prestations	Nombre	Prix unitaires (euros HT)	Sous Total (euros HT)
Maintenance préventive (2 passages par an)	7	520	3 120
Maintenance corrective (2 interventions sur une année)	2	1350	2 700
Hébergement stations sur superviseur	17	430	7 310
Frais de télécommunication stations 3G/4G	7	370	2 590
Frais de télécommunication stations satellite (20 jours/ an)	7	520	3 640
Hébergement et maintenance modèle de prévision	1	8 000	8 000
Achat lames d'eau radar (à confirmer)	1	10 000	10 000
Secours Satellite internet SMOP	1	1200	1 200
Maintenance groupe électrogène et essence	1	1 000	1 000
Divers (provision)	1	500	500
TOTAL (version complète)			40 060

5.5.3 Estimation par commune

Nous avons listé la fourniture de tous les éléments nécessaires à l'accès au SDAL depuis chaque cellule de crise communale, mais à priori, bon nombre d'équipements sont déjà disponibles. Le secours internet pourra être envisagé au fil des retours d'expérience. Ce coût d'abonnement pourrait baisser avec l'arrivée de Starlink : achat du terminal : 560 euros et abonnement services 99 euros avec à priori, aucune restriction du volume mensuel de données. Cela veut dire que l'accès à internet peut être utilisé tout au long de l'année, pour une école ou un service municipal non desservi par l'internet terrestre.

CHARGES D'INVESTISSEMENTS			
Prestations	Nombre	Prix unitaires (euros HT)	Sous Total (euros HT)
Micro-ordinateur	1	1 000	1 000
Secours Satellite internet	1	1 200	1 200
Onduleur	1	800	800
Groupe électrogène locaux salle de crise	1	3 000	3 000
Divers (provision)	1	500	300
TOTAL			6 300

CHARGES D'EXPLOITATION			
Prestations	Nombre	Prix unitaires (euros HT)	Sous Total (euros HT)
Secours Satellite internet	1	1200	1200
Maintenance groupe électrogène et essence	1	500	500
Divers (provision)	1	200	200
TOTAL			1 900

5.6 MONTAGE ADMINISTRATIF DE L'APPEL D'OFFRES

Le déploiement du SDAL va faire appel à deux familles d'activités, l'hydrologie et l'hydrométrie, avec pour les deux activités, des savoir-faire importants pour garantir pérennité et fiabilité au dispositif SDAL. Les critères de notation des offres devront faire l'objet d'une attention particulière lors de la rédaction des pièces techniques des dossiers de consultation.

La mise en œuvre du projet nécessite un phasage des activités, avec la nécessité de traiter en priorité la « Rationalisation du réseau pluviométrique » puis l'apport de la donnée radar et données in-situ au calage de la prévision. De ces activités vont découler le choix d'installer des sites pluviométriques et les points de mesure temporaires.

Ainsi, pourrait s'envisager un premier dossier de consultation pour l'étude du modèle de prévision sous une forme forfaitaire, les travaux se déroulant plus dans le cadre d'un marché à bons de commande sur une période de 4 ans par exemple pour permettre d'étaler les investissements sur plusieurs exercices budgétaires.

En termes de délais, les prestations modélisation se dérouleront sur une période de 4 à 6 mois.

5.7 ET LES ETIAGES !

Nos propos ont porté principalement sur la gestion des crues, même si nous avons ciblé l'installation des deux nouveaux sites de mesure (Vercoiran et Buis Les Barronnies) pour le suivi des bas débits.

Mais quid des aspects modélisation des étiages, et en ce sens, solliciter l'INRAE dans un cadre à définir (R&D ?) pour tester l'outil opérationnel de prévision des étiages PREMHYCE serait intéressant puisqu'à priori le réseau hydrométrique se prêterait mieux à la mesure des petits débits avec ces nouveaux équipements.

Contact : INRAE Antony : Charles Perrin (charles.perrin@inrae.fr) et François Bourgin (francois.bourgin@inrae.fr).

ANNEXES

Suivi des versions du document

Version	Date	Responsable	Modifications apportées au document
A01	05/07/2021	LTOC	Version initiale. Création du corps de document
A02	21/07/2021	LTOC	Intégration des informations collectées lors des rencontres avec les communes. Réécriture des premiers chapitres
A03	03/08/2021	LTOC	Sauvegarde intermédiaire suite à ajout de chapitres externes
B04	21/09/2021	LTOC	Ajout aspects modélisation hydro
B05	28/09/2021	LTOC	Ajout des informations communiquées par le SPC GD lors de la réunion du 24/09/2021
C06	20/10/2021	LTOC	Suite à relecture SMOP. Ajout fond carto stations. Reprise conclusion pour présenter phasage investissements

Interlocuteurs :

ACEC (Audrey CECCALDI Syndicat Mixte de l'Ouvèze Provençale)

LTOC (Laurent TOCQUEVILLE Eaurêka)