

---

# Rapport de stage individuel

## 5<sup>ème</sup> année

### Détermination de seuils hydrologiques sur des cours d'eau du territoire du SMIAGE

---

**SMIAGE**

147 boulevard du Mercantour,  
06204 NICE



**Tuteur entreprise :**

Mr Aurélien CHARTIER  
Direction de Pôles

**Tuteur académique :**

Mr Stéphane RODRIGUES

Médéric JOLY  
**IMA**

2019-2020

## Remerciements

Malgré le contexte sanitaire particulier, je veux remercier toutes les personnes qui m'ont permis de rendre cette expérience professionnelle très enrichissante.

Je tiens tout d'abord à remercier l'équipe qui m'a accueilli : Mme Raphaëlle DREYFUS, Mr Aurélien CHARTIER, Mr Mathieu CIAIS et Mr Gaël DERRIEN. Merci beaucoup de m'avoir offert l'opportunité de découvrir les domaines de la gestion de crise inondation et de l'hydrométrie. Je vous remercie pour mon intégration au sein de votre équipe. Les nombreuses réunions m'ont permis de comprendre le rôle du SMIAGE, les outils nécessaires et les acteurs présents dans ces domaines. Je vous remercie particulièrement pour l'encadrement au cours du stage (suivi, conseils).

Ensuite, je tiens également à remercier les personnes suivantes pour les précieux conseils dans le domaine de l'hydraulique : Mme Leslie SALVAN, Mme Julie POGGIO et Mr Stan NOMIS.

Plus généralement, je tiens à remercier l'ensemble des agents du SMIAGE qui m'ont permis de découvrir un grand nombre de missions rattachées à la compétence GEMAPI. Je vous remercie notamment pour les nombreuses campagnes hydrobiologiques (pêche électrique, prélèvements IBGN et IBD), pour la journée de sensibilisation aux rivières sauvages auprès des écoles primaires et en périscolaire, et pour la campagne de prélèvement d'eau de nappes phréatiques surveillées par le SMIAGE.

Je remercie également l'ensemble des personnes ayant contribué aux nombreuses démarches administratives pour me permettre de débiter et de poursuivre mon stage dans les meilleures conditions.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de l'école Polytech Tours et en particulier Mr Stéphane RODRIGUES, pour la formation et les cours dispensés, qui m'ont permis de profiter au mieux de cette expérience professionnelle pour devenir un futur professionnel opérationnel.

# Table des matières

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>ORGANISME D'ACCUEIL .....</b>	<b>2</b>
A. CONTEXTE DE CREATION ET STATUT .....	2
B. PERIMETRE D'INTERVENTION ET MISSIONS CONFIEES .....	2
C. ORGANISATION INTERNE DU SMIAGE .....	3
<b>DOMAINE DE LA GESTION DE CRISE INONDATION : PREVISION, SURVEILLANCE, ET ALERTE .....</b>	<b>4</b>
A. INTERET DE LA DEMARCHE DE GESTION DE CRISE INONDATION .....	4
B. DIFFERENTES APPROCHES DE GESTION DE CRISE .....	4
C. ACTEURS DE LA PREVISION ET DE LA VIGILANCE HYDROMETEOROLOGIQUE .....	5
D. ACTEURS DE LA CHAINE D'ALERTE ET D'INTERVENTION .....	6
<b>OBJECTIF ET CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>8</b>
<b>MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>9</b>
A. IDENTIFICATION DES OUTILS DE SURVEILLANCE .....	9
B. IDENTIFICATION DES POINTS SENSIBLES A PROTEGER .....	9
C. DETERMINATION DES CAPACITES DU LIT DE LA PLAINE DE LA BRAGUE .....	10
D. SEUILS HYDROLOGIQUES DANS LA PLAINE DE LA BRAGUE .....	12
E. SEUILS HYDROLOGIQUES EN AMONT DE LA PLAINE DE LA BRAGUE .....	15
<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>18</b>
A. ANALYSE DE L'INSTRUMENTATION DU BASSIN VERSANT .....	18
B. DETERMINATION CAPACITE DU LIT MINEUR.....	19
C. ANALYSE DES GRADIENTS DE MONTEE DES CRUES.....	23
D. SEUILS HYDROLOGIQUES RETENUS POUR LA GESTION DE CRISE.....	25
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>32</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES ET DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>34</b>
<b>LISTE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>36</b>
<b>LISTE DES TABLEUX .....</b>	<b>36</b>
<b>ANNEXE 1 : CADRE LEGISLATIF DE LA PREVENTION DES INONDATIONS .....</b>	<b>37</b>
<b>ANNEXE 2 : OBJECTIFS SLGRI – DEPARTEMENT ALPES MARITIMES.....</b>	<b>38</b>
<b>ANNEXE 3 : TERRITOIRE DU SMIAGE .....</b>	<b>39</b>
<b>ANNEXE 4 : OUTILS HYDROMETEOROLOGIQUES ET DE GESTION DE CRISE MIS EN PLACE PAR LE SMIAGE .....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXE 5 : ORGANIGRAMME DU SMIAGE.....</b>	<b>42</b>
<b>ANNEXE 6 : LOCALISATION DES SECTIONS TRANSVERSALES DE L'APPROCHE GEOMETRIQUE .....</b>	<b>43</b>

# Introduction

Les conséquences des inondations sont majeures dans un grand nombre de régions à travers le monde. En France métropolitaine, sur les 30 dernières années, le risque naturel de type « inondations » (marine, urbaine, fluviale) représente un coût moyen annuel compris entre 650 et 800 millions d'euros (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2014). La moitié de ce coût est pris en charge par le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, mis en place par la loi du 13 juillet 1982, et appelé « régime CAT-NAT » (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2014). Sur le territoire national, 16.8 millions d'habitants et plus de 9 millions d'emplois sont menacés par des inondations fluviales, tandis que 1.4 million d'habitants et 850 000 emplois sont exposés au risque d'inondation par submersion marine (Ministère de la Transition Ecologique, 30/04/2020).

Le département des Alpes Maritimes est fortement concerné par le risque d'inondation. Plusieurs crues dommageables ont eu lieu ces dernières années : crues du 6 novembre 2011, du 03-04 octobre 2015, du 23-24 novembre 2019 et 1 décembre 2019. L'aléa inondation de ce département est d'origine fluviale, marine et urbaine (Département des Alpes Maritimes, 2016). Les causes du risque inondation sont notamment le régime climatique méditerranéen et la forte urbanisation de la frange littorale. Ainsi, selon le cadre réglementaire de prévention des inondations (détaillé dans l'annexe 1), un Territoire à Risques Importants d'Inondation (TRI), appelé Nice-Cannes-Mandelieu La Napoule a été défini dans le département. Le diagnostic du TRI a conduit à l'élaboration d'une Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation (SLGRI), en 5 objectifs (détaillés en annexe 2), couvrant la période 2016-2021 (Département des Alpes Maritimes, 2016). Au sein du périmètre d'action de cette SLGRI, 43.5 % de la population (364 648) et 67.1 % (231 240) des emplois sont exposés aux inondations d'origine fluviale, tandis que 2.6 % de la population (22 024) et 5.1 % (17 530) des emplois sont exposés aux inondations d'origine marine (Département des Alpes Maritimes, 2016).

Le Syndicat Mixte pour les Inondations, l'Aménagement et la Gestion de l'Eau maralpin (SMIAGE) est un acteur important du département des Alpes Maritimes dans les domaines de la prévention des inondations et de la gestion de crise des risques hydrométéorologiques. Ses missions répondent aux objectifs fixés par la SLGRI et par la compétence GEMAPI. Le pôle du SMIAGE dans lequel le stage a été réalisé répond notamment à l'objectif n°2 de la SLGRI, intitulé « Améliorer la prévision des phénomènes hydrométéorologiques et se préparer à la crise » (Département des Alpes Maritimes, 2016). Une veille hydrométéorologique 24/24h ainsi que la constitution et la maintenance d'un réseau de télémessures sont notamment réalisés, afin de réduire les impacts (humains, matériels et économiques) des inondations dans le département.

Ma mission de stage s'inscrit dans le cadre de l'amélioration de la surveillance hydrométéorologique des bassins versants de la Brague et du Loup où un marché d'instrumentation est en cours. Ce marché public a pour but d'installer des outils et des capteurs (caméra de levée de doute, échelles limnimétriques et radars de hauteurs d'eau) pour suivre la réaction hydrologique des cours d'eau surveillés. Sur les équipements de mesures de hauteurs d'eau et de débits, mon objectif de stage était de déterminer des seuils hydrologiques (hauteur/débit), amenant à la problématique suivante : Comment déterminer des seuils hydrologiques pour la protection de la population aux inondations d'origine fluviale ?

Le rapport sera organisé de manière à présenter dans un premier temps l'organisme d'accueil, une introduction au domaine de la gestion de crise ainsi que les objectifs et le contexte de l'étude. Dans un second temps, les outils, les données et les méthodes employés, ainsi que les résultats et les discussions associés à la méthodologie mise en place seront explicités. Le rapport détaillera uniquement la méthodologie employée sur le bassin versant de la Brague car il a été principalement étudié durant ce stage.

# Organisme d'accueil

## A. Contexte de création et statut

La création du SMIAGE, par arrêté préfectoral, en date du 16 décembre 2016, s'inscrit dans un contexte d'évolution législative important, ayant pour vocation de clarifier les compétences dans le domaine de la gestion des cours d'eau et de la prévention des inondations. Ainsi, la loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles, dite « loi MAPTAM » a créé une compétence obligatoire et exclusive au profit des communes et des EPCI à fiscalité propre, en matière de « GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations » (GEMAPI), prenant effet au 1er janvier 2016, repoussée au 1er janvier 2018 par la Loi NOTRe.

Dans cette démarche, le Comité Départemental de l'Eau et de la Biodiversité (CODEB) du 22 janvier 2015, a instauré une mission d'appui locale, regroupant l'État et le Département des Alpes Maritimes, afin d'assister les intercommunalités dans l'organisation de la prise de la compétence GEMAPI. Cet objectif a été finalisé en 2018, lorsque le SMIAGE est devenu un Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) opérationnel, impliquant des missions de coordination/animation et maîtrise d'ouvrage opérationnelle pour le compte de ses membres (EPCI à Fiscalité Propre – EPCI-FP).

Ainsi, chaque EPCI-FP, est tenu de définir les modalités d'exercice de la compétence GEMAPI par le SMIAGE (transfert/délégation) et le contenu matériel de cette compétence. D'un point de vue opérationnel, des Contrats Territoriaux (CT) sont signés avec chaque membre du SMIAGE. Le statut du syndicat implique que chaque membre supporte obligatoirement les dépenses correspondant aux compétences qu'il a transférées ou déléguées au syndicat ou aux prestations de services escomptées. L'ensemble de ces informations sont synthétisées dans le Schéma d'Organisation des Compétences Locales de l'Eau (SOCLE).

Parallèlement à cette évolution législative, les dramatiques inondations du 3 et 4 octobre 2015 qui ont touchées la Côte d'Azur ont imposé aux acteurs locaux de redéfinir les politiques de prévention des risques. La gestion des risques dépasse le périmètre des intercommunalités et doit s'organiser à l'échelle des bassins versants, en intégrant la gestion globale des milieux aquatiques.

## B. Périmètre d'intervention et missions confiées

Dans le cadre de ses missions, le SMIAGE intervient sur une surface de 5 300 km<sup>2</sup> (Figure 1), couvrant l'ensemble du département des Alpes-Maritimes, ainsi qu'une partie des départements des Alpes de Haute-Provence et du Var. Il peut agir sur l'intégralité des bassins versants des cours d'eau où un Contrat Territorial a été signé. Ce territoire concerne 183 communes, regroupées dans 10 EPCI. Une localisation plus précise de ces EPCI est disponible en annexe (annexe 3).

Le territoire du SMIAGE couvre ainsi les bassins versants suivants: Riou de l'Argentière, Siagne, Brague, Loup, Cagne, Var, Estéron, Paillons, Roya dans sa partie française, ainsi que plusieurs cours d'eau/vallons côtiers.

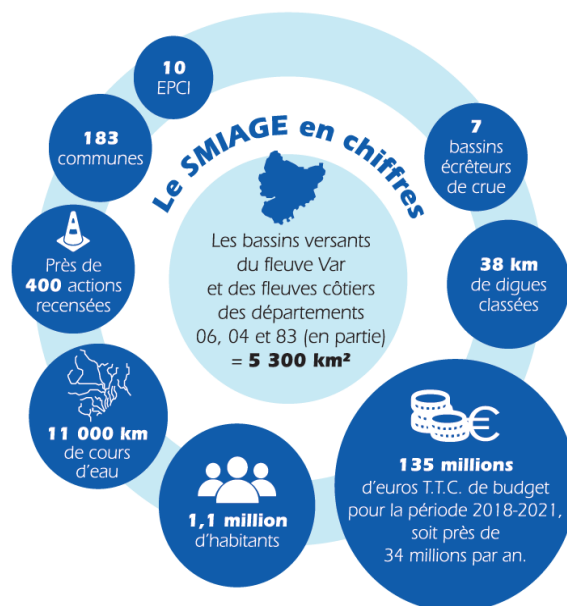


Figure 1: Chiffre clefs du SMIAGE (source : <https://www.smiage.fr/qui-sommes-nous/>)

Le SMIAGE participe à l'amélioration de la prévention des inondations et la défense contre la mer, la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau, ainsi que la préservation, la gestion et la restauration de la biodiversité des écosystèmes aquatiques et des zones humides. Il contribue, s'il y a lieu, à l'élaboration et au suivi des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

Les missions du SMIAGE sont exercées sans préjudice des obligations d'entretien régulier du cours d'eau par le propriétaire du domaine public fluvial (CG3P, art. L. 2124-11) et des propriétaires riverains prévues aux articles L. 215-14 et L. 215-16 du code de l'environnement, ni des missions exercées par les associations syndicales de propriétaires, ni des pouvoirs de police des Maires (CGCT, art. L. 2212-2 5 °) et du préfet du département (C. Env., art. L. 211-5, art. L. 215-7 notamment). Le Schéma d'Organisation des Compétences Locales de l'Eau (SOCLE) précise les missions confiées au SMIAGE. Néanmoins, le syndicat a l'obligation d'intervenir dans les domaines suivants :

- La défense contre les inondations au titre de la compétence GEMAPI : la réalisation, la mise en conformité et la gestion des systèmes d'endiguement et des aménagements hydrauliques ainsi que l'appui à la définition des zones protégées qui reste du ressort des EPCI à FP.
- La mise à disposition d'un service d'expertise et de conseil pour la prévision des risques hydrométéorologiques et l'assistance à la gestion de crise, en complément des actions d'assistance menées par les EPCI à FP et sans préjudice des obligations du Maire et du Préfet en matière de sécurité civile et de pouvoir de police. Une liste non exhaustive des outils mis en place par le SMIAGE est disponible en annexe (annexe 4).

**Cas particulier du bassin versant de la Siagne :** Avant sa dissolution, le Syndicat de la Siagne (SISA) était considéré comme un Système d'Avertissement Local aux crues (SDAL) et était ainsi référencé dans le Schéma Directeur de Prévision des Crues (SDPC) du bassin Rhône Méditerranée, approuvé par arrêté préfectoral le 20 décembre 2011. En conséquence et en vertu de l'Article L564-2 du code de l'environnement, le SMIAGE, reprend le statut et les missions du SISA et devient SDAL sur le bassin versant de la Siagne.

- La mise à disposition des outils d'observation des milieux aquatiques et des ressources souterraines en complément des actions menées par les EPCI à FP.

### C. Organisation interne du SMIAGE

L'organigramme du syndicat est présenté en annexe (annexe 5). Le SMIAGE est articulé suivant 4 directions différentes :

- Direction Administrative, financière et support, en charge de la gestion des ressources humaines, de la gestion financière et du respect des codes des marchés publics.
- Direction Prévision des Risques et Gestion de l'Eau en charge du suivi de la ressource (quantitative et qualitative), de l'appui technique dans les domaines de l'épuration et de l'eau potable ainsi que de la surveillance hydrométéorologique, de la gestion des équipements de surveillance et du déploiement des systèmes d'alerte. **Le stage a été réalisé au sein dans cette direction, dans le pôle Hydrométéo et Gestion de crise.**
- Direction Planification et Gestion des Milieux Aquatiques en charge du suivi de la qualité des milieux aquatiques/zones humides/sites Natura 2000, de l'entretien des cours d'eau, et du suivi des outils de planification (SAGE/PAPI).
- Direction Ingénierie et Travaux en charge de la réalisation d'études de faisabilité, du suivi de la réalisation de marchés publics de travaux, du pilotage des bureaux d'études et du diagnostic des systèmes d'endiguement.

# Domaine de la gestion de crise inondation : prévision, surveillance, et alerte

## A. Intérêt de la démarche de gestion de crise inondation

La gestion de crise repose sur des ressources humaines, matérielles et organisationnelles, permettant une mise en sécurité des biens et des personnes à l'échelle locale. Ainsi, la démarche de gestion de crise permet (CEPRI, 2018):

- Une réduction des dommages aux personnes et aux biens.
- Une économie importante à partir du rapport coût-bénéfice des systèmes de gestion de crise, notamment sur les territoires où des inondations significatives sont relativement fréquentes.
- Une augmentation de la résilience des territoires qui repose, en partie, par une efficacité de la surveillance des cours d'eau et de l'opérationnalité de la chaîne d'alerte.

## B. Différentes approches de gestion de crise

Le tableau suivant répertorie les différentes catégories de dispositifs de gestion de crise, en précisant les objectifs et les limites de chaque approche (Tableau I) :

Tableau I: Détails des dispositifs de gestion de crise en précisant leurs avantages et inconvénients (CEPRI, 2018)

Catégorie	Objectifs	Limites	Exemples
<b>Surveillance des phénomènes hydrométéorologiques</b>	<i>Obtenir des informations quantitatives sur les précipitations et/ou les débits et/ou les hauteurs d'eau dans les cours d'eau.</i>  <i>Comparaison avec seuils hydrologiques/pluviométriques prédéterminés.</i>	<i>Uniquement observation des conditions à un instant t</i>  <i>Pas d'information sur cumul total, débit de pointe, emprise de zone inondée, etc...</i>	<i>Instruments de mesures : radars de hauteurs d'eau et météorologiques, pluviomètres, etc...</i>  <i>Service (APIC) – MétéoFrance</i>
<b>Prévision météorologiques</b>	<i>Prévision des conditions météorologiques à des échéances différentes (long terme, moyen-terme, court terme et immédiate) par l'emploi de modèles météorologiques</i>  <i>Comparaison avec seuils pluviométriques prédéterminés</i>	<i>Pas ou peu d'éléments précis et localisés sur la prévision des conséquences hydrologiques</i>	<i>Modèles météorologiques des Services Météorologiques Mondiaux (SMM)</i>
<b>Prévision des crues</b>	<i>Prévision des débits et/ou des hauteurs d'eau par l'emploi de modèles hydrologiques</i>  <i>Comparaison avec seuils hydrologiques prédéterminés</i>	<i>Pas ou peu d'éléments précis et localisés des secteurs susceptibles d'être inondés</i>	<i>Modèle Pluie-Débit utilisés par les SPC et le SCHAPI dans le cadre de la vigilance "crues"</i>
<b>Prévision des inondations</b>	<i>Prévoir l'extension de la zone inondable ainsi que les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement par l'emploi de modèles hydrauliques</i>		<i>Catalogue de carte d'inondation : cartes des Zones Inondées Potentielles (ZIP)</i>



## C. Acteurs de la prévision et de la vigilance hydrométéorologique

Un réseau de surveillance, de prévision et de vigilance hydrométéorologique a été mis en place par l'Etat. Ainsi, les différents centres de Météo France, et les organismes rattachés au réseau Vigicrues, appelé aussi réseau national pour la prévision des crues et l'hydrométrie (réseau PC&H) interviennent dans ces domaines. La figure suivante présente les acteurs et leurs échanges pour la création d'une vigilance pluie-inondation (Figure 2).

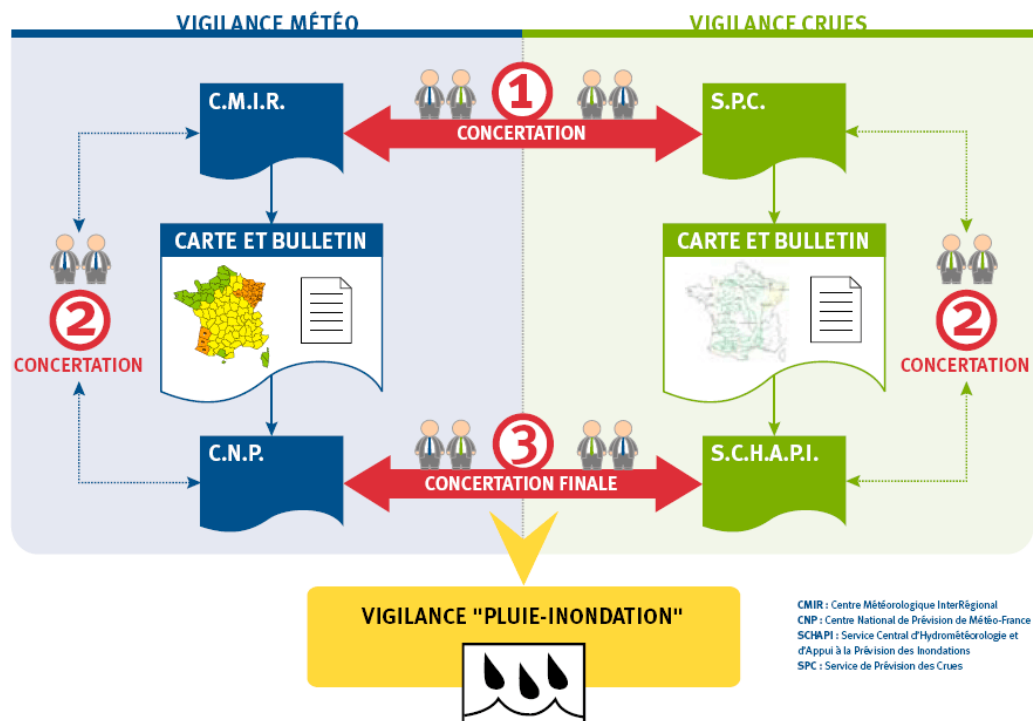


Figure 2: Acteurs et leurs liens dans la prévision et la vigilance hydrométéorologique (source : Météo France dans IRMA, [http://www.irma-grenoble.com/05documentation/04dossiers\\_PJ.php?id\\_PJ=222&id\\_DT=10](http://www.irma-grenoble.com/05documentation/04dossiers_PJ.php?id_PJ=222&id_DT=10))

Néanmoins, ce réseau de surveillance hydrologique des services de l'Etat, ne permet pas de surveiller l'ensemble du réseau hydrographique français. Ainsi, à l'échelle des grands bassins hydrographiques définis par la loi sur l'Eau de 1964, le Schéma Directeur de Prévisions des Crues (SDPC) oriente le périmètre géographique de chaque Service de Prévision des Crues (SPC). Les compétences et les missions de chaque SPC sur chaque cours d'eau surveillé sont fixées dans le Règlement de surveillance, de prévision et de transmissions des Informations sur les Crues (RIC) (CEPRI, 2018).

Le département des Alpes Maritimes fait partie du territoire surveillé par le Centre Météorologique Inter Régional (CMIR) d'Aix-en-Provence et par le SPC "Méditerranée Est ». Ainsi, les orientations de la surveillance hydrologique pour ce territoire sont définies par le SDPC Rhône Méditerranée et sont déclinées pour chaque cours d'eau surveillé dans le RIC SPC Méditerranée Est. Néanmoins le réseau PC&H surveille uniquement un tronçon du cours d'eau « Var ». Le SMIAGE intervient sur son périmètre d'action afin de compléter le réseau de surveillance de l'Etat, en appui des services compétents. Pour la surveillance hydrométéorologique, outre l'utilisation de la plateforme RAINPOL, incluant les données du radar météorologique Hydrix, installé sur le Mont Vial en 2007 par la société NOVIMET, un réseau de capteurs (pluviométriques et hydrométriques) au sol avec télémesures est en cours de déploiement par le SMIAGE sous forme de marchés publics d'instrumentation. Des conventions avec Météo France et certains gestionnaires d'ouvrages (Escota, EDF, etc...) sont également signées. A partir de ces outils, de la veille hydrométéorologique 24/24H (système d'astreinte) et de l'assistance hydrométéorologique de la société PREDICT Services, le SMIAGE participe à la surveillance et à la vigilance hydrométéorologique.



## D. Acteurs de la chaîne d'alerte et d'intervention

A travers la chaîne d'alerte, les informations essentielles à la gestion de crise sont transmises à l'ensemble des acteurs compétents : services de l'État, aux opérateurs publics et privés de services, gestionnaires d'ouvrages hydrauliques, au public (population) ainsi qu'aux services communaux et à tous les services responsables de la sécurité civile. La figure et le tableau suivants présentent les acteurs et les échanges de la chaîne d'alerte (Tableau II et figure 3).

Tableau II: Echanges des organismes responsables de la prévision/vigilance hydrométéorologique (CEPRI, 2018)

Secteurs impactés	Emetteur	Cible
National	CNP et SCHAPI	Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle de Crise (COGIC), Centre National d'Information Routière (CNIR), Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR), Grands Opérateurs Nationaux de Réseaux (ENEDIS, SNCF, etc...)
Zonal	CMIR et SPC	Préfectures de zone de défense et de sécurité civile, Centre Opérationnel de Zone (COZ), Centre Régional d'Information et Coordination Routières (CRICR), DREAL, etc...
Départemental	CMIR et SPC	Préfectures de département, DDT(M), Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours (CODIS), etc....

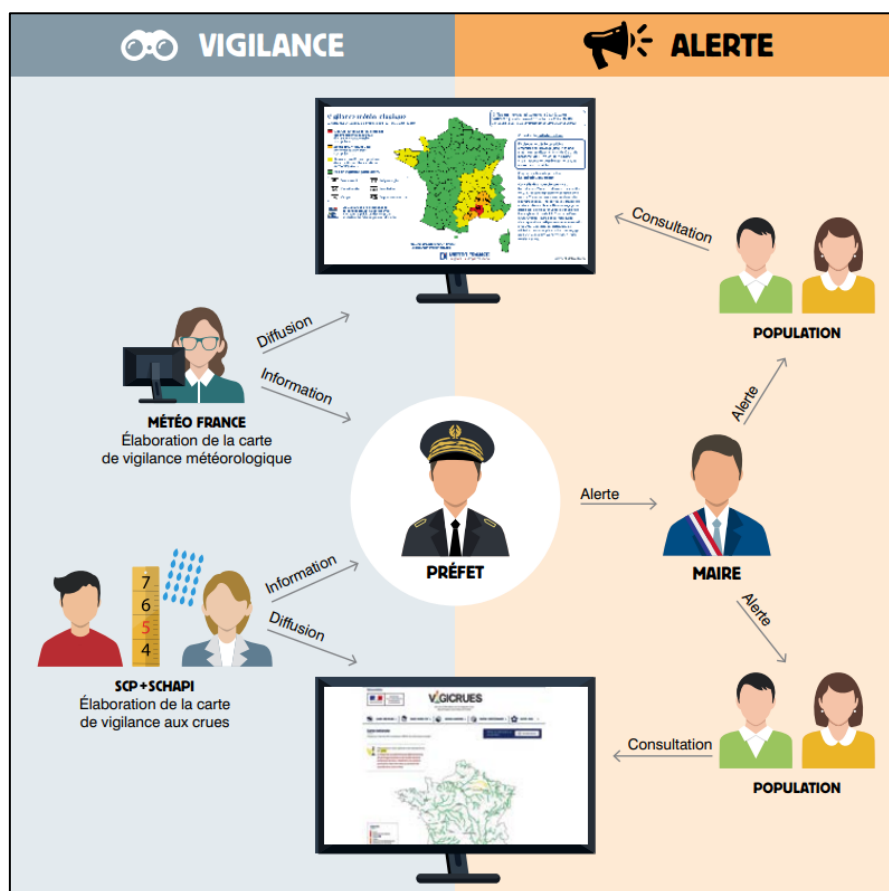


Figure 3: Chaîne d'alerte lors d'une gestion de crise hydrométéorologique (source : CEPRI, 2018)

La sous-division de la Préfecture, appelée « Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC) » mobilise les services concernés par la gestion de crise et alerte les Maires du département concerné, à l'aide du système "Gestion d'Alertes Locales Automatisées" (GALA) (CEPRI, 2018). Cependant, pour chaque département, un Référent Département Inondation (RDI) doit accompagner les Préfets dans la traduction des informations reçues par les organismes responsables de la prévision et vigilance météorologique/hydrologique (CEPRI, 2018). Cet acteur a vocation à traduire les prévisions des crues en potentiels dommages et zones inondées. Le RDI des Alpes Maritimes est la DDTM 06.

Au niveau local, le Maire doit faire valoir son pouvoir de police (CGCT, art. L. 2212-2 5 °) et coordonne les interventions avec les services de secours (SDIS, SAMU, etc...), à l'aide d'échanges avec le Commandant des Opérations de Secours (COS). Ainsi, le Maire devient le Directeur des Opérations de Secours (DOS) lors d'une gestion de crise ne dépassant pas ses limites communales (IRMA, 2012). Dans le cas d'une gestion de crise majeure (dépassant la limite communale ou les capacités de gestion de la commune), le Préfet de Département devient le DOS (IRMA, 2012). Cependant, le Maire conservera la responsabilité de la mise en œuvre des mesures de sauvegarde sur son territoire.

Afin d'exercer le rôle du DOS ou de faire valoir son pouvoir de police, le Maire ouvre une structure d'aide à la décision, d'échanges et d'informations, appelée Poste de Commandement Communal (PCC), constituée de plusieurs cellules de crises ayant des missions respectives : hébergement, communication, interventions techniques, commandement, etc... De même, dans le cas où le Préfet est le DOS, ce dernier ouvre le Poste de Commandement Opérationnel (PCO) et le Centre Opérationnel Départemental (COD) (IRMA, 2012).

Pour guider les opérations communales de sauvegarde lors de la gestion de crise, la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 Août 2004 - n°2004-811, instaure le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) et le rend obligatoire dans les communes concernées par un Plan de Prévention des Risques (PPR).

Dans le cas où le Préfet est le DOS, le dispositif opérationnel appelé Plan ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile) peut être activé. Ce dispositif permet de mobiliser/coordonner l'ensemble des acteurs de la gestion de crise et de la sécurité civile (IRMA, 2012). Le SMIAGE étant SDAL sur le bassin versant de la Siagne, il est également inclut dans le Plan ORSEC.

Dans cette chaîne d'alerte et d'intervention, le SMIAGE aide ses membres dans la prise de décision du déploiement des mesures communales grâce à la surveillance hydrométéorologique mise à disposition de ses membres, au système d'astreinte, et à partir du marché signé entre le SMIAGE et les sociétés PREDICT Services et GEDICOM. Ce marché permet à l'ensemble des maires du territoire du SMIAGE d'obtenir des services d'assistance à la prévision des risques hydrométéorologiques et d'alerte des populations (système d'appel en masse). Les prestations de la société PREDICT Services vont du conseil en temps réel sur la mise en application des PCS communaux et l'évolution future de l'évènement en cours, à l'élaboration de documents communaux (PCS, DICRIM), et la réalisation d'un diagnostic de la vulnérabilité du territoire communale.

Pour conclure sur le domaine de la gestion de crise, le SMIAGE, en collaboration avec la société PREDICT Services, organise des sessions d'exercices de gestion de crise inondation à l'échelle d'un bassin versant, dans le but de tester les dispositifs mis en place et d'identifier des dysfonctionnements et des outils supplémentaires à développer.

## Objectif et contexte de l'étude

La mission confiée avait pour but d'initier une méthode de détermination des seuils hydrologiques (hauteur, débit) sur le bassin versant de la Brague (Figure 4), situé au sud-ouest du département des Alpes Maritimes. Plusieurs seuils hydrologiques (vigilance, pré-alerte, alerte et débordement) doivent être mis en place, traduisant une montée en puissance de l'évènement hydrologique considéré. A partir de ces seuils hydrologiques, le SMIAGE appuiera ses membres pour le déploiement de mesures d'intervention communales lors d'une gestion de crise. Ainsi, ces seuils intégreront des documents d'astreinte présents en interne afin de guider les agents du SMIAGE dans leurs décisions.

Le bassin versant de ce fleuve côtier draine une surface d'environ 70 km<sup>2</sup> à l'embouchure en mer, traversant onze communes : Châteauneuf de Grasse, Opio, Valbonne, Vallauris, Biot, Villeneuve Loubet et Antibes. Le réseau hydrographique, incluant les multiples affluents de la Brague, représente un linéaire de 100 km de cours d'eau, vallons ou ruisseaux compris. Les deux principaux affluents de la Brague sont la Valmasque (8.4 km) et la Bouillide (6.5 km) (Figure 4). L'ensemble du bassin versant se situe sur le territoire de la Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis (CASA).

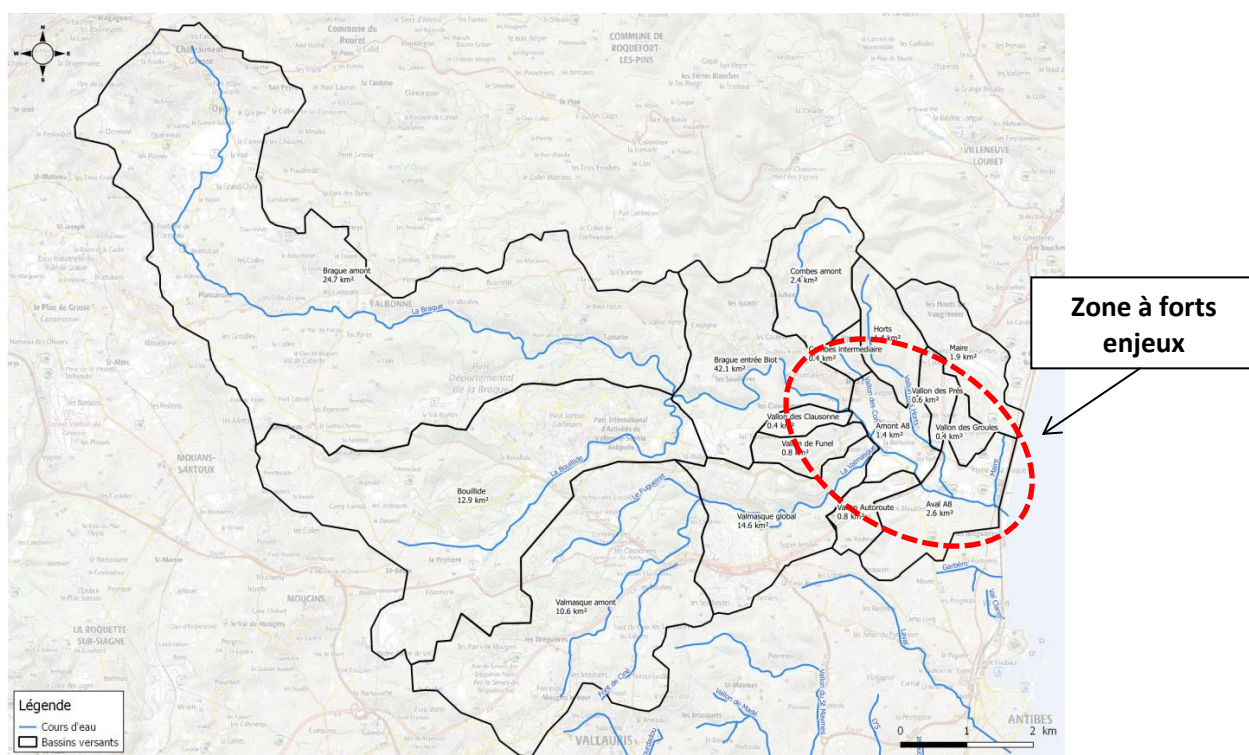


Figure 4: Bassin versant topographique global (exutoire en mer) de la Brague - (source : Cabinet Merlin, 2017)

La partie amont du bassin versant (communes de Châteauneuf de Grasse, Opio et Valbonne) est marquée par des enjeux « faibles », notamment expliquée par le fait que la Brague s'encaisse dans des gorges calcaires, provoquant une plaine alluviale réduite (Groupement HYDRATECH, 2012). La partie aval du bassin versant (communes Vallauris, Biot, Villeneuve Loubet et Antibes), est marquée par des enjeux « forts », du fait que la Brague et ses affluents traversent des secteurs fortement urbanisés, implantés dans la plaine d'inondation.

A partir de ce bilan et des délais impartis au cours du stage, les seuils hydrologiques déterminés avaient vocation à être opérationnels pour la protection de la zone à plus fort enjeu au sein du bassin versant de la Brague : la plaine d'inondation de la Brague, située en aval sur les communes de Biot et d'Antibes (Figure 4 – ellipse rouge).

Durant ma période de stage, la surveillance hydrométéorologique du bassin versant de la Brague était en cours d'évolution avec le suivi d'un marché public d'instrumentation dont la réception devait avoir lieu fin septembre 2020. Ainsi, les seuils hydrologiques devront être déterminés sur les équipements actuels et futurs.

## Matériels et méthodes

La démarche suivie pour répondre à l'objectif fixé a fait appel à un ensemble d'outil cartographique (logiciel ArcGis), d'outil hydraulique (logiciel HEC-RAS et son module intégré RAS MAPPER), d'outil de programmation (logiciel R), d'outils et de documents internes au SMIAGE, ainsi qu'à un ensemble de documents de prévention et de gestion de crise.

### A. Identification des outils de surveillance

L'objectif de cette étape était de prendre connaissance des stations hydrométriques actuelles et futures sur le bassin versant de la Brague. La localisation et les divers équipements des stations hydrométriques ont été déterminés par consultation du site de la Banque Hydro pour la station DREAL (station existante) et à partir des pièces du marché d'instrumentation en cours (nouvelles stations) : Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) et fiches EXE.

A partir de la localisation et des équipements, une définition de l'importance de ces stations hydrométriques dans la gestion de crise a été effectuée. Ainsi, ces stations sont classées en station maîtresse ou en station secondaire selon leur rôle respectif durant une gestion de crise : suivi réaction amont du bassin, informations au niveau des enjeux immédiats, suivi des principaux affluents, etc....

En complément de la localisation des stations hydrométriques, le bassin versant topographique au droit de chaque équipement a été délimité à partir d'une analyse hydrologique sous le logiciel cartographique ArcGis. Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 5 mètres était disponible et a été retenu au vue des objectifs de cette étape.

Afin de juger de la validité des bassins versants topographiques délimités, une comparaison des principaux bassins versants obtenus (Bouillide, Valmasque, Vallon des Combes, Vallon des Horts, Brague exutoire en mer), a été réalisée à l'aide de documents internes du SMIAGE (couche SIG des bassins versants du territoire), d'études hydrologiques/hydrauliques antérieures et des données de la Banque Hydro.

### B. Identification des points sensibles à protéger

L'objectif de cette étape consistait à prendre connaissance des enjeux exposés aux inondations de la Brague et de ses affluents dans la zone à forts enjeux.

Un ensemble de documents confidentiels ont été consultés : Plans Communaux de Sauvegarde (PCS), document d'assistance à la gestion de crise (société PREDICT Services), et documents de retours d'expériences (RETEX) ou de mains courantes (SMIAGE ou DDTM06) des évènements du 23/11/2019 et 1/12/2019. Un tableau des enjeux exposés par réseau hydrographique a été mis en place. Néanmoins, du fait de la confidentialité des sources utilisées, les résultats ne seront pas présentés dans le présent rapport.

Une réunion avec la commune de Biot a également été réalisée, pour présenter le travail entamé et de manière à obtenir des retours sur la gestion de crise à l'échelle communale.

## C. Détermination des capacités du lit de la plaine de la Brague

L'objectif de cette étape était de déterminer, à travers la zone d'étude, les capacités du lit mineur. Cette capacité du lit correspond au seuil de débordement dans le lit majeur.

Du fait des délais impartis et de l'existence de données, la méthodologie générale s'est basée sur un croisement de l'ensemble des informations disponibles au moment de l'étude. Ainsi, trois approches différentes ont été utilisées (Tableau III). Ces trois approches avaient pour objectif de déterminer la capacité du lit et des ouvrages de franchissement à travers la zone d'étude.

**Tableau III: Détail de la méthodologie générale utilisée pour la détermination de la capacité du lit et des ouvrages de franchissement de la plaine de la Brague : seuils de débordement**

Méthode	Données et source de données	Objectifs
<b>Approche empirique</b>	Analyse des débits de pointe des principales crues de la Brague et des conséquences observées (sources : Groupement HYDRATECH, 2012 et Cabinet Merlin, 2016 et 2018)	Première fourchette de valeurs de débits débordants, occasionnant des dommages importants sur les communes étudiées
	Débits de déclenchement des systèmes d'alerte (SAIP) sur la Commune de Biot (RETEX commune Biot – source confidentielle)	Corrélation avec valeurs de débits observées sur la station DREAL via Banque Hydro
	Retours d'expériences (RETEX) et mains courantes des événements hydrologiques de novembre et décembre 2019 (sources : interne et DDTM06 – confidentielles)	
	Analyse des photos et vidéos des derniers événements (novembre et décembre 2019) (sources : interne, personnelle, DDTM06, communes)	
<b>Approche de modélisation – Etudes antérieures</b>	Simulation couplage 1D/2D de la Plaine de la Brague. Analyse capacitaire du lit mineur Brague + Valmasque (source Groupement HYDRATECH, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récupération des capacités du lit mineur et des ouvrages hydrauliques de la Brague et de ses affluents dans le domaine de simulation</li> </ul>
	Simulation couplage 1D/2D de la Plaine de la Brague. Caractérisation de l'aléa de référence + Analyse capacitaire des ouvrages de franchissement Brague + Valmasque (source Cabinet Merlin, 2016 et 2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparaison en différents lieux avec l'approche empirique pour analyse de la cohérence des données</li> </ul>
<b>Approche géométrique</b>	Création de profils en travers sur le MNT fourni (résolution 1 m) au niveau des points sensibles de la plaine d'inondation et utilisation de la formule de Manning-Strickler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimation capacité du lit mineur</li> <li>Comparaison avec l'approche de modélisation et l'approche empirique</li> </ul>

### Approche géométrique

Afin d'atteindre les objectifs fixés dans cette partie, un MNT à meilleure résolution était nécessaire. Une commande auprès de l'IGN a été réalisée pour obtenir un MNT de résolution 1 mètre (RGE ALTI-version 2.0), couvrant le secteur d'étude. Afin de juger de la qualité du MNT fourni, le réseau hydrographique ainsi que le bassin versant topographique global (exutoire en mer) ont été estimés et comparés aux résultats du MNT 5 mètres.



Les éléments suivants donnent les informations à propos du MNT 1 mètre (Tableau IV et Figure 5) :

Tableau IV: Informations MNT 1 mètre RGE ALTI version 2.0

Localisation	Date des données	Matériel d'acquisition (source : couches SRC)	Précision données altimétriques (source : IGN, 2018)	Débit maximum durant acquisition (source BanqueHydro)
Plaine alluviale d'étude	12/12/2012	LIDAR Topo	0.2 m	0.7 m <sup>3</sup> /s
Autres secteurs	27/04/2018	LIDAR Topo	0.2 m	Non connu

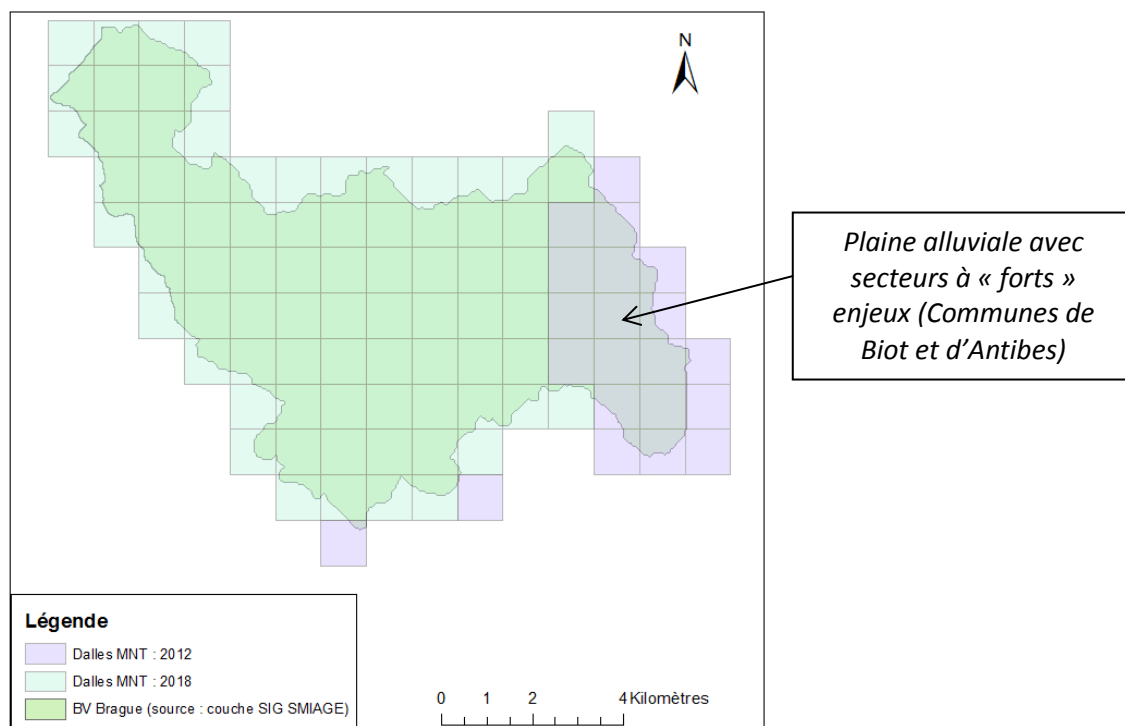


Figure 5: Localisation et date d'acquisition des dalles MNT 1 mètre RGE ALTI - version 2.0 (source : IGN, 2018)

Le type d'acquisition provoque un enregistrement partiel de la section transversale du fait de l'absence de données bathymétriques. La couche LITTO3D a été téléchargée pour correction de cette problématique mais la zone n'est pas couverte par des campagnes bathymétriques. Ainsi, la couche LITTO3D n'a pas été utilisée dans l'étude. Cependant, le débit durant les campagnes d'acquisition du MNT 1 mètre permet d'exprimer une perte négligeable de la section (Tableau IV).

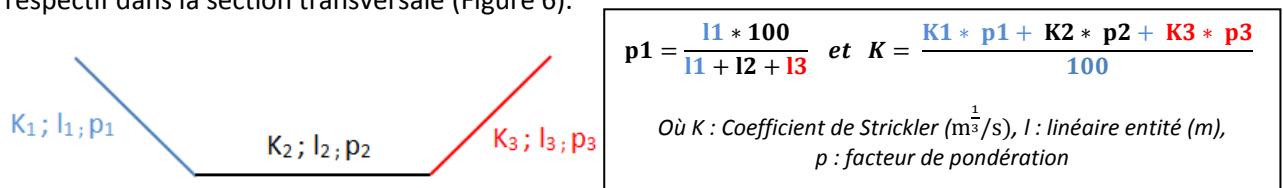
L'approche géométrique consiste à utiliser la formule de Manning Strickler sur un ensemble de sections en travers (annexe 6), réalisés dans le lit mineur, au niveau des enjeux à protéger et en cohérence avec le dispositif de surveillance hydrologique (actuel et futur). La formule de Manning est explicitée ci-dessous (Degoutte) :

$$v = K * Rh^{2/3} * i^{1/2} \quad Rh = \frac{Sm}{Pm} \quad Q = Sm * v$$

Avec  $v$  : Vitesse moyenne d'écoulement (m/s),  $K$  : Coefficient de Strickler (m<sup>1/3</sup>/s),  $Rh$  : Rayon hydraulique (m),  $i$  : Pente du fond du lit (m),  $S_m$  : Surface mouillée (m<sup>2</sup>),  $P_m$  : Périmètre mouillé (m) et  $Q$  : débit volumique (m<sup>3</sup>/s)

Une mise à plat du lit mineur de la Brague et de la Valmasque est constatée dans la donnée. Un traitement du MNT a été effectué par l'IGN : « les cours d'eau suffisamment larges peuvent faire l'objet d'une mise à plat (plans inclinés ou paliers successifs) : pour les MNT issus d'acquisitions LiDAR la mise à plat n'intervient que pour une largeur supérieure à 10 mètres » (source IGN, 2018). Ainsi, les données de pente proviennent du modèle 1D/2D de la plaine de la Brague du groupement HYDRATECH (Groupement HYDRATECH, 2012). L'ensemble des sections transversales réalisées sur la Brague ont une pente de 0.0042 m/m, tandis que les sections sur la Valmasque ont une pente de 0.0074 m/m.

Les coefficients de rugosité du modèle 1D/2D du Cabinet Merlin (source : Cabinet Merlin, 2018), ont été préférés au modèle du groupement HYDRATECH car l'étude est plus récente et sert de base pour la révision du PPRI de la Brague et de ses affluents. Plusieurs coefficients de rugosité sont fournis (fond du lit, rive gauche et rive droite). Le coefficient de rugosité retenu correspond à la pondération des différents coefficients de chaque entité (fond du lit, rives gauche/droite), selon leur linéaire respectif dans la section transversale (Figure 6).



$$p1 = \frac{l1 * 100}{l1 + l2 + l3} \text{ et } K = \frac{K1 * p1 + K2 * p2 + K3 * p3}{100}$$

Où K : Coefficient de Strickler ( $m^{1/3}/s$ ), l : linéaire entité (m),  
p : facteur de pondération

Figure 6: Méthode de pondération des coefficients de Strickler du lit mineur

Le tableau ci-dessous présente les paramètres utilisés dans l'approche géométrique (Tableau V) :

Tableau V: Valeurs de pente et de rugosité utilisées dans l'approche géométrique

	Brague aval	Valmasque aval
Pente (m/m)	0.0042	0.0074
Coefficients Strickler	[21,41]	[41,47]

## D. Seuils hydrologiques dans la plaine de la Brague

La méthodologie décrite ci-dessous a été utilisée pour la détermination des seuils hydrologiques sur la station hydrométrique au droit de la zone à forts enjeux : station DREAL.

Dans la gestion de crise, chaque seuil hydrologique (vigilance, pré-alerte, alerte et débordement) a une implication communale avec le déploiement de mesures spécifiques : fermeture de route, évacuation, etc... Le principe de base est que l'ensemble des actions communales ont pu être accomplies avant que le seuil de débordement ne soit atteint.

Ainsi, la méthodologie initiale était de déterminer les seuils hydrologiques dans le but de correspondre aux délais nécessaires pour le déploiement de ces mesures. Cette méthodologie implique un ensemble d'étapes allant de la caractérisation des « vitesses de montée » des crues, appelées gradient de montée, à la connaissance des délais d'intervention pour chaque type d'action communale envisagée par seuil hydrologique. Une analyse poussée de la réponse du bassin versant selon la sollicitation hydrométéorologique (antécédents pluviométriques, épisode pluviométrique prévu, antécédents hydrologiques : débits et état de saturation du sol, etc...), doit être réalisée au préalable afin de construire un outil opérationnel. La finalité de cette analyse poussée est la constitution d'un catalogue de scénarios hydrométéorologiques, auquel est rattaché un ensemble de seuils hydrologiques. L'aspect chronophage d'une telle démarche a interrompu cette méthodologie au cours du stage. Néanmoins, une étude des « vitesses de montée » des crues de la Brague et de ses affluents a été réalisée selon la méthode décrite dans l'étude scientifique intitulée « Evaluation du temps de montée des crues torrentielles rapides » (source : RTM, 2015).



## Analyse de la « vitesse de montée » des crues de la Brague et de ses affluents

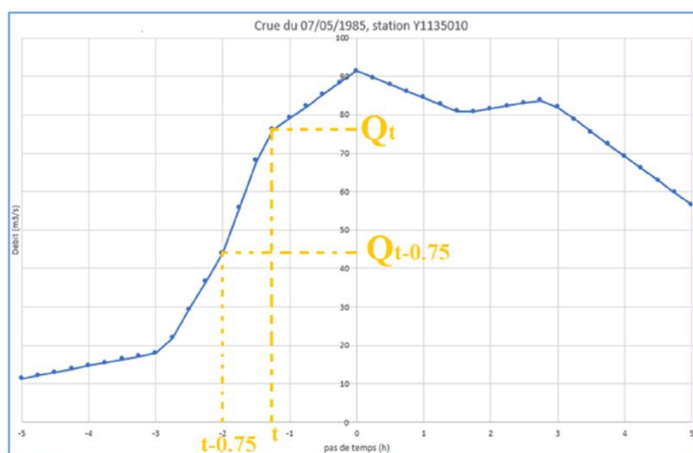
L'objectif de la méthode est de caractériser le gradient de montée observé pour les crues de la Brague et de ses affluents. Selon l'étude utilisée, le gradient de montée « *correspond à la pente de la droite qui relie deux points distants de l'hydrogramme distant d'un intervalle de temps noté d* » (source : RTM, 2015) (Figure 7). Le gradient de montée s'exprime en m<sup>3</sup>/s/h.

Les données de débits étaient disponibles sur la Banque HYDRO :

- Enregistrement des crues entre 1980 et 2015 (Plan Saint Jean – code Y5605210)
- Enregistrement des crues depuis 2018 (Passerelle – code Y5605205)

La constitution de l'échantillon d'analyse est basée sur l'hypothèse que les crues ayant générées les débits de pointe les plus forts ne sont pas forcément les crues les plus défavorables (gradients de montée maximaux) pour la gestion de crise en termes de délais d'intervention. Ainsi, toutes les crues présentant un débit de pointe supérieur ou égal à la crue biennale ont été retenues. La crue biennale vaut 53 m<sup>3</sup>/s (débit instantané - Station Plan Saint Jean - source : BanqueHydro). Ainsi, 27 crues ont été étudiées entre 1982 et 2020. Dans le cas de crues à plusieurs pics, une analyse globale puis par pic ont été réalisées.

L'approche des gradients de montée est pertinente en vue de confronter les durées nécessaires pour le déploiement des mesures communales avec les délais disponibles avant débordement au niveau des points sensibles de la commune. Ainsi, l'intérêt de déterminer des seuils pluviométriques pour la gestion de crise est mis en évidence selon les résultats obtenus.



$$Gd = \frac{Q_t - Q_{t-d}}{d}$$

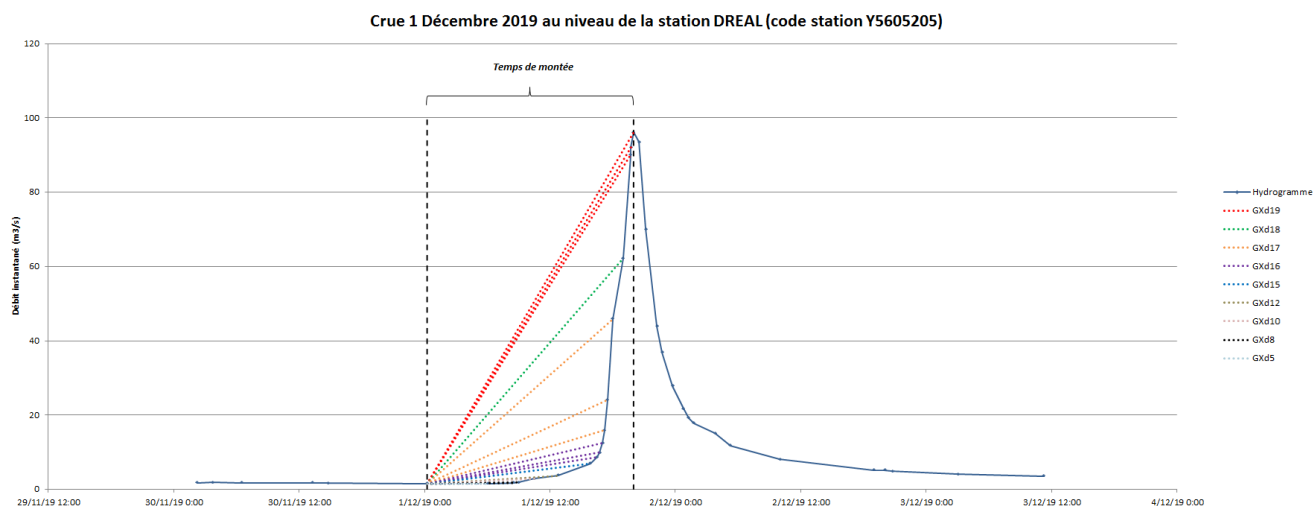
Figure 7: Notion de gradient de montée ou "vitesse de montée" (source : RTM, 2015)

La détermination des gradients de montée a nécessité une succession d'étape, réalisée à partir d'un code R (présent en interne), visant à :

1. Calculer les gradients de montée entre chaque point de mesure
2. Trier ces gradients dans des pas de temps (15 min, 30 min, 45 min, 1h, jusqu'au temps de montée global, atteint au moment du débit de pointe) : obtention de GXd
3. Assembler dans un tableau le gradient de montée maximal pour chaque pas de temps (GX)

Le code R a été modifié de manière à pouvoir réaliser l'analyse sur l'ensemble des durées nécessaires, correspondant aux différents temps de montée globaux des crues étudiées.

Ces étapes successives ont essayé d'être représentées graphiquement dans la figure suivante (Figure 8). L'ensemble des traits colorés en pointillé correspondent à l'étape 1. La couleur des traits (GXd19 par exemple) correspond à l'étape 2. Le temps de montée présenté ici correspond au temps de montée global, couvrant l'ensemble de la courbe de concentration de l'hydrogramme.



**Figure 8: Exemple des étapes d'analyse des gradients de montée pour chaque crue (source : personnelle)**

### Seuil hydrologique : vigilance

L'objectif de ce seuil est d'attirer l'attention des agents du SMIAGE d'un début de réaction de la Brague et de ses affluents. Néanmoins, la difficulté réside sur le fait qu'il ne faut pas que ce seuil soit systématiquement atteint. Ainsi, ce seuil doit indiquer une réaction importante, tout en étant suffisamment bas pour mettre en vigilance les agents au plus tôt.

Le débit correspondant au début du temps de montée réduit a ainsi été noté pour l'ensemble des 27 crues étudiées pour l'analyse des gradients de montée. Une analyse du nuage de points obtenus a été réalisée. Le début du temps de montée réduit a été déterminé graphiquement par analyse des hydrogrammes.

L'intérêt de cette valeur est que le temps de montée réduit correspond à la période où les gradients de montée sont les plus forts, indiquant une période à partir de laquelle les agents du SMIAGE devront être plus attentifs.

### Seuils hydrologiques : pré-alerte, alerte et débordement

La méthodologie retenue pour la détermination de ces seuils hydrologiques avait pour objectif de réduire le nombre de seuils hydrologiques que les agents du SMIAGE devront connaître pour la gestion de crise. Ainsi, une approche à l'échelle de la plaine alluviale a été préférée à une approche par quartier.

Après l'estimation des capacités du lit mineur, une sélection des résultats a été réalisée selon le degré de mobilisation du lit majeur après débordement au niveau des points sensibles, selon le type d'enjeu exposé, ainsi que selon la rupture de liaisons stratégiques pour la gestion de crise.

Le degré de mobilisation du lit majeur après débordement au niveau des points sensibles a été déterminé à partir d'une carte des directions des écoulements dans le lit majeur (source : Cabinet Merlin, 2018). L'identification des enjeux potentiellement exposés après atteinte des capacités du lit mineur en différents lieux dans la plaine alluviale ont pu être mis en évidence.

La rupture de liaisons stratégiques pour la gestion de crise a été estimée à partir de l'étape méthodologique « B. Identification des points sensibles à protéger » et notamment à partir de la carte d'assistance à la stratégie communale émise par la société PREDICT Services.

## E. Seuils hydrologiques en amont de la plaine de la Brague

La méthodologie décrite ci-dessous a été utilisée pour la détermination des seuils hydrologiques sur les stations hydrométriques en amont de la zone à forts enjeux : station Valmasque (Pont bus/tram) et Pont de la Verrière. Les seuils hydrologiques déterminés avaient vocation à être opérationnels pour la protection de la zone à forts enjeux au sein du bassin versant de la Brague et de ses affluents.

### Station hydrométrique de la Valmasque

Plusieurs étapes ont été nécessaires : détermination des seuils hydrologiques de gestion de crise et création d'une courbe de tarage.

Pas de connaissance des hauteurs d'eau/débits au droit de la station hydrométrique engendrant des dommages dans la plaine de la Brague. Ainsi, utilisation de la méthode de pondération des seuils hydrologiques, fixés au niveau de la Valmasque aval, par un rapport de surface des bassins versants considérés : Valmasque au niveau de la confluence avec la Brague et Valmasque au droit de la future station hydrométrique. La pondération a été effectuée sur les seuils en débit. Cette approche s'appuie sur la méthode des transferts de bassin (formule de Meyer), ayant pour objectif la détermination de débits sur des bassins versants non jaugés. Les formules de Meyer « classique » (à gauche) et « adaptée » (à droite) sont décrites ci-dessous (Equation 1):

Équation 1: Formule de Meyer "classique" à gauche (source Cabinet Merlin, 2018) et « adaptée » à droite

$$Q = Q_{\text{jaugé}} \cdot \left( \frac{S_{BV}}{S_{\text{jaugé}}} \right)^{0.8}$$

$$S_1 = S_2 * \left( \frac{SBV1}{SBV2} \right)^{0.8}$$

Où  $s_1$  : seuil à déterminer ( $m^3/s$ ),  $s_2$  : seuil de référence ( $m^3/s$ ),  
 $S_{BV1}$  : surface bassin versant associé à  $s_1$  ( $km^2$ ),  $S_{BV2}$  : surface  
bassin versant associé à  $s_2$  ( $km^2$ )

Cette méthodologie utilise l'hypothèse d'homogénéité des paramètres physiographiques des bassins versants considérés (pente, occupation du sol, géologie, etc...). Une analyse de l'occupation du sol sur les deux bassins versants respectifs, a été réalisée à partir de la couche CORINE Land Cover (CLC) la plus récente, datant de 2012. Les classes d'occupation du sol ont été regroupées en contexte : urbain, agricole et forestier, selon la légende de la couche CLC 2012. Une comparaison des pourcentages de recouvrement des classes d'occupation du sol et des contextes a été réalisée entre les deux bassins versants, afin d'évaluer l'hypothèse d'homogénéité selon ce paramètre.

La formule de Meyer permet d'obtenir des seuils sous format débit. Néanmoins, la surveillance se fera selon un niveau limnimétrique. Ainsi, une relation hauteur-débit doit être établie, a minima, sur la gamme des seuils définis pour la surveillance de cet affluent. Cette relation se nomme courbe de tarage.

L'approche classique pour la création d'une courbe de tarage est d'effectuer plusieurs campagnes de jaugeage à différentes périodes hydrologiques pour construire une courbe de tarage valable pour un large couple hauteurs/débits. Cependant, la station hydrométrique n'étant pas installée à ce jour, et des jaugeages n'ayant pas été réalisés sur ce secteur, cette approche ne pouvait être utilisée. Ainsi, la courbe de tarage proposée a été construite à partir de jaugeages calculés par application de la formule de Manning-Strickler. Le tableau suivant présente les données et les hypothèses utilisées pour application de la formule de Manning-Strickler (Tableau VI):

Tableau VI: Paramètres pour la création d'une courbe de tarage par jaugeages calculés

Données géométriques (Surface mouillée, Périmètre mouillé, Rayon hydraulique)	Pente longitudinale	Coefficient de rugosité
MNT 1 mètre, RGE ALTI – version 2.0	0.011 m/m *	$K = 12$ *

\*source : Cabinet Merlin, 2018 - page 46

La pente longitudinale n'a pas pu être extraite du MNT 1 m à cause d'une mise à plat du fond du lit dans le tronçon d'étude. Ainsi, la valeur de pente utilisée provient d'une section transversale, réalisée 190 mètres en aval de la section de la future station hydrométrique (source Cabinet Merlin, 2018). Le même coefficient de rugosité a également été retenu après une analyse par image satellite ainsi qu'en tenant compte de la faible distance entre les deux sections transversales considérées.

Selon la fiche EXE du marché d'instrumentation, le capteur de mesure du niveau d'eau de la future station hydrométrique sera installé, sur le pont (face aval), sur un mât de 1 mètre de long (Figure 9). Ainsi, la section en travers a été réalisée en respectant cette information.

Un ouvrage de franchissement de type pont, est présent 30 mètres en aval du site d'implantation de la future station hydrométrique (Figure 9). Cet ouvrage influence les conditions hydrodynamiques au droit de la future station. Une campagne de terrain, datant du 07/08/2020, a permis à un membre de la Communauté d'Agglomération de Sophia Antipolis (CASA) de nous faire parvenir des mesures de l'ouvrage (Figure 10).

Les hypothèses de l'impact de l'ouvrage sur les conditions hydrodynamiques en amont au niveau de la station hydrométrique sont :

- Avant capacité maximale, l'ouvrage provoque une accélération des écoulements et une diminution de la hauteur d'eau pour respecter le principe de continuité.
- Après capacité maximale, l'ouvrage provoque une forte réduction des vitesses et une augmentation de la hauteur d'eau pour respecter le principe de continuité. Un abaissement du coefficient de rugosité permet une réduction des vitesses d'écoulement.

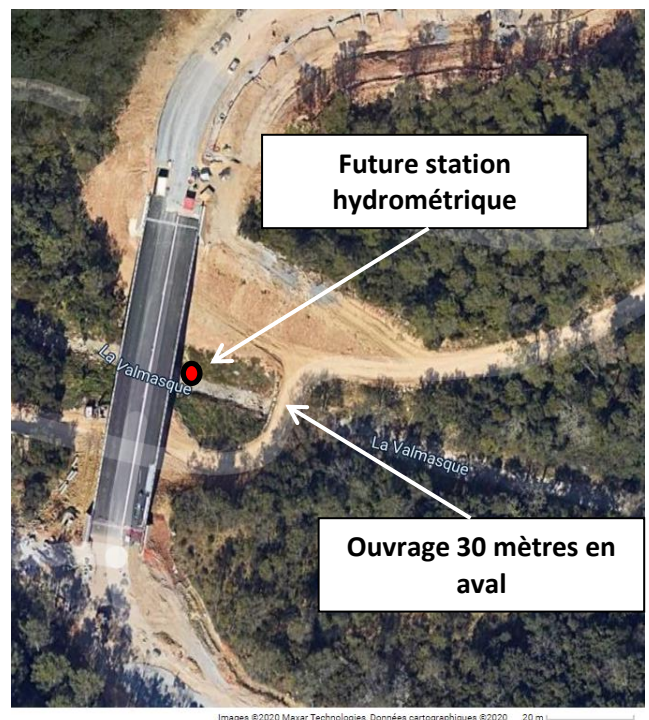


Figure 9: Contexte implantation future station hydrométrique Valmasque (source : google maps)

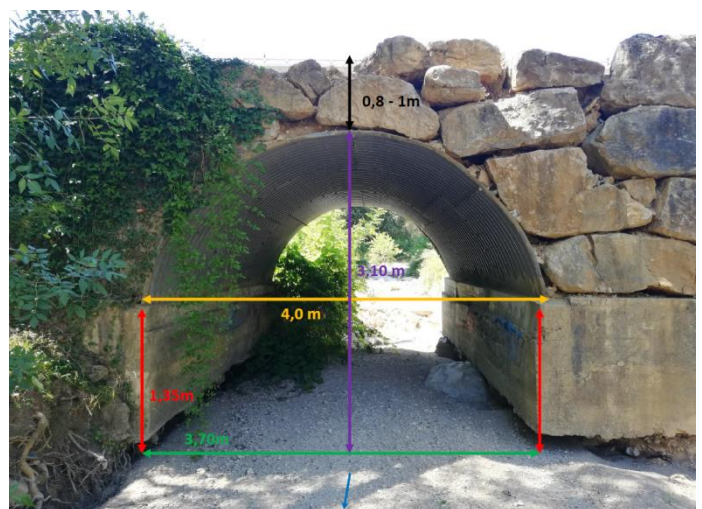


Figure 10: Dimensions de l'ouvrage situé 30 mètres en aval de la future station hydrométrique (source : photographie agents de la CASA)

La formule de Manning-Strickler a été utilisée pour l'analyse capacitaire à partir d'un fichier excel en interne, en découpant l'ouvrage en deux formes géométriques distinctes : section rectangulaire (en béton) à la base et section en demi-cercle (tôle métallique plissée) au-dessus. Le tableau ci-dessous présente les valeurs retenues pour les différents paramètres (Tableau VII). La valeur pour le matériau béton est « surfaces avec légères aspérités » ( $K = 75$ ), tandis que le matériau retenu pour la section en demi-cercle est « surfaces assez grossières : aqueducs métalliques à section semi-circulaire en tôle plissée ». Après discussion avec un agent de l'équipe Hydraulique du SMIAGE, un coefficient de rugosité de 60 pour la partie rectangulaire a été utilisé (Tableau VII). Une capacité de 46 m<sup>3</sup>/s a été estimée.



**Tableau VII: Valeurs des paramètres retenus pour l'analyse capacitaire de l'ouvrage situé 30 mètres en aval de la future station hydrométrique Valmasque**

Pente (m/m)	K – section rectangulaire	K – section demi-cercle
0.011*	60	40**

\*source : Cabinet Merlin, 2018 - page 46

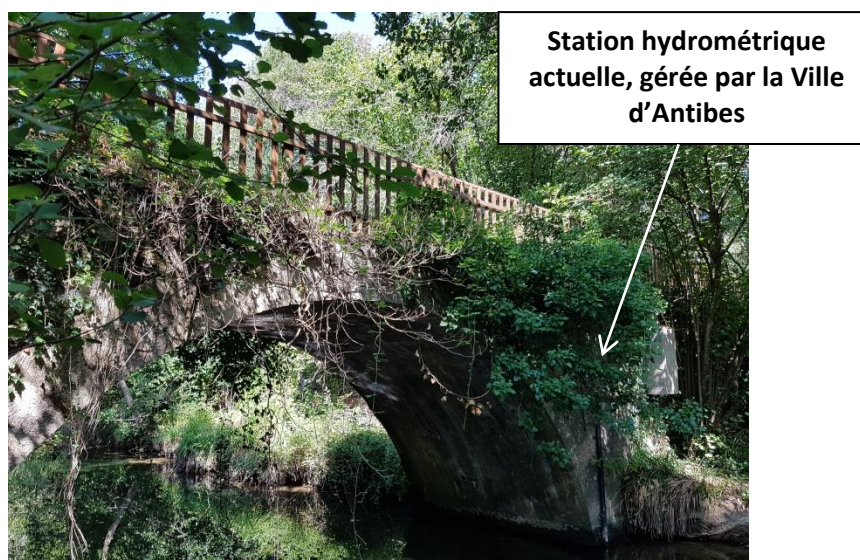
\*\*source : José VAZQUEZ, ENGEES - Annexe 4 - page 82

Après cette première approche selon l'analyse capacitaire, et dans une démarche plus sécuritaire, la méthodologie de base a été modifiée en gardant les mêmes hypothèses. Ainsi, l'abaissement du coefficient de rugosité intervient au moment de la mise en charge de l'ouvrage, lorsque la ligne de charge atteint le tablier du pont. La détermination du débit à partir duquel la ligne de charge atteint la base du « tablier » du pont (soit 3.10 m), a été réalisée à l'aide du même fichier excel en interne et de l'outil « analyse de scénario – valeur cible ». Le couple hauteur/débit obtenu vaut :  $h_{\text{eau}} = 2.80$  m et  $Q = 44$  m<sup>3</sup>/s.

A partir des valeurs obtenues, le seuil de débordement retenu pour cette station hydrométrique aura déjà été atteint au moment de la mise en charge du pont, correspondant à l'hypothèse théorique d'abaissement du coefficient de rugosité. Ainsi, au vue des fortes incertitudes associées à cette méthodologie, l'adaptation du coefficient de rugosité n'a pas été effectuée dans la mesure où la courbe de tarage a été construite pour des hauteurs d'eau maximales correspondantes au seuil de débordement.

### Station hydrométrique du pont de la Verrière - Brague amont

Une station hydrométrique, gérée par la ville d'Antibes, est présente au niveau du site d'implantation de la future station (Figure 11). Cependant, le SMIAGE n'a pas accès aux données d'une part, et la station actuelle a subi des dommages après la crue du 03-04 octobre 2015. Ainsi, dans ce contexte, le SMIAGE installe une nouvelle station hydrométrique sur le même site.



**Figure 11: Photographie de la station hydrométrique existante sur le futur lieu d'implantation (source : photographie interne au SMIAGE)**

La ville d'Antibes a déterminé des seuils hydrologiques sur cette station hydrométrique, pour protéger la zone à forts enjeux, identique à celle visée dans l'étude. Ainsi, dans un premier temps, la surveillance pourrait se baser sur ces seuils limnimétriques, en prenant connaissance des conséquences terrain de ces seuils. Il faudra néanmoins que les deux systèmes de suivi limnimétrique aient la même référence (point 0 de l'échelle), ou que l'écart à la référence soit connu.

## Résultats et discussions

### A. Analyse de l'instrumentation du bassin versant

L'analyse de l'instrumentation (actuelle et future), mise en place sur le bassin versant de la Brague et de ses affluents permettra une surveillance partielle de la situation hydrologique (Figure 12). Ainsi, la Bouillide (affluent principal de la Brague), le vallon des Horts et le ruisseau de la Maïre ne sont pas surveillés (Figure 12).

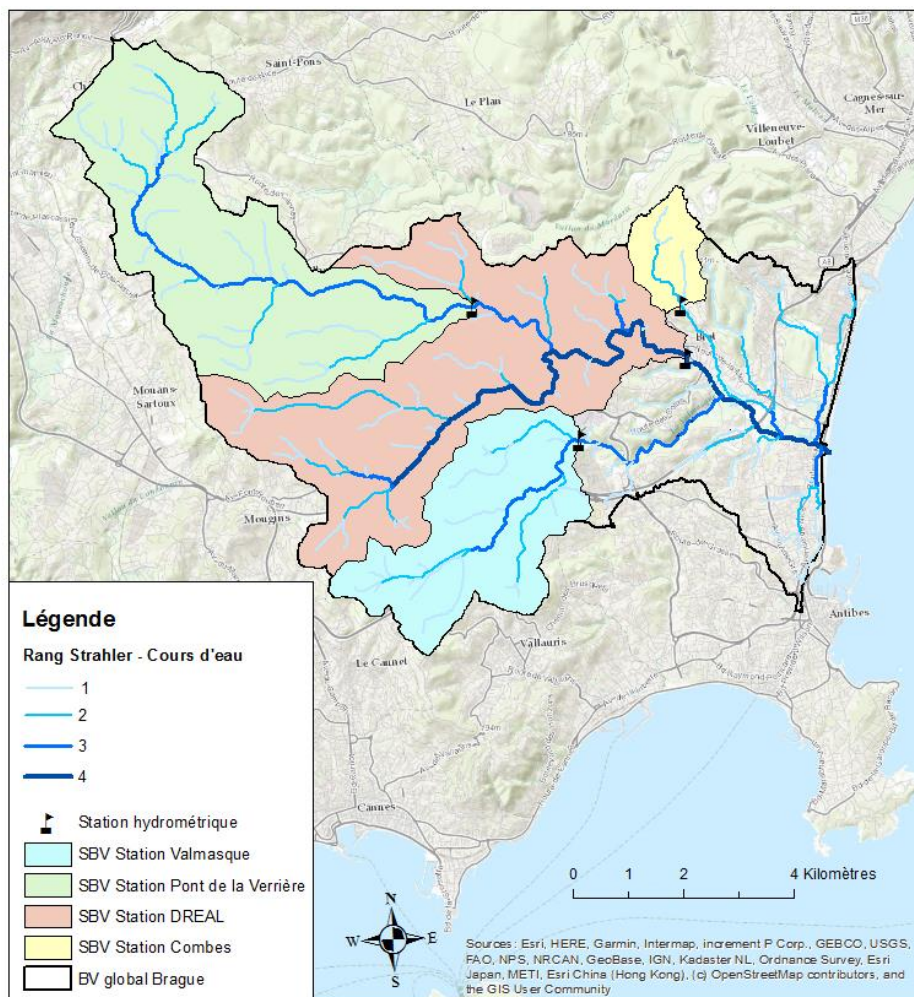


Figure 12: Carte du dispositif de surveillance hydrologique (actuelle et future) sur le bassin versant de la Brague et de ses affluents

La réaction amont du bassin versant est surveillée à l'aide de la station Verrière, tandis que la station DREAL permet de connaître les volumes transitant dans le secteur immédiat à « forts enjeux » (Figure 12, Tableaux VIII et IX). Le vallon des Combes sera surveillé à l'aide du dispositif implanté à l'entrée des trois bassins de rétention. Cependant, une relation entrée-sortie des bassins de rétention devra être mise en place, afin de connaître les débits de sortie de ces ouvrages et ainsi, déterminer l'impact sur les enjeux en aval. Cette station n'a pas été étudiée dans le cadre du stage. La Valmasque, autre affluent majeur, sera également surveillé (Figure 12, Tableaux VIII et IX). La surveillance de cet affluent est importante pour la gestion de crise dans la mesure où des crues historiques (06/10/1993 et 24/12/1996) dans la plaine de la Brague ont été provoquées en grande partie par la réaction de cet affluent. De plus, la Valmasque coupe des liaisons stratégiques de gestion de crise, impacte une école et fournit un débit complémentaire pour la saturation hydraulique des buses de l'autoroute A8. La coupure de cet axe routier perturbe fortement le déploiement des services de secours sur l'ensemble du département des Alpes Maritimes.

Ainsi, à partir de ce constat, les stations hydrométriques Valmasque (Pont Bus/Tram) et DREAL sont considérées comme les stations maîtresses pour la gestion de crise. Ces stations sont donc cruciales pour la surveillance de la réaction hydrologique.

Dans l'avenir, une tranche optionnelle permettra de compléter ce réseau de surveillance par l'ajout d'une station hydrométrique sur la Bouillide. Cet équipement surveillera 82 % du bassin versant total de la Bouillide. Après installation de la station Pont de la Verrière, une étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Bouillide pourra être mise en place à l'aide d'une relation empirique entre les hauteurs/débits observés au niveau des stations du pont de la Verrière et de la station DREAL (Figure 12).

Les deux tableaux suivants présentent les équipements de chaque station hydrométrique (Tableau VIII), ainsi que les résultats de l'analyse des surfaces drainées au droit des stations (Tableau IX) :

**Tableau VIII: Equipements des différents dispositifs de surveillance hydrologique du bassin versant de la Brague et de ses affluents, X = oui (source : CCTP marché)**

Equipements	Pont de la Verrière	Chemin de la Passerelle (DREAL)	Les Combes (Jeu de la Beaume)	Valmasque (Pont bus/tram)
Radars de hauteur	X		X	X
Echelle limnimétrique	X	X		
Caméra levée de doute	X	X		
Télétransmission	X	X	X	X
Réseau hydrographique surveillé	Brague amont	Brague amont + Bouillide	Vallon de Saint Julien + Vallon des Vignasses	Valmasque (Fugueiret + Font de Ciné)

**Tableau IX : Analyse surfacique des bassins versants topographiques de chaque station hydrométrique**

Station hydrométrique	Surface drainée (km <sup>2</sup> )	Surveillance BV total (%)	Surveillance BV Valmasque (%)
Pont de la Verrière	19.7	27	
Chemin de la Passerelle (DREAL)	41.8	58	
Les Combes	2.2	3	
Valmasque (Pont bus/tram)	10.6	15	78

## B. Détermination capacité du lit mineur

Les figures suivantes détaillent le résultat de l'analyse capacitaire du lit mineur de la zone d'étude à « forts enjeux » (Figures 13 et 14). L'origine de la valeur de capacité du lit mineur est indiquée à l'aide d'un code couleur. De même, un second code couleur a été mis en place afin d'établir une chronologie des débordements selon la capacité du lit (Figures 13 et 14).



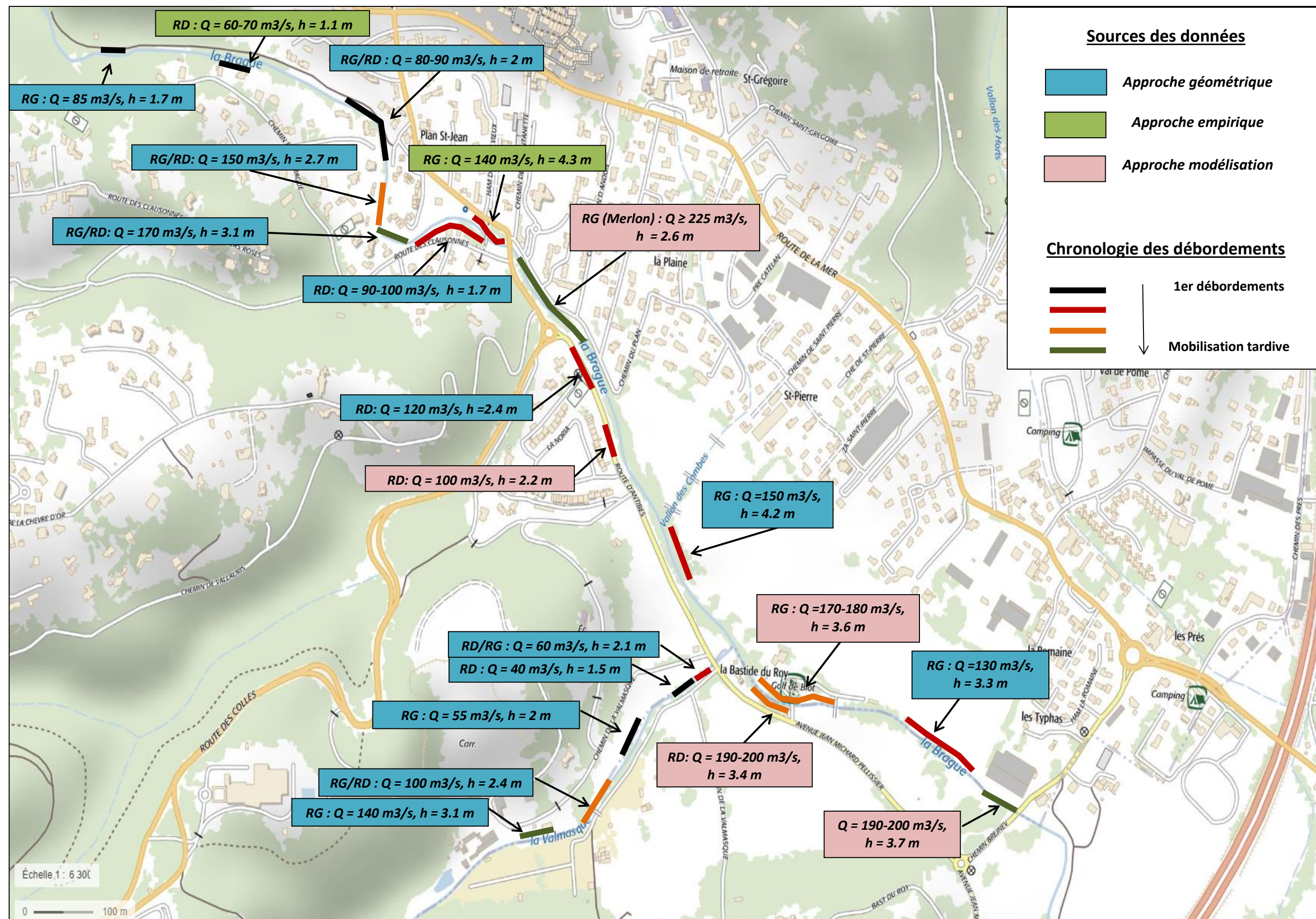


Figure 13 : Carte des capacités du lit mineur de la Brague et de la Valmasque au niveau des points sensibles de la plaine alluviale à « forts enjeux », hauteurs d'eau provenant du MNT 1 mètre



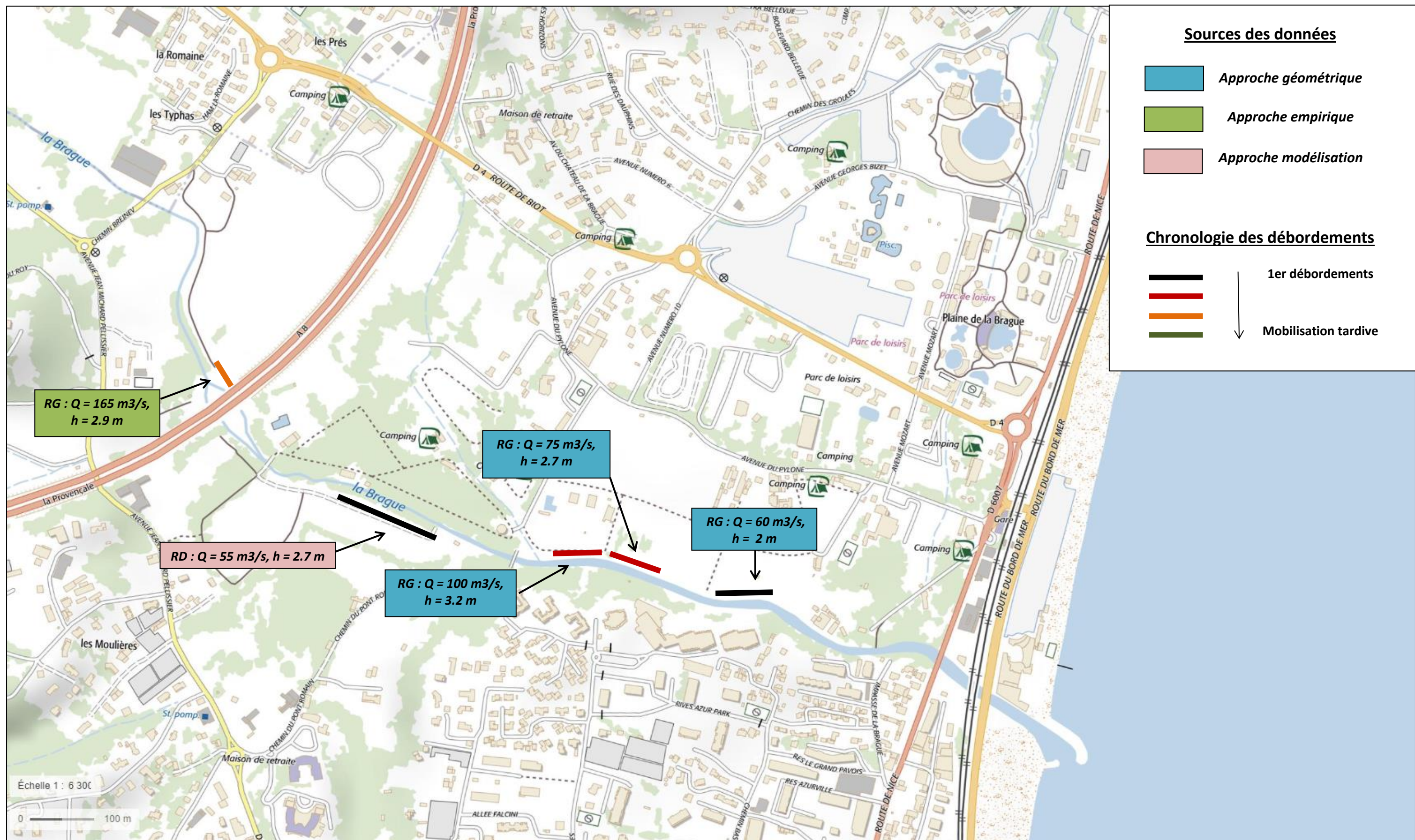


Figure 14: Carte des capacités du lit mineur de la Brague en aval de l'autoroute A8, au niveau des point sensibles de la plaine alluviale à « forts enjeux ». Hauteurs d'eau provenant du MNT 1 mètre



Les capacités du lit mineur entre l'amont du Plan Saint Jean et la confluence du vallon des Combes ont été estimées à l'aide des trois approches (empirique, modélisation et géométrique) (Figure 13). Les données empiriques sont importantes car elles représentent une réalité terrain.

Les capacités du lit mineur des secteurs présents depuis l'aval de la confluence du vallon des Combes et de l'aval de la Valmasque à l'exutoire en mer ont été majoritairement (93 %) estimées à partir des approches de modélisation et géométrique (Figures 13 et 14). Ainsi, des incertitudes existent dans ces secteurs dans la mesure où peu de donnée empirique ne permet de valider/conforter ces valeurs estimées. De surcroît, les secteurs en aval de l'autoroute A8 sont les secteurs avec les incertitudes les plus fortes dans la mesure où la méthode d'acquisition (LIDAR Topo) des données topographiques du MNT ne permet pas d'obtenir des informations bathymétriques. Or, ce secteur est en partie sous influence marine, provoquant une perte plus conséquente de la géométrie des sections transversales.

En terme de perspectives, il serait intéressant, après obtention de données bathymétriques de bonne qualité, de réaliser une modélisation hydraulique des secteurs aval de l'autoroute A8, afin de conforter les valeurs estimées d'une part, et d'étudier, d'autre part, l'influence du niveau de mer sur la dynamique de la crue (étendue zone inondable, vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur, hauteur d'eau en lit majeur, durée de submersion, etc...).

La méthodologie générale appliquée pour la détermination de la capacité du lit mineur est intéressante dans la mesure où elle exploite l'ensemble des données disponibles sur le secteur, en tenant compte d'un poids plus important pour les données empiriques. Cependant, des limites ont été identifiées :

- Des incertitudes sont associées au MNT 1 mètre. Outre les méthodes d'acquisition, l'absence de données bathymétriques, et la méthode de traitement du MNT 1 mètre (interpolation et mise à plat du fond du lit mineur), le secteur d'étude a subi une crue morphogène le 03-04 octobre 2015. Ainsi, les données géométriques datant du 12 décembre 2012 présentent des incertitudes. L'aval de la Valmasque avant sa confluence avec la Brague est notamment concernée du fait d'une forte modification de la géométrie, provoquée par des phénomènes d'alluvionnement dans le lit mineur et de remblaiement au niveau des deux berges (rive gauche et rive droite). Cette information est également valable pour les capacités estimées par l'approche de modélisation car l'étude du groupement HYDRATECH date de juin 2012.
- La formule de Manning-Strickler s'emploie théoriquement pour des conditions bien spécifiques: régime permanent uniforme. Ce régime d'écoulement implique une conservation spatiale de la morphologie du lit, de la pente et de la rugosité le long du domaine d'analyse, ainsi qu'une conservation temporelle des conditions hydrodynamiques (vitesses, hauteurs d'eau et débits). Ces conditions ne sont pas valables dans le contexte de rivières naturelles et lors de crues. Cependant, l'expression mathématique est adaptée pour des écoulements contrôlés par la géométrie du chenal (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2017). Ainsi, sur les secteurs possédant un contrôle de type tronçon, l'approche géométrique par application de la formule de Manning-Strickler est pertinente. Cependant, au niveau d'ouvrage de franchissement, l'approche de modélisation a été privilégiée du fait de l'absence d'un contrôle de type tronçon.
- La formule de Manning-Strickler est également très sensible à la qualité des données. Autrement dit, une faible modification de la valeur d'un paramètre provoque un écart important de résultats. Dans le cadre du stage, une étude de sensibilité n'a pas été réalisée. Les différents paramètres de l'équation de Manning-Strickler proviennent de diverses études. En particulier, les coefficients de rugosité utilisés proviennent d'abaques et d'études hydrauliques. Or, ces

coefficients sont des paramètres de calage qui ont été adaptés spécifiquement selon les données des études citées. Ainsi, la formule étant très sensible, des incertitudes sont associées à la récupération de données de rugosité issues d'autres études. La seule section de contrôle correspond à l'actuelle position de la station hydrométrique DREAL. Cette dernière est difficilement exploitable dans la mesure où les paramètres de rugosité utilisés sont variables spatialement dans le domaine d'étude. Néanmoins, en l'absence de données de rugosité et de données de calage, la méthodologie adoptée est la plus pertinente.

- Le phénomène d'embâcles sous les ouvrages de franchissement n'a pas été pris en compte dans les valeurs des capacités du lit mineur par les approches de modélisation et géométrique. De même, les données empiriques sont valables pour les caractéristiques de la crue considérée (épisodes du 23-24 novembre 2019 et du 1 décembre 2019).
- Les données empiriques ont également des incertitudes, notamment en lien avec la précision des capteurs de surveillance de la station hydrométrique DREAL et de la fiabilité de la courbe de tarage mise en place durant cet événement hydrologique.
- Les inondations urbaines et les inondations provoquées par obstruction des rejets des réseaux pluviaux dans la Brague ne sont pas prises en compte dans cette étude. Ce phénomène d'obstruction des rejets des réseaux pluviaux est notamment présent dans la plaine de la Brague au niveau du chemin du Plan (secteurs Espace Culturel).

### C. Analyse des gradients de montée des crues

L'analyse a été réalisée sur 27 crues, dont 24 crues à partir de la station DREAL Plan Saint Jean et 3 crues à partir de la station DREAL Passerelle. La station Passerelle a remplacé la station Plan Saint Jean après des dégâts subis lors de la crue du 03-04 octobre 2015. La nouvelle station se situe environ 290 mètres en amont de l'ancienne station hydrométrique, provoquant une perte de l'enregistrement de la réaction hydrologique du vallon des Clausonnes. Ce vallon a un bassin versant de 0.4 km<sup>2</sup>, impliquant des apports « négligeables » par rapport au bassin versant drainé au niveau de l'ancienne station DREAL (42.1 km<sup>2</sup>). Le graphique suivant illustre la grande variabilité des crues étudiées en termes de débit de pointe et de temps de montée (global et réduit) (Figure 15).

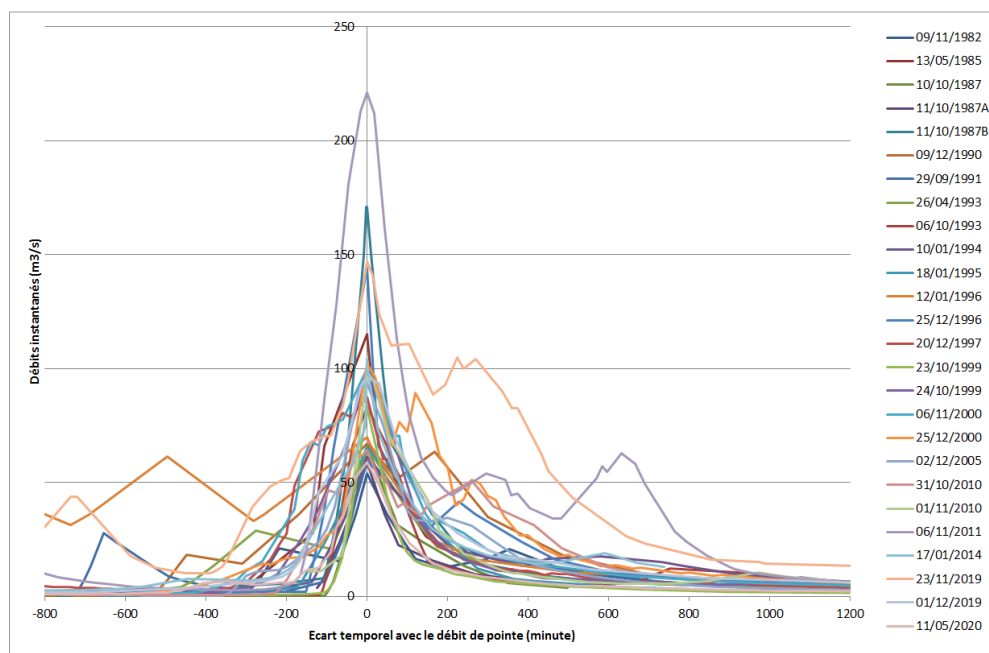


Figure 15: Ensemble des hydrogrammes des crues étudiées pour l'analyse du gradient de montée (source : BanqueHydro)

Un extrait des résultats est disponible dans le tableau suivant (Tableau X). Ainsi, la crue du 03-04 octobre 2015 a les gradients de montée les plus forts (Tableau X), et constitue la crue la plus défavorable pour la gestion de crise. Pour ce type de crue, et en relation avec les seuils hydrologiques fixés, la gestion de crise doit se baser sur des seuils pluviométriques. Parmi l'ensemble des 27 crues étudiées, le temps de montée réduit moyen est de 5.3 heures et le plus court est de 1 heure (crue du 1 novembre 2010) (Tableau X). A partir du gradient maximal observé sur 1 heure pour chaque crue étudiée (GX1h), 4 classes de gradients de montée peuvent être déterminées :  $GX1h \leq 30 \text{ m}^3/\text{s/h}$  (29.6 % des crues),  $30 < GX1h \leq 60 \text{ m}^3/\text{s/h}$  (44.4 % des crues),  $60 < GX1h \leq 90 \text{ m}^3/\text{s/h}$  (14.8 % des crues),  $GX1h > 90 \text{ m}^3/\text{s/h}$  (11.1 % des crues) (Tableau X). Ainsi, l'analyse montre que les vitesses de montée des crues de la Brague et des affluents sont variables. La classe la plus représentée est  $30 < GX1h \leq 60 \text{ m}^3/\text{s/h}$ .

Tableau X: Extrait des résultats de l'analyse des gradients de montée sur les 27 crues de la Brague et de ses affluents

	GX15_min (m <sup>3</sup> /s/h)	GX30_min (m <sup>3</sup> /s/h)	GX45_min (m <sup>3</sup> /s/h)	GX1h (m <sup>3</sup> /s/h)	GX2h (m <sup>3</sup> /s/h)	GX3h (m <sup>3</sup> /s/h)	GX4h (m <sup>3</sup> /s/h)	GX5h (m <sup>3</sup> /s/h)	GX6h (m <sup>3</sup> /s/h)	GX7h (m <sup>3</sup> /s/h)	Q <sub>pointe</sub> (m <sup>3</sup> /s)	tm global (h)	tm réduit (h)
09/11/1982	40.0	34.5	34.5	34.5	10.6	10.6	10.6	7.9	7.9	3.9	54.0	14.4	6.7
13/05/1985	85.7	38.8	38.8	38.8	38.8	23.1	23.1	21.2	16.9	13.9	115.0	9.7	5.4
10/10/1987	50.0	50.0	44.0	44.0	27.6	21.9	15.4	0.0	0.0	0.0	66.0	4.3	1.7
11/10/1987A	33.8	33.8	31.0	31.0	26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0	2.1	2.1
11/10/1987B	135.6	135.6	135.6	112.5	46.9	46.9	31.1	31.1	0.0	0.0	171.0	5.2	1.8
09/12/1990	13.9	13.9	13.9	12.9	11.1	10.3	10.3	10.3	7.4	7.4	67.2	14.2	9.1
29/09/1991	36.7	36.7	33.8	33.8	18.6	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	59.5	3.5	1.7
26/04/1993	33.9	33.9	33.9	30.8	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	65.5	17.8	7.7
06/10/1993	62.5	59.2	45.3	45.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.4	2.0	2.0
10/01/1994	29.3	29.3	29.3	27.2	24.3	14.8	12.6	0.0	0.0	0.0	61.5	4.9	4.7
18/01/1995	25.7	25.7	25.7	25.7	21.7	17.0	13.9	9.4	9.4	9.2	65.5	11.0	2.9
12/01/1996	12.4	12.4	12.4	12.4	11.7	8.0	7.9	5.2	5.2	5.2	69.7	32.8	21.5
25/12/1996	68.2	64.6	60.0	60.0	59.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	144.0	2.5	2.5
20/12/1997	62.4	43.5	33.3	33.3	22.1	18.8	17.8	14.7	13.3	10.5	87.4	9.6	4.9
23/10/1999	72.2	72.2	64.7	64.7	40.4	16.9	16.9	0.0	0.0	0.0	82.9	4.9	1.6
24/10/1999	35.3	35.3	35.3	29.2	29.2	23.6	21.2	17.2	14.9	12.4	97.1	7.7	5.5
06/11/2000	62.6	43.9	26.8	26.8	22.1	20.4	19.5	17.7	14.9	13.1	99.8	8.3	6.9
25/12/2000	70.6	70.6	66.0	66.0	40.1	25.6	22.0	15.8	15.8	13.7	102.0	23.3	8.3
02/12/2005	56.0	48.2	40.9	40.7	34.8	24.6	19.1	16.9	15.5	13.3	93.6	7.0	5.8
31/10/2010	26.5	26.5	22.9	22.9	18.9	17.2	14.8	11.5	8.6	8.6	64.4	7.5	3.8
01/11/2010	87.7	82.3	82.3	78.3	36.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.8	2.4	1.0
06/11/2011	106.0	106.0	91.7	91.7	80.2	66.5	51.3	39.7	0.0	0.0	221.0	5.5	2.8
17/01/2014	72.7	72.7	33.1	33.1	33.1	29.6	23.7	13.4	13.4	13.4	104.0	16.2	3.7
03/10/2015	403.0	253.4	175.3	141.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23/11/2019	69.1	69.1	69.1	63.5	35.1	29.6	24.6	22.7	22.3	18.2	147.0	7.5	6.3
01/12/2019	43.4	43.4	39.9	33.9	29.1	26.5	21.6	12.8	12.8	12.8	96.1	19.8	11.0
11/05/2020	44.8	33.8	28.1	26.3	23.3	17.5	11.9	9.1	8.5	7.3	59.0	19.0	8.0

Du fait d'une approche succincte des gradients montée au cours du stage, de nombreuses perspectives sont possibles. Ainsi, après l'obtention de l'ensemble des gradients de montée, une relation entre ces gradients et les conditions hydrométéorologiques devra être effectuée afin d'établir des scénarios hydrométéorologiques pour la gestion de crise. La constitution de scénarios hydrométéorologiques permettra d'estimer un gradient de montée caractéristique du type d'épisode attendu. Le questionnement sur la durée d'analyse des gradients de montée pour la gestion de crise car le gradient de montée varie en permanence, et que selon la formule mathématique du gradient de montée, les pas de temps d'analyse les plus courts génèreront les gradients les plus forts.

En termes d'incertitudes des résultats, leurs origines proviennent de la fréquence d'acquisition des données hauteurs/débits, de la qualité des données et de la fiabilité de la courbe de tarage des stations hydrométriques utilisées. La qualité des données de la station Plan Saint Jean est jugée bonne pour les basses et moyennes eaux, mais douteuses pour les hautes eaux (source BanqueHydro). A l'exception des années 2010 et 2011, les données de débits de cette station sont « validés bons » entre 1981 et 2013. Les données de débit entre 2014 et 2015 sont considérées comme « provisoires ». La qualité des données pour la station Passerelle est jugée bonne pour basses/moyennes/hautes eaux, mais les débits sont indiqués « provisoires » pour les années entre 2018 et 2020 (source BanqueHydro). Deux crues ont été analysées avec de fortes incertitudes : le débit de pointe de la crue du 06/11/2011 a été revu à la baisse (170 m<sup>3</sup>/s au lieu de 221 m<sup>3</sup>/s) (source Groupement HYDRATECH, 2012) et l'hydrogramme de la crue du 3-4 octobre 2015 a été enregistré partiellement dans la mesure où la station a été endommagée avant le débit de pointe.

D. Seuils hydrologiques retenus pour la gestion de crise

Afin d’optimiser la gestion de crise inondation, une approche à l’échelle de la plaine alluviale a été préférée à une approche par quartier. Les seuils hydrologiques (vigilance, pré-alerte, alerte et débordement) ont été déterminés pour chaque station hydrométrique identifiée dans la partie « A. Analyse de l’instrumentation du bassin versant », à l’exception de la station les Combes. Le tableau suivant présente l’ensemble des seuils hydrologiques retenus (Tableau XI). Le secteur d’étude a été divisé en trois parties : amont confluence Brague/Valmasque, aval confluence Brague/Valmasque et aval Valmasque avant confluence avec la Brague (Tableau XI).

Tableau XI: Ensemble des seuils hydrologiques retenus pour la surveillance de la plaine de la Brague et de ses affluents à "forts enjeux"

Seuils hydrologiques Bassin versant de la Brague et de ses affluents							
Cours d'eau	Station(s) hydrométrique(s)	Secteurs à protéger	VIGILANCE	PREALERTE	ALERTE	DEBORDEMENT	Impacts terrain
BRAGUE	DREAL – Chemin de la Passerelle	Amont confluence Valmasque	10 m3/s / 0.9 m*	60 m3/s / 2.2 m*	90 m3/s / 2.7 m*	150 m3/s / 3.8 m*	<ul style="list-style-type: none"><li>1<sup>er</sup> débordements en secteur privé vers 70 m3/s → Propriété Mutch</li><li>90 m3/s : 1<sup>er</sup> débordement secteur Plan Saint Jean → Fermeture Chemin de la Passerelle RD/RG + Route des Clausonnes à fermer secteur Pont Vieux</li><li>100 m3/s : Route d’Antibes entre Quartier Noria et Rond-point de la Romaine à fermer + information école Moulin Neuf</li><li>150 m3/s : Niveau d’eau bas tablier Pont Murator, débordement en RG – risque de coupure du méandre + débordement en RG Golf de Biot en direction du Quartier la Romaine</li></ul>
BRAGUE + VALMASQUE	DREAL – Chemin de la Passerelle Pont bus/tram	Aval confluence Valmasque	10 m3/s	50 m3/s	80 m3/s	130 m3/s	<ul style="list-style-type: none"><li>80 m3/s : Débordements dans le Camping du Pylône</li><li>130 m3/s : Débordement RG golf en direction des habitations quartier Romaine</li><li>170 m3/s : Risque de coupure A8 + risque de généralisation débordements Quartier Avenue du Pylône</li></ul>
VALMASQUE	Pont bus/tram	Aval Valmasque	8 m3/s / 0.7 m	16 m3/s / 1 m	33 m3/s / 1.3 m	41 m3/s / 1.4 m	<ul style="list-style-type: none"><li>33 m3/s : 1er débordement en RD Chemin de la Valmasque</li><li>41 m3/s : Capacité du pont RD504 provoquant débordement en RG/RD et coupant RD504 – Avenue Jean Michard Pelissier</li></ul>
BRAGUE	Verrière	Plaine de la Brague	1.20 m	1.40 m	1.60 m	1.80 m	<ul style="list-style-type: none"><li>Conséquences à déterminer</li></ul>

\*source : courbe de tarage de la station DREAL validée pour la période 23/11/2019 – 31/12/2030 avec bornes de fiabilité entre 25 et 190 cm

Analyse des seuils de surveillance de la Valmasque

Les seuils fixés pour la protection des secteurs aval de la Valmasque (avant la confluence avec la Brague) ont été déterminés par application de la formule de Meyer. Ainsi, une vérification de l’hypothèse d’homogénéité des paramètres physiographiques entre le bassin versant topographique global de la Valmasque (confluence Brague) et le bassin versant topographique de la station hydrométrique Pont bus/tram a été réalisée. Les tableaux suivants présentent l’analyse de l’occupation du sol des deux bassins versants considérés (Tableaux XII et XIII).

Les résultats montrent une faible différence d’occupation du sol entre les deux bassins versants. Ainsi, l’hypothèse d’homogénéité selon l’analyse de l’occupation du sol à partir de la couche CLC 2012 semble valable. Néanmoins, le bassin versant de la station hydrométrique se caractérise par des contextes forestiers et agricoles supérieurs avec respectivement + 6.1 % et + 0.7 %. A contrario, le contexte urbain est inférieur avec une réduction de – 6.8 %, avec notamment l’absence de la couche 142, intitulée « Equipements sportifs et de loisirs ».

Tableau XII: Analyse de l'occupation du sol du bassin versant topographique de la Valmasque avec exutoire au niveau de la confluence avec la Brague (source couche CLC 2012)

	Classes	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)	Pourcentage inter-classe (%)
Contexte Urbain	112	3.4	25.0	41.8
	121	1.4	10.2	
	122	0.5	3.6	
	142	0.4	3.0	
Contexte agricole	242	0.3	2.3	2.3
Forêts	311	0.2	1.1	55.9
	312	4.7	34.6	
	313	2.7	20.2	
Total		13.6	100	100

Tableau XIII: Analyse de l'occupation du sol du bassin versant topographique de la station hydrométrique de la Valmasque Pont bus/tram (source couche CLC 2012)

	Classes	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)	Pourcentage inter-classe (%)
Contexte Urbain	112	2.7	25.2	35.0
	121	0.8	7.4	
	122	0.3	2.4	
Contexte agricole	242	0.3	3.0	3.0
Forêts	311	0.2	1.5	62.0
	312	4.6	43.8	
	313	1.8	16.8	
Total		10.6	100	100

Outre la vérification de l'hypothèse d'homogénéité, l'analyse de l'occupation du sol est intéressante car une influence sur la réponse hydrologique existe, dans la mesure où ces classes peuvent être traduites en réservoirs potentiels lors de précipitation. Ainsi, un coefficient de ruissellement peut être assimilé à chaque type d'occupation du sol. L'effet d'une possible saturation des sols peut également être étudié car certaines classes sont insensibles à une saturation préalable telle que le contexte urbain par exemple. Le pourcentage élevé du contexte forestier (56 % et 62 %) traduit une sensibilité à l'indice d'humidité des sols.

Seule une analyse de l'occupation du sol a été réalisée, mais, deux éléments confortent l'hypothèse d'homogénéité des paramètres physiographiques :

- Le pourcentage de recouvrement des deux bassins est élevé. Ainsi, le bassin versant topographique de la future station hydrométrique, recouvre 78 % du bassin versant de la Valmasque au niveau de la confluence avec la Brague (Tableau IX).
- La formule de Meyer est utilisée au sein du même bassin versant, limitant ainsi, dans une certaine mesure, les hétérogénéités des paramètres physiographiques.



### Courbe de tarage associée à la station de la Valmasque pont bus/tram :

Une courbe de tarage a été estimée par une approche de jaugeages calculés à l'aide de la formule de Manning-Strickler. Faute de jaugeage, cette méthodologie était pertinente à mettre en œuvre. Cependant, du fait des nombreuses incertitudes citées précédemment à propos de la formule de Manning-Strickler, cette méthodologie est généralement utilisée pour extrapoler une courbe de tarage construite à partir de jaugeages mesurés (Wikhydro, 2015). Le graphique suivant présente la courbe de tarage obtenue (Figure 16).

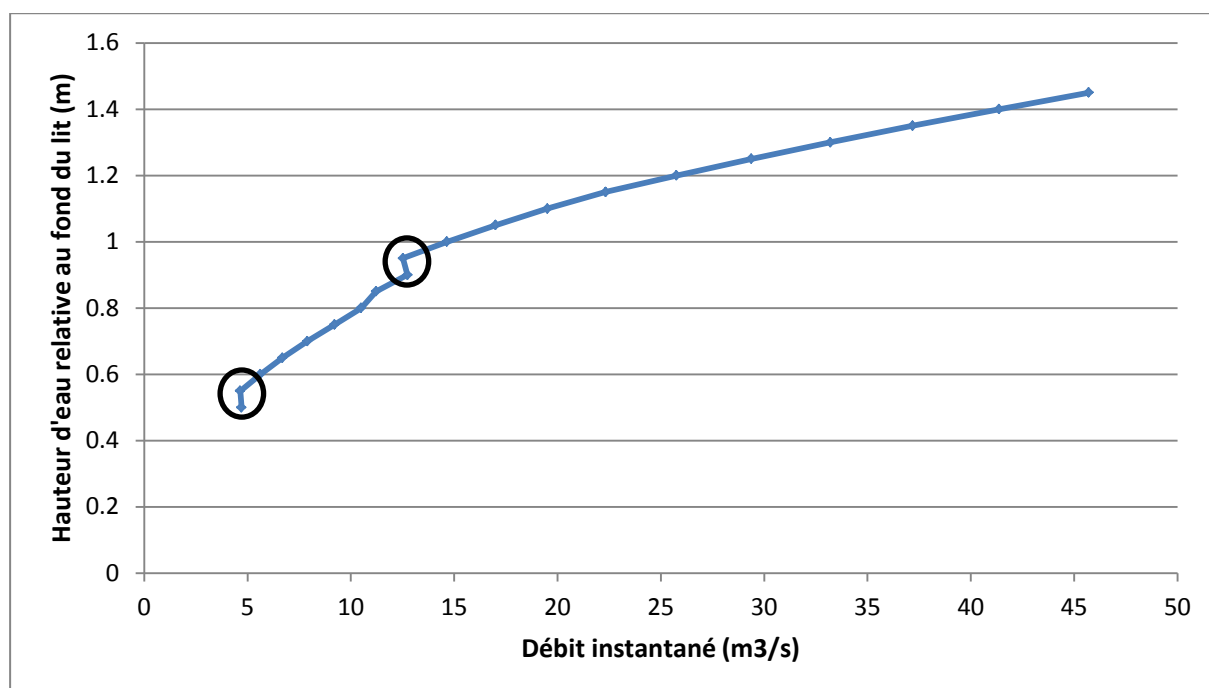


Figure 16: Courbe de tarage de la station hydrométrique Valmasque Pont bus/tram, construite pour les seuils hydrologiques de surveillance compris entre 8 et 41 m³/s

La courbe de tarage se caractérise par plusieurs « marches » pour des hauteurs d'eau comprises entre 0.5 m et 0.55 m, ainsi qu'entre 0.9 m et 0.95 m (Figure 16). Ces « marches » provoquent des écarts de l'ordre de la décimale. Ces écarts sont négligeables selon les incertitudes associées à une courbe de tarage. Ces marches s'expliquent principalement par la géométrie complexe de la section transversale. Le mode de calcul du code R fonctionne de manière à appliquer une hauteur d'eau constante sur l'ensemble du domaine, provoquant ainsi, pour la géométrie d'étude, des « mises en eau artificielles » avant débordement du lit mineur (Figure 17).

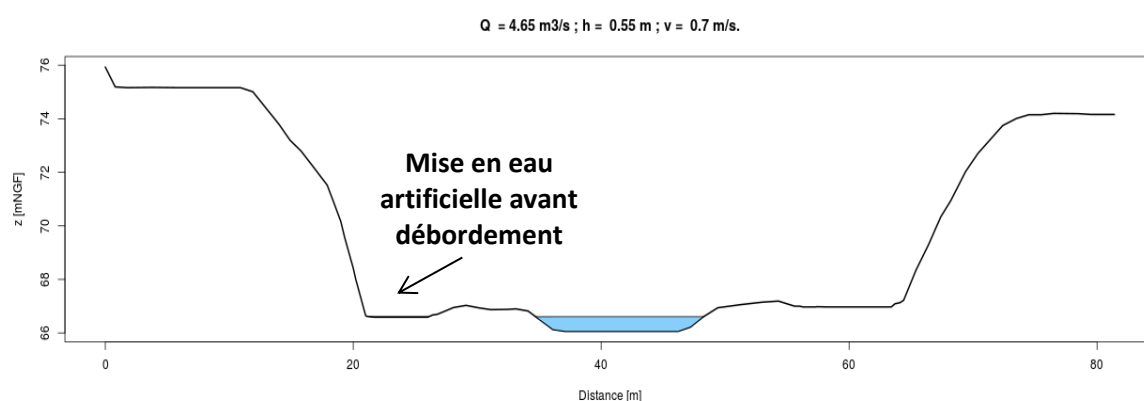


Figure 17: Mise en eau artificielle du lit majeur rive gauche pour une hauteur d'eau comprise entre 0.5 m et 0.55 m

Les données géométriques et topographiques (MNT 1 mètre) sont récentes et datent du 27/04/2018. Néanmoins, des travaux de création du pont sur lequel sera installée la future station hydrométrique étaient en cours à la date d'acquisition des données du MNT 1 mètre. Ainsi, la géométrie utilisée n'est pas actuelle et a notamment été modifiée par les phases de terrassement/remblaiement du chantier. Faute d'autres données topographiques, le MNT 1 m a été la source des données géométriques et topographiques. Le MNT a également subi un traitement important dans le secteur d'étude avec de nombreuses mises à plat (Figure 18), altérant de manière supplémentaire la qualité des données.

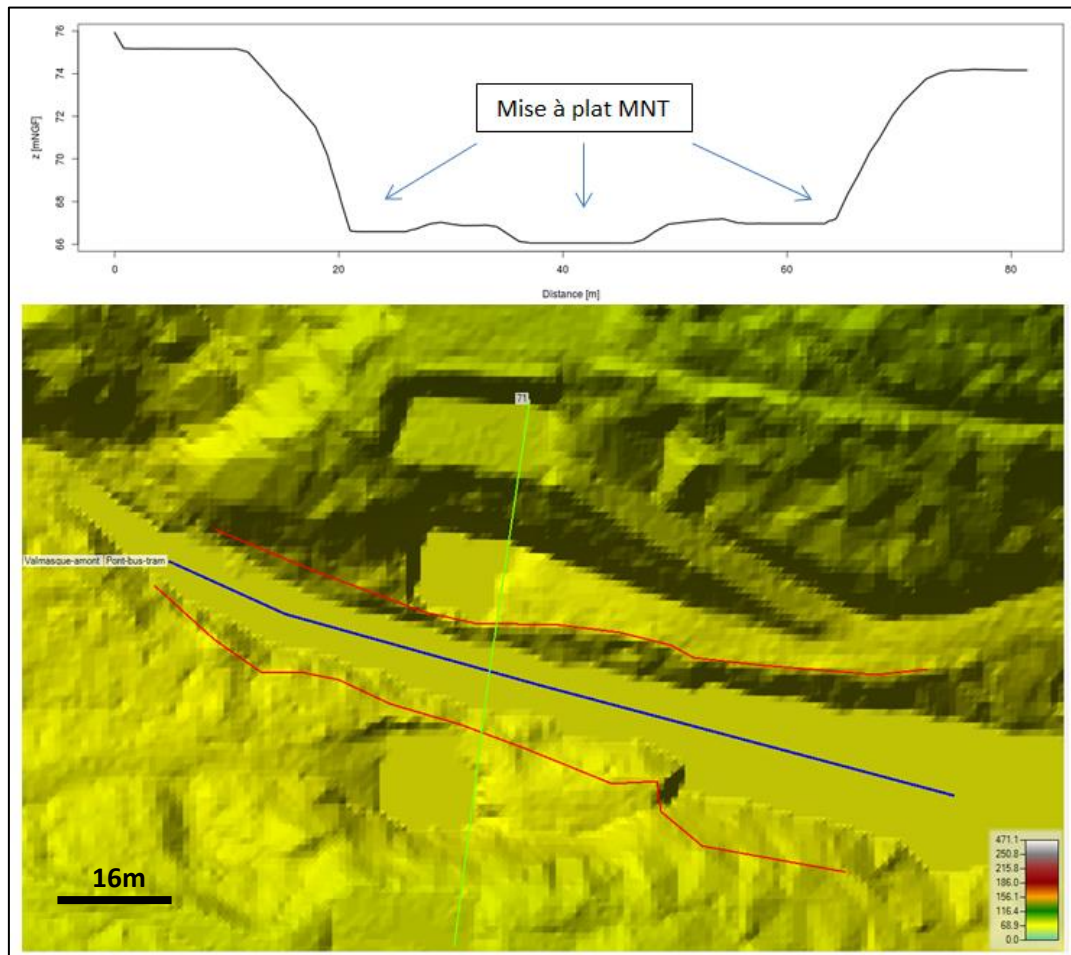


Figure 18: Section transversale (trait vert) au droit de la future station hydrométrique Pont bus/Tram, située 1 m en aval du pont selon fiche EXE du marché d'instrumentation. Vue en coupe (en haut) et en plan (trait vert, en bas). Le trait bleu correspond à l'entité « rivière » tandis que les entités rouges sont les berges

Ainsi, la courbe de tarage mise en place n'est pas opérationnelle. Néanmoins, l'approche générale ainsi que le bilan des données disponibles à ce jour sont utiles. En termes de perspectives, deux éléments doivent être réalisés afin de rendre opérationnel la démarche mise en place :

- Mise en place d'une campagne d'acquisition de données terrain sera réalisée après la pose de la station hydrométrique de manière à réaliser une coupe transversale au droit de la station d'une part, et de réaliser un profil longitudinal dans le secteur d'étude.
- Meilleure connaissance de l'impact des ouvrages hydrauliques (pont bus/tram) et pont situé à 30 mètres en aval de la station hydrométrique. Une modélisation hydraulique après acquisition de l'ensemble des données nécessaires (géométriques et des deux ouvrages en travers), pourra être mise en œuvre.

En complément de ces éléments, des campagnes de jaugeage à différentes périodes hydrologiques doivent être mises en place sur ce secteur pour construire une courbe de tarage par jaugeages mesurés. Cependant, plusieurs contraintes sont présentes sur site :

- Une anticipation des campagnes de jaugeage devra être réalisée dans la mesure où, par expérience, le temps de réaction de la Valmasque est court.
- La Valmasque se caractérise par des évolutions morphologiques importantes sur certains secteurs car, à l'image de la crue morphogène du 03-04 octobre 2015, le transport sédimentaire est important. Ainsi, la mise en place d'une courbe de tarage pourra être rendue délicate.

### Analyse des seuils hydrologiques de la plaine de la Brague (amont/aval confluence Valmasque)

La critique de données a déjà été réalisée pour les seuils de pré-alerte, alerte et débordement dans la partie « B. Détermination capacité du lit mineur ». La sélection des seuils selon le degré de mobilisation du lit majeur après débordement au niveau des points sensibles, selon le type d'enjeu exposé, ainsi que selon la rupture de liaisons stratégiques est intéressante pour la gestion de crise inondation.

La surveillance de ces secteurs est réalisée à partir des stations hydrométriques de la DREAL et de la Valmasque. Les secteurs amont seront surveillés par la station hydrométrique DREAL, où une courbe de tarage a été construite. L'absence d'une courbe de tarage sur la station de la Valmasque est problématique pour la surveillance des secteurs aval de la confluence Brague/Valmasque.

Le seuil de vigilance pour les secteurs amont/aval correspond aux résultats de l'analyse des débits du début du temps de montée réduit pour les 27 crues de la Brague et de ses affluents, étudiées à partir des stations DREAL présentes au niveau du Plan Saint Jean depuis 1980 (Figures 19 et 20).

L'analyse des 24 crues enregistrées par la station DREAL Plan Saint Jean indique que 8.3 % (2 crues) des débits du début du temps de montée réduit sont supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/s (Figure 19). Ainsi, 91.7 % (22 crues) sont inférieurs à 10 m<sup>3</sup>/s : 20.8 % (5 crues) pour la classe comprise entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/s et 70.8 % pour la classe inférieure à 5 m<sup>3</sup>/s (17 crues) (Figure 19).

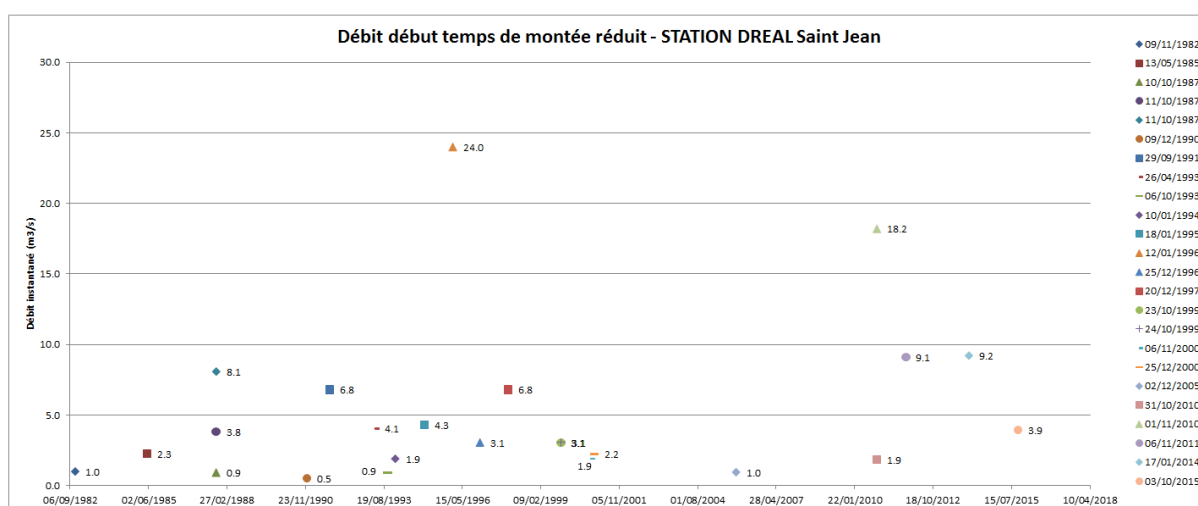


Figure 19: Analyse des débits de début de temps de montée réduit pour la station DREAL Plan Saint Jean

L'analyse des 3 crues enregistrées par la station DREAL Passerelle indique que 33.3 % (1 crue) des débits du début du temps de montée réduit sont supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/s (Figure 20). Le reste de l'échantillon d'analyse, équivalent à 66.7 % (2 crues) se situe dans la classe inférieure à 5 m<sup>3</sup>/s.

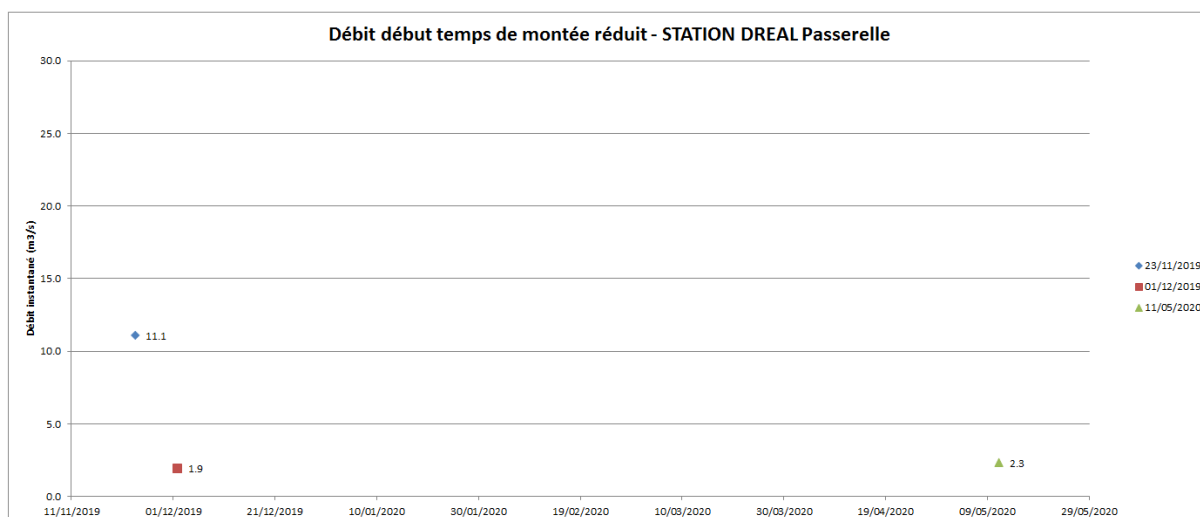


Figure 20: Analyse des débits de début de temps de montée réduit pour la station DREAL Passerelle

A partir des résultats, la classe 0-5 m³/s est la plus représentée. Néanmoins, pour répondre à l'objectif de ce seuil et selon les seuils de premiers débordements de la plaine de la Brague à « forts enjeux », la valeur de 10 m³/s a été retenue pour le seuil de vigilance.

La principale problématique de la méthodologie utilisée est l'aspect subjectif de la détermination du début du temps de montée réduit selon une approche graphique. Une méthode alternative à l'approche graphique aurait été une approche « semi-automatique », à l'aide du gradient de montée maximal et du débit de pointe observé pour chaque crue (RTM, 2015). La formule utilisée aurait été la suivante :

$$tr = \frac{Qp}{GX}$$

Avec  $tr$  = temps de montée réduit (h),  $Qp$  = débit de pointe (m³/s) et  $GX$  = gradient de montée maximal

Cette approche semi-automatique suppose une montée rectiligne de la courbe de montée de crue et est ainsi souvent trop pénalisante par rapport au temps de montée réduit réel. Le caractère trop pénalisant dépend du type de montée observé sur le cours d'eau d'étude. A partir des limites citées, et de la taille de l'échantillon d'étude, l'analyse graphique a été privilégiée dans cette étude mais pourrait s'avérer fastidieuse pour l'opérationnalité de la démarche sur l'ensemble du territoire du SMIAGE.

### Analyse des seuils de la surveillance de la station pont de la Verrière

Les seuils retenus pour la gestion de crise sur cette station hydrométrique sont : seuil de vigilance (+1.20 m), seuil de pré-alerte (+1.40 m), seuil d'alerte (+1.60 m) et seuil de débordement (+1.80 m) par rapport à la référence altimétrique.

L'utilisation de seuils limnimétriques existants est pertinente pour fixer rapidement des seuils avant les épisodes automnaux. Cependant, une analyse précise des conséquences terrain associées à chacun de ces seuils est cruciale et devra être réalisée à l'avenir.

## Conclusion

Les missions de stage effectuées s'inscrivaient dans l'objectif d'amélioration de la surveillance hydrologique des bassins versants de la Brague et du Loup. L'aspect opérationnel attendu était de mettre en place une méthodologie de détermination de seuils hydrologiques pour la gestion de crise inondation. A partir de ces seuils hydrologiques, le SMIAGE appuiera ses membres pour le déploiement de mesures d'intervention communales lors d'une gestion de crise.

La discussion sur la qualité des données disponibles, la constitution de scénarios hydrométéorologiques, la détermination de seuils pluviométriques et l'analyse des gradients de montée, sont des éléments importants pour entamer une réflexion sur l'approche à privilégier pour la détermination des seuils de surveillance hydrométéorologique. Les différents seuils de gestion de crise, devront, quel que soit l'approche, être validés en les comparant à la réalité du terrain. Ainsi, les seuils retenus dans cette étude devront suivre cette démarche et être confrontés aux futures crues des bassins versants. Des perspectives d'acquisition de données topo-bathymétriques, ainsi que la réalisation de modélisations hydrauliques ont également été proposées dans cette étude.

L'instrumentation progressive de ces bassins versants permettra d'améliorer la surveillance hydrologique dans un premier temps. Après la phase d'acquisition de données, une compréhension des réactions des différents affluents pourra être établie. Ainsi, à partir de ces bénéfices progressifs, une montée en puissance dans l'objectif d'anticipation de ces phénomènes à risques pour les biens et les personnes, pourra être mise en place dans l'avenir.

Malgré le contexte particulier de ce stage, plusieurs compétences ont été développées ou renforcées lors de cette expérience. Des compétences d'adaptation ont été acquises du fait de l'arrivée dans une nouvelle structure et un nouveau cadre de travail d'une part, mais également par la période de télétravail. Des compétences scientifiques ont également été développées dans les domaines de l'hydrologie, l'hydraulique, l'hydrométrie et la météorologie. Des outils techniques, cartographiques et de programmation ont été utilisés tels que les logiciels R, Hec-RAS et ArcGis. Des compétences organisationnelles ont été acquises à travers la mise en place d'un chronogramme de travail, et de la création de groupes de travail. Des compétences relationnelles ont été développées à travers les groupes de travail, la culture collaborative de la structure d'accueil, la journée de sensibilisation des jeunes élèves à la protection des espaces naturels et des nombreuses réunions avec les différents acteurs de la gestion de crise (sécurité civile, élus, gestionnaires d'ouvrages, etc.).

Pour conclure, cette expérience a été enrichissante et épanouissante d'un point de vue professionnel et personnel. En effet, j'ai pu découvrir un ensemble de métier rattaché à la compétence GEMAPI. J'ai également pu découvrir le fonctionnement d'un Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) de plus de 50 salariés. Cette expérience m'a conforté sur mon souhait de travailler dans des domaines rattachés à la compétence GEMAPI. Bien que je reste ouvert à toutes opportunités, mon projet professionnel est d'améliorer la prévention des inondations, tout en tenant compte de la dimension environnementale. Cette approche est cohérente à celle associée à la compétence GEMAPI. Ainsi, je suis très heureux de pouvoir débiter ma vie professionnelle en intégrant le Syndicat Mixte pour les Inondations, l'Aménagement et la Gestion de l'Eau maralpin (SMIAGE).

# Bibliographie

**BanqueHydro – Eau France.** Disponible sur : <http://www.hydro.eaufrance.fr/>

**Cabinet Merlin, 2018.** Etude hydraulique et dossiers nécessaires à l'élaboration ou la révision des PPRI de 10 communes des alpes Maritimes LOT 1 : ANTIBES – BIOT - VALLAURIS – phase 1 : étude de l'aléa inondation. Chapitre 3 : modélisations hydrauliques. Disponible sur : <http://www.alpes-maritimes.gouv.fr/content/download/28853/234166/file/Chap3-%20Modelisation.pdf> [Consulté le 01/06/2020]

**Cabinet Merlin, 2017.** Etude hydraulique et dossiers nécessaires à l'élaboration ou la révision des PPRI de 10 communes des alpes Maritimes, LOT 1 : ANTIBES – BIOT - VALLAURIS – phase 1 : étude de l'aléa inondation. Chapitre 2 : Hydrologie. Disponible sur : <http://www.alpes-maritimes.gouv.fr/content/download/23168/199968/file/Chap2%20-%20Hydrologie.pdf> [Consulté le 02/06/2020]

**Cabinet Merlin, 2016.** Mission d'étude hydraulique préalable au réaménagement de la Brague et de ses affluents – phase 2 : Modélisation hydraulique et diagnostic en situation actuelle [Consulté le 20/03/2020]

**Centre Européen de Prévention du Risque Inondation (CEPRI), 2018.** Guide sur la Prévision et l'Anticipation des crues et des Inondations. Disponible sur : [http://www.cepri.net/actualites/items/Guide\\_prevision.html](http://www.cepri.net/actualites/items/Guide_prevision.html) [Consulté le 10/05/2020]

**Couche CORINE Land Cover (CLC).** Disponible sur : <http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donneesCLC/CLC/>

**Degoutte Gérard.** Traité d'hydraulique à surface libre. Disponible sur <https://www.hydrologie.org/MISC/hydr/degoutte/degoutte1.pdf> [Consulté le 10/03/2020]

**Département des Alpes Maritimes, 2016.** Stratégie Locale de Gestion du Risque d'Inondation (SLGRI). Disponible sur : [https://www.departement06.fr/documents/A-votre-service/Cadre-de-vie/proteger/dpt06-cadrevie\\_slgri-version-finale.pdf](https://www.departement06.fr/documents/A-votre-service/Cadre-de-vie/proteger/dpt06-cadrevie_slgri-version-finale.pdf) [Consulté le 08/05/2020]

**Groupeement Hydratech : Hydratech Setec, bonne réponse, Asconit, 2012.** Etudes de prévention des inondations liées au « PAPI CASA », Mission M5 : Etude préalable à la réduction de la vulnérabilité. [Consulté le 21/03/2020]

**Institut des Risques Majeurs (IRMA), 2012.** Organisation de la sécurité civile en France métropolitaine. Disponible sur : <https://www.mementodumaire.net/dispositions-generales-2/vigilance-alerte-et-secours/dgv1-organisation-de-la-securite-civile/> [Consulté le 10/05/2020]

**Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), 2018.** Descriptif du contenu du Référentiel Géographique à Grande Échelle Version 2.0. Disponible sur : [https://geoservices.ign.fr/ressources\\_documentaires/Espace\\_documentaire/MODELES\\_3D/RGE\\_ALT\\_I/DC\\_RGEALTI\\_2-0.pdf](https://geoservices.ign.fr/ressources_documentaires/Espace_documentaire/MODELES_3D/RGE_ALT_I/DC_RGEALTI_2-0.pdf) [Consulté le 03/07/2020]

**José Vazquez.** ECOLE NATIONALE DU GENIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG. Disponible sur : [https://engees.unistra.fr/fileadmin/user\\_upload/pdf/shu/cours\\_HSL\\_FI\\_2010.pdf](https://engees.unistra.fr/fileadmin/user_upload/pdf/shu/cours_HSL_FI_2010.pdf)

**Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MÉDDE), 2014.** Stratégie Nationale de Gestion des Risques d'Inondation (SNGRI). Disponible sur : [https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2014\\_Strategie\\_nationale\\_gestion\\_risques\\_inondations.pdf](https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2014_Strategie_nationale_gestion_risques_inondations.pdf) [Consulté le 09/05/2020]

**Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2017.** Charte qualité de l'hydrométrie. Disponible sur : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/201701\\_Schapi\\_Charte\\_hydro\\_P01-84\\_BDcliquable.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/201701_Schapi_Charte_hydro_P01-84_BDcliquable.pdf) [Consulté le 10/07/2020]

**Ministère de la Transition Ecologique, 30/04/2020.** Généralités sur le risque inondation en France. Disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/generalites-sur-risque-inondation-en-france> [Consulté le 09/05/2020]

**Ministère de la Transition Ecologique, 13/02/2020.** Prévention des inondations. Disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations#e5> [Consulté le 09/05/2020]

**Restauration des Terrains de Montagne (RTM), 2015.** Evaluation du temps de montée des crues torrentielles rapides - MIG MEDDE - Action A3

**Wikhydro, 2015.** B.09 - Incertitudes de la courbe de tarage. Disponible sur : [http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/B.09\\_-\\_Incertitudes\\_de\\_la\\_courbe\\_de\\_tarage](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/B.09_-_Incertitudes_de_la_courbe_de_tarage) [Consulté le 20/07/2020]



## Liste des acronymes et des abréviations

- **APIC** : Avertissement Pluies Intenses à l'échelle des Communes
- **ADCP** : Acoustic Doppler Current Profiler
- **BP** : Bulletin de Précipitation
- **CASA** : Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis
- **CAT-NAT** : Catastrophe Naturelle
- **CCTP** : Cahier des Clauses Techniques Particulières
- **CEPRI** : Centre Européen de Prévention des Risques d'Inondation
- **CGCT** : Code Général des Collectivités Territoriales
- **CG3P** : Code Général de la Propriété des Personnes Publiques
- **CLC** : CORINE Land Cover
- **CMIR** : Centres Météorologiques InterRégionaux
- **CNIR** : Centre National d'Information Routière
- **CNP** : Centre National de Prévision
- **COD** : Centre Opérationnel Départemental
- **CODEB** : Comité Départemental de l'Eau et de la Biodiversité
- **CODIS** : Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours
- **COGIC** : Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle de Crise
- **COS** : Commandant des Opérations de Secours
- **COZ** : Centre Opérationnel de Zone
- **CRICR** : Centre Régional d'Information et Coordination Routières
- **CT** : Contrats Territoriaux
- **DDTM06** : Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Alpes Maritimes
- **DGPR** : Direction Générale de la Prévention des Risques
- **DICRIM** : Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
- **DOS** : Directeur des Opérations de Secours
- **DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- **EDF** : Electricité de France
- **EPCI-FP** : Etablissement Public de Coopération Intercommunale à Fiscalité Propre
- **EPRI** : Etude Préliminaire des Risques Inondations
- **EPTB** : Etablissement Public Territorial de Bassin
- **EXE** : Exécution
- **GALA** : Gestion d'alertes locales automatisées
- **GECOS** : GEstion Collaborative des Opérations de Sauvegarde
- **GEMAPI** : GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations
- **GX** : Gradient maximal par pas de temps
- **IBD** : Indice Biologique Diatomées
- **IBGN** : Indice Biologique Global Normalisé
- **IGN** : Institut National de l'Information Géographique et Forestière
- **IRMA** : Institut des Risques Majeurs
- **LENE** : Loi d'Engagement National pour l'Environnement
- **LIDAR** : Light Detection and Ranging
- **MAPTAM** : Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles
- **MÉDDE** : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
- **MNT** : Modèle Numérique de Terrain
- **NOTRe** : Nouvelle organisation territoriale de la République
- **ORSEC** : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
- **PAPI** : Programme d'Actions Prévention Inondation
- **PCC** : Poste de Commandement Communal
- **PCO** : Poste de Commandement Opérationnel

- **PCS** : Plan Communal de Sauvegarde
- **PGRI** : Plan de Gestion du Risque Inondation
- **PPR** : Plan des Prévention des Risques
- **RA** : Règlement d'Astreinte
- **RETEX** : RETour d'EXpérience
- **TDI** : Référent Départemental Inondation
- **Réseau PC&H** : Réseau national pour la prévision des crues et l'hydrométrie
- **RGA** : Règlement Général d'Astreinte
- **RGE** : Référentiel Géographique à Grande Échelle
- **RIC** : Règlement d'Information sur les Crues
- **RTM** : Restauration des Terrains de Montagne
- **SAGE** : Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- **SAIP** : Système d'Alerte et d'informations aux populations
- **SAMU** : Service d'Aide Médicale Urgente
- **SCHAPI** : Service Central d'Hydrométéorologie et d'appui Prévision Inondations
- **SDAGE** : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- **SDAL** : Système d'Avertissement Local aux crues
- **SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours
- **SDPC** : Schéma Directeur de Prévisions des Crues
- **SIDPC** : Service Interministériel de Défense et de Protection Civile
- **SIG** : Système d'Information Géographique
- **SISA** : Syndicat de la Siagne
- **SLGRI** : Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation
- **SMIAGE** : Syndicat Mixte pour les Inondations, l'Aménagement et la Gestion de l'Eau maralpin
- **SMM** : Services Météorologiques Mondiaux
- **SNCF** : Société Nationale des Chemins de Fer
- **SNGR** : Stratégie Nationale de Gestion du Risque Inondation
- **SOCLE** : Schéma d'Organisation des Compétences Locales de l'Eau
- **SPC** : Services de Prévision des Crues
- **SRC** : Fichier SOURCE des données transmises par l'IGN
- **TRI** : Territoire à Risques Importants d'Inondation
- **ZIP** : Zones Inondées potentielles

## Liste des illustrations

Figure 1: Chiffre clefs du SMIAGE .....	2
Figure 2: Acteurs et leurs liens dans la prévision et la vigilance hydrométéorologique .....	5
Figure 3: Chaîne d'alerte lors d'une gestion de crise hydrométéorologique (source : CEPRI, 2018) .....	6
Figure 4: Bassin versant topographique global (exutoire en mer) de la Brague .....	8
Figure 5: Localisation et date d'acquisition des dalles MNT 1 mètre RGE ALTI - version 2.0 .....	11
Figure 6: Méthode de pondération des coefficients de Strickler du lit mineur .....	12
Figure 7: Notion de gradient de montée ou "vitesse de montée" (source : RTM, 2015) .....	13
Figure 8: Exemple des étapes d'analyse des gradients de montée pour chaque crue (source : personnelle) .....	14
Figure 9: Contexte implantation future station hydrométrique Valmasque (source : google maps) .....	16
Figure 10: Dimensions de l'ouvrage situé 30 mètres en aval de la future station hydrométrique .....	16
Figure 11: Photographie de la station hydrométrique existante sur le futur lieu d'implantation .....	17
Figure 12: Carte du dispositif de surveillance hydrologique du bassin versant de la Brague et de ses affluents. ....	18
Figure 13 : Carte des capacités du lit mineur au niveau des points sensibles de la plaine alluviale à « forts enjeux », hauteurs d'eau provenant du MNT 1 mètre .....	20
Figure 14: Carte des capacités du lit mineur de la Brague en aval de l'autoroute A8, au niveau des point sensibles de la plaine alluviale à « forts enjeux ». Hauteurs d'eau provenant du MNT 1 mètre .....	21
Figure 15: Ensemble des hydrogrammes des crues étudiées pour l'analyse du gradient de montée .....	23
Figure 16: Courbe de tarage de la station hydrométrique Valmasque Pont bus/tram, construite pour les seuils hydrologiques de surveillance compris entre 8 et 41 m <sup>3</sup> /s .....	27
Figure 17: Mise en eau artificielle du lit majeur rive gauche .....	27
Figure 18: Section transversale de la future station hydrométrique .....	28
Figure 19: Analyse des débits de début de temps de montée réduit pour la station DREAL Plan Saint Jean .....	29
Figure 20: Analyse des débits de début de temps de montée réduit pour la station DREAL Passerelle .....	30
Figure 21: Différents niveaux de mise en œuvre de la Directive Inondation (2007/60/CE) .....	37
Figure 22: Périmètre du TRI Nice-Cannes-Mandelieu (source : Département des Alpes Maritimes, 2016) .....	38
Figure 23: Localisation du territoire du SMIAGE et de ses membres (source : interne) .....	39
Figure 24: Organigramme du SMIAGE (source : <a href="https://www.smiage.fr/qui-sommes-nous/">https://www.smiage.fr/qui-sommes-nous/</a> ) .....	42
Figure 25: Localisation des sections transversales pour l'approche géométrique .....	43

## Liste des tableaux

Tableau I: Détails des dispositifs de gestion de crise en précisant leurs avantages et inconvénients .....	4
Tableau II: Echanges des organismes responsables de la prévision/vigilance hydrométéorologique .....	6
Tableau III: Détail de la méthodologie générale utilisée pour la détermination de la capacité du lit et des ouvrages de franchissement de la plaine de la Brague : seuils de débordement .....	10
Tableau IV: Informations MNT 1 mètre RGE ALTI version 2.0 .....	11
Tableau V: Valeurs de pente et de rugosité utilisées dans l'approche géométrique .....	12
Tableau VI: Paramètres pour la création d'une courbe de tarage par jaugeages calculés .....	15
Tableau VII: Valeurs des paramètres retenus pour l'analyse capacitaire de l'ouvrage situé 30 mètres en aval de la future station hydrométrique Valmasque .....	17
Tableau VIII: Equipements des différents dispositifs de surveillance hydrologique du bassin versant de la Brague et de ses affluents, X = oui (source : CCTP marché) .....	19
Tableau IX : Analyse surfacique des bassins versants topographiques de chaque station hydrométrique .....	19
Tableau X: Extrait des résultats de l'analyse des gradients de montée sur les 27 crues de la Brague et de ses affluents .....	24
Tableau XI: Ensemble des seuils hydrologiques retenus pour la surveillance de la plaine de la Brague et de ses affluents à "forts enjeux" .....	25
Tableau XII: Analyse de l'occupation du sol du bassin versant topographique de la Valmasque avec exutoire au niveau de la confluence avec la Brague (source couche CLC 2012) .....	26
Tableau XIII: Analyse de l'occupation du sol du bassin versant topographique de la station hydrométrique de la Valmasque Pont bus/tram (source couche CLC 2012) .....	26
Tableau XIV: Liste non exhaustive des outils mis en place par le SMIAGE pour l'appui à la prévision des risques hydrométéorologiques et à la gestion de crise .....	40

## Annexe 1 : Cadre législatif de la prévention des inondations

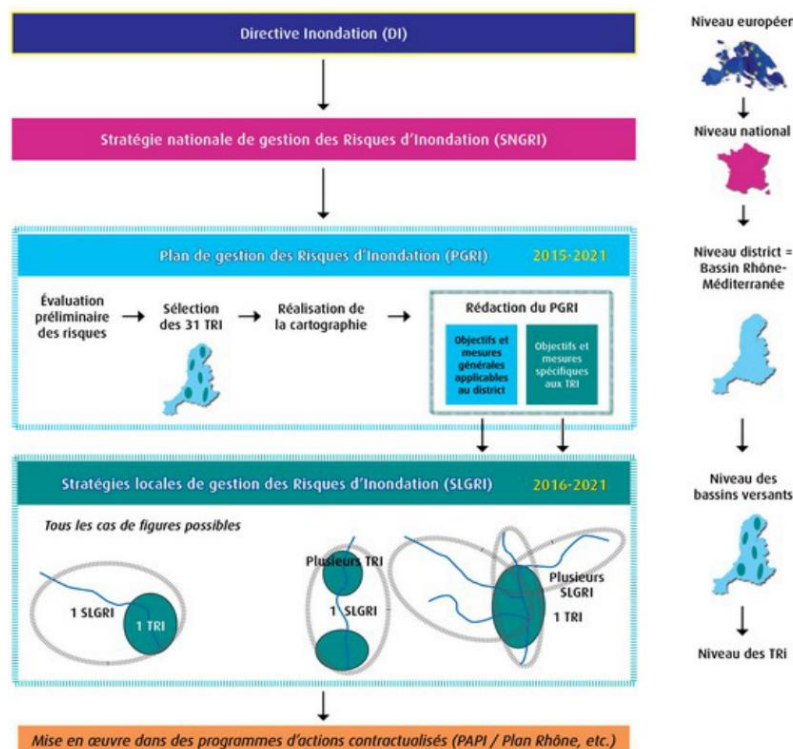
A l'échelle Européenne, la directive inondation 2007/60/CE, datant du 23 octobre 2007, définit le cadre général de la politique de prévention des inondations des Etats membres de l'Union Européenne (MÉDDE, 2014). La transposition de la directive inondation en droit français a été réalisée par la Loi d'Engagement National pour l'Environnement dite « LENE », du 13 juillet 2010 et dans son décret d'application N°2011-227 du 3 mars 2011 (Département des Alpes Maritimes, 2016). La Stratégie Nationale de Gestion des Risques Inondations, adoptée par un arrêté interministériel (Ministres de l'Environnement, du Logement, de l'Intérieur et de l'Agriculture), datant du 7 octobre 2014, s'articule notamment selon 3 objectifs à atteindre dans les 20-30 ans (MÉDDE, 2014):

- Améliorer la sécurité des populations exposées aux inondations
- Stabiliser à court terme et réduire à long terme les coûts des dommages liés aux inondations
- Raccourcir la durée de retour à la normale en post-événement

Pour chaque district hydrographique et selon des cycles renouvelables de 6 ans, la SNGRI impose la réalisation de 3 étapes (Ministère de la Transition Ecologique, 13/02/2020) :

- **une Etude Préliminaire des Risques Inondations (EPRI) :** objectif de recensement des événements historiques et caractérisation des enjeux (population et emplois menacés) à l'échelle du district hydrographique. Cette étape permet la définition de Territoires à Risques Importants d'inondation (TRI).
- **une étape de synthèse d'information sous forme de cartographie,**
- **la création d'un Plan de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI).**

Ainsi, ces PGRI sont la déclinaison de la SNGRI à l'échelle d'un district hydrographique, détaillant les objectifs en termes de gestion du risque inondation, accompagnés des mesures et du phasage pour y parvenir. Ces PGRI sont eux-mêmes déclinés à l'échelle départementale en Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation (SLGRI). La figure ci-dessous synthétise le domaine de la gestion du risque inondation pour le bassin hydrographique Rhône-Méditerranée (Figure 21):



Le département des Alpes Maritimes est rattaché au PGRI du bassin Rhône-Méditerranée (2015-2021). Ce département contient un TRI, appelé Nice-Cannes-Mandelieu La Napoule et a également une SLGRI étalée sur la période 2016-2021 pour répondre aux enjeux présents.

Figure 21: Différents niveaux de mise en œuvre de la Directive Inondation (2007/60/CE) (source : Département des Alpes Maritimes, 2016)

## Annexe 2 : Objectifs SLGRI – Département Alpes Maritimes

La figure ci-dessous présente les périmètres du TRI et de la SLGRI (Figure 22) :

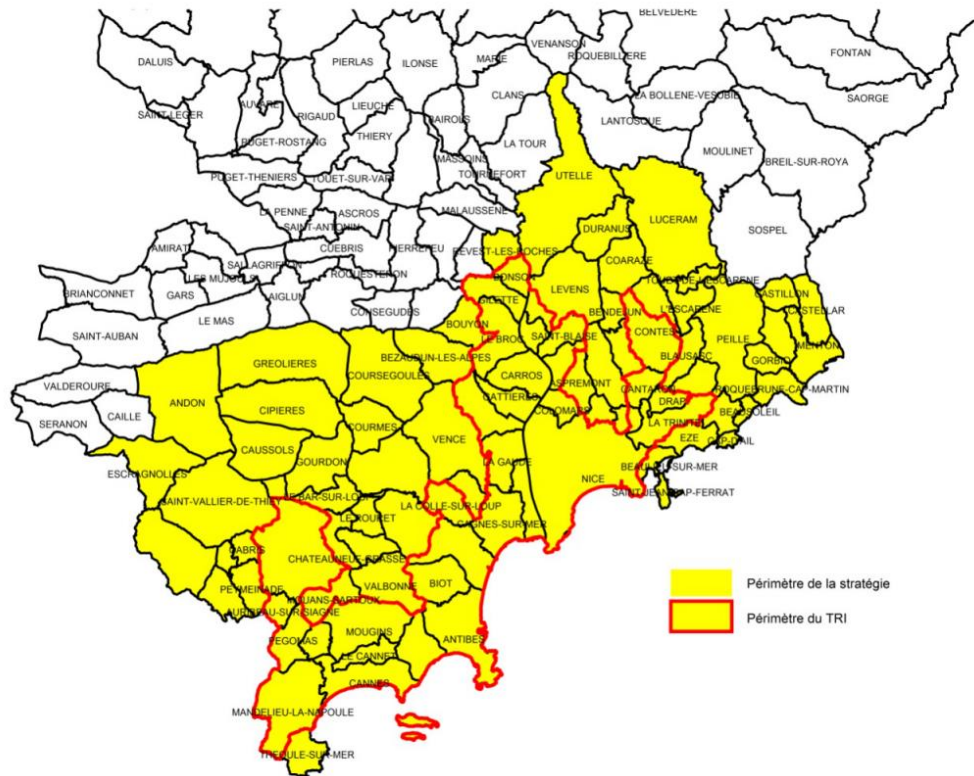


Figure 22: Périmètre du TRI Nice-Cannes-Mandelieu (source : Département des Alpes Maritimes, 2016)

Voici les différents objectifs de la SLGRI sur la période 2016-2021 (source : Département des Alpes Maritimes, 2016) :

- ❖ **Objectif N°1** : Améliorer la prise en compte du risque d'inondation et de ruissellement urbain dans l'aménagement du territoire et l'occupation des sols
- ❖ **Objectif N°2** : Améliorer la prévision des phénomènes hydrométéorologiques et se préparer à la crise
- ❖ **Objectif N°3** : Poursuivre la restauration des ouvrages de protection et favoriser les opérations de réduction de l'aléa
- ❖ **Objectif N° 4** : Améliorer la perception et la mobilisation des populations face au risque inondation
- ❖ **Objectif N°5** : Fédérer les acteurs du TRI Nice-Cannes-Mandelieu autour de la gestion du risque inondation



## Annexe 3 : Territoire du SMIAGE



Figure 23: Localisation du territoire du SMIAGE et de ses membres (source : interne)



## Annexe 4 : Outils hydrométéorologiques et de gestion de crise mis en place par le SMIAGE

Tableau XIV: Liste non exhaustive des outils mis en place par le SMIAGE pour l'appui à la prévision des risques hydrométéorologiques et à la gestion de crise

Outils mis en place par le SMIAGE		
Catégorie	Intitulé	Objectifs
Outils de surveillance météorologique	<i>Lancement de marchés publics d'instrumentation des bassins versants (pluviomètres à impact et à auget)</i>	<i>Suivi pluviométrique en différents points des bassins versants du territoire du SMIAGE. Constitution d'un réseau de mesures au sol.</i>
	<i>Intégration de la Plateforme RAINPOL développée par la société NOVIMET</i>	<i>Accès à des données météorologiques à partir de 3 radars couvrant l'ensemble du territoire du SMIAGE. Permet accès aux intensités pluvieuses (pas de 5 min), aux cumuls pluviométriques (horaire, 6h, 12h et journalier) et possède un module de prévision immédiate (translation des cellules pluvieuses selon le flux dominant sans évolution de l'activité pluvieuse).</i>
	<i>Définition de seuils pluviométriques pertinents sur les pluviomètres virtuels de la Plateforme RAINPOL et sur les pluviomètres au sol</i>	<i>Analyse de franchissement de seuils pluviométriques prédéfinis (seuils de vigilance, pré-alerte, alerte, débordement) pour déploiement de mesures d'intervention communales en adéquation avec la crise à gérer</i>
	<i>Convention avec Météo France</i>	<i>Accès aux données des modèles météorologiques et à une expertise humaine des prévisionnistes de Météo France par l'intermédiaire de l'envoi des Bulletin Précipitation (BP) et des MeteoFlash</i>
	<i>Module de prévision hydrologique à l'aide de modèles Pluie-Débit intégrés dans la plateforme RAINPOL (valable pour certains bassins versants uniquement)</i>	<i>Objectif d'augmenter le délai d'anticipation en traduisant les prévisions pluviométriques en potentielles conséquences hydrologiques</i>
Outils de surveillance hydrologique	<i>Lancement de marchés publics d'instrumentation des bassins versants (échelles limnimétriques, radars, sonde de pression et caméra de levée de doute)</i>	<i>Constitution d'un réseau de stations hydrométriques pour le suivi de la réaction hydrologique des cours d'eau surveillé</i>
	<i>Acquisition de matériels de jaugeage (crue et étiage) : moulinet et ADCP StreamPro 2000 kHz + formations des agents du SMIAGE + création protocole de jaugeage + fiche sites à jauger par bassin versant</i>	<i>Création de courbe de tarage pour établir une relation hauteur/débit au droit des stations hydrométriques implantées sur le territoire du SMIAGE</i>  <i>Effectuer des jaugeages en crue sur des secteurs importants pour la gestion de la crise inondation</i>

Catégorie	Intitulé	Objectifs
Outils de surveillance hydrologique	Définition de seuils hydrologiques pertinents en hauteur d'eau et/ou en débit pour la gestion de crise	Analyse de franchissement de seuils hydrologiques prédéfinis (seuils de vigilance, pré-alerte, alerte, débordement) pour déploiement de mesures d'intervention communales en adéquation avec la crise à gérer
	Module de prévision hydrologique à l'aide de modèles Pluie-Débit intégrés dans la plateforme RAINPOL (valable pour certains bassins versants uniquement)	Objectif d'augmenter le délai d'anticipation en traduisant les prévisions pluviométriques en potentielles conséquences hydrologiques
Outils de conseils et d'assistance hydrométéorologique	Développement d'une interface globale de supervision (en cours) + dispositif d'envoi de SMS lors de franchissement de seuils pluviométriques/hydrologiques	<p>Synthétiser les informations essentielles à la gestion de crise en une interface unique pour permettre aux agents du SMIAGE et aux membres une prise de décision pertinente.</p> <p>Des informations telles que le suivi temps réel des niveaux de surveillance sur les cours d'eau d'intérêt, via les données de stations de mesure et caméras existantes sur le territoire sont fournies à partir de ce service</p>
	Encadrement d'un service d'assistance pour les risques hydrométéorologiques : marché public SMIAGE-Membres-entreprise PREDICT-Services	<p>Permettre à l'ensemble des maires du territoire du SMIAGE d'obtenir des services d'assistance à la prévision des risques hydrométéorologiques (Expertise PREDICT-Service) et d'alerte des populations (outil GEDICOM) pour leurs besoins propres et sous leur responsabilité</p> <p>Réalisation d'exercices de gestion de crise inondation à l'échelle de bassin versant afin de tester les dispositifs mis en place (communaux et interne), et d'identifier des dysfonctionnements dans la chaîne d'alerte</p> <p>Mise en place de l'outil GECOS (en cours), visant à aider les communes via un service de main courante numérique et de cartographie dynamique</p>
	Mise en place d'un système d'astreinte 24h/24h, 7j/7j dont les actions sont définies dans le Règlement Général d'Astreinte (RGA), avec une déclinaison par bassin versant (en cours) dans le Règlement d'Astreinte (RA)	<p><b>Accompagner les communes en :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assurant la continuité permanente de la surveillance hydrométéorologique et des aménagements hydrauliques</li> <li>- Fournissant un bulletin de vigilance ou d'alerte sur la situation hydrométéorologique à partir de la synthèse des informations disponible</li> <li>- Réalisant la transmission d'informations entre les Services de l'Etat et les Communes</li> <li>- Intervenant sur les ouvrages gérés par le SMIAGE (martelières, bassin de rétention, etc...)</li> </ul>

## Annexe 5 : Organigramme du SMIAGE

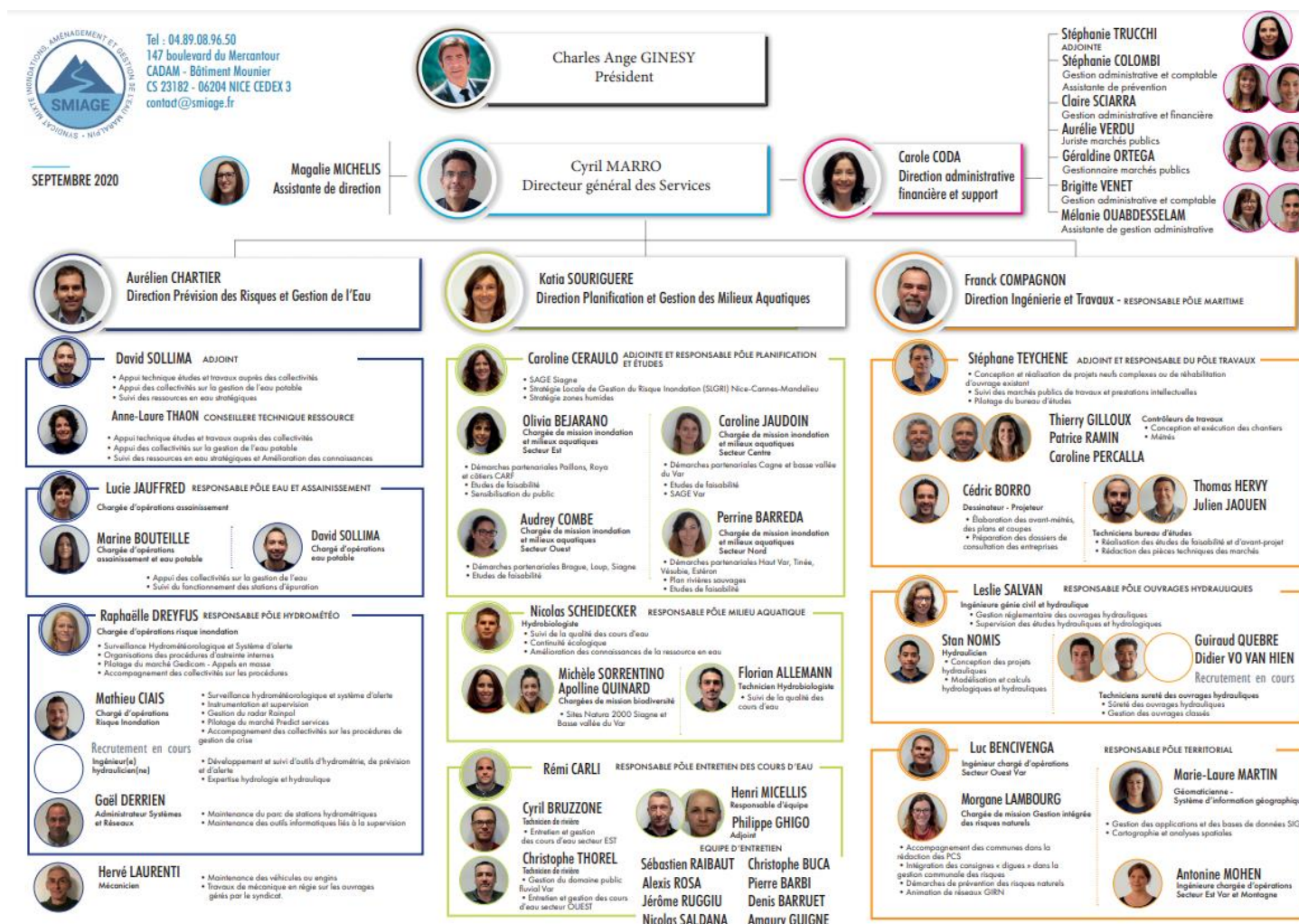


Figure 24: Organigramme du SMIAGE (source : <https://www.smiage.fr/qui-sommes-nous/>)



## Annexe 6 : Localisation des sections transversales de l'approche géométrique

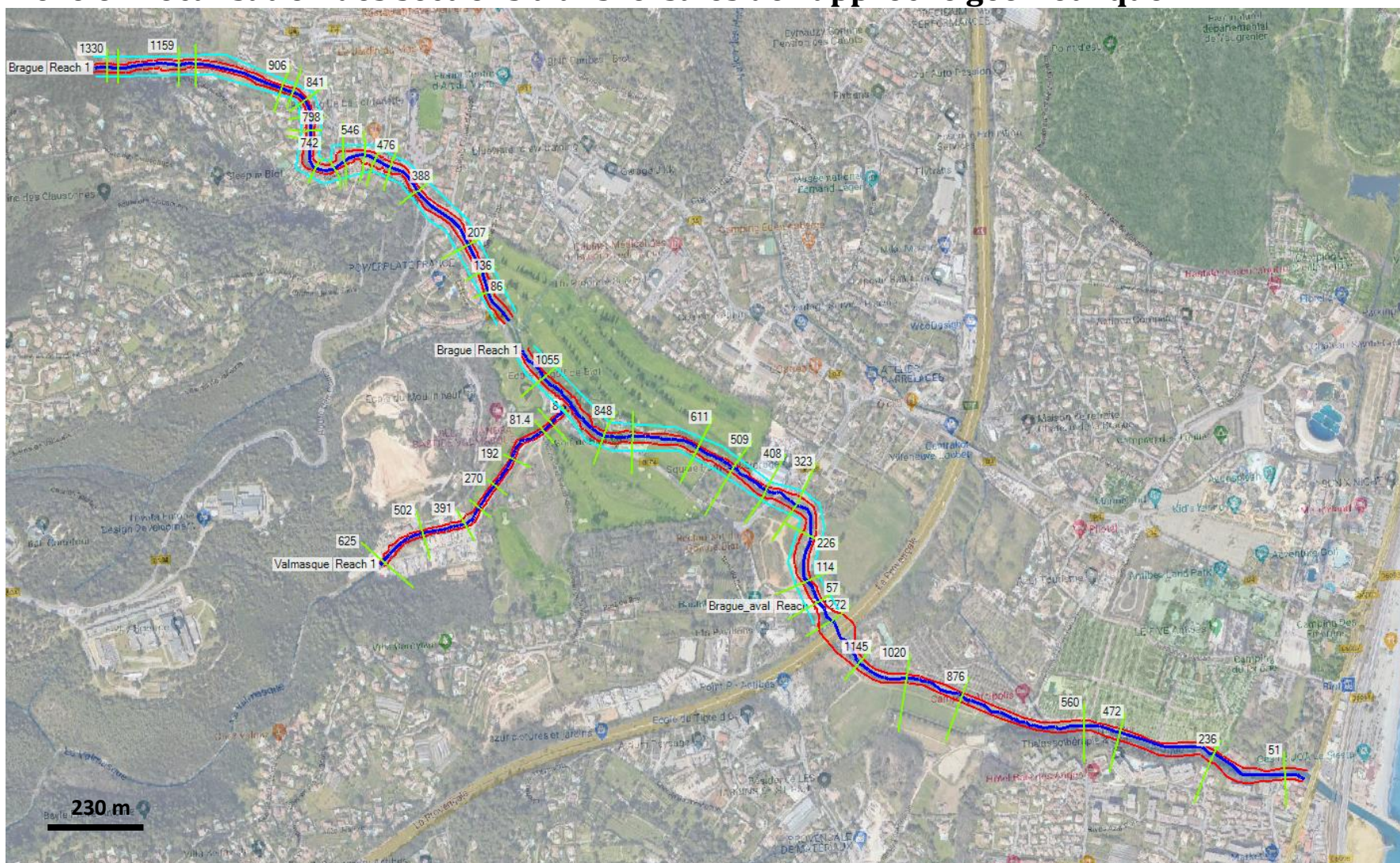


Figure 25: Localisation des sections transversales pour l'approche géométrique (source: module RAS MAPPER / HEC RAS)



**POLYTECH**  
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS  
37200 TOURS

Médéric JOLY  
2019-2020

## **Détermination de seuils hydrologiques sur des cours d'eau du territoire du SMIAGE**

**Résumé** : Les missions confiées durant ce stage de fin d'études (6 mois – 2 mars au 28 août 2020), s'inscrivent dans le cadre de l'amélioration de la surveillance hydrométéorologique des bassins versants de la Brague et du Loup. La détermination de seuils hydrologiques permet au SMIAGE d'appuyer ses membres pour le déploiement de mesures d'intervention communales lors d'une gestion de crise inondation.

**Mots Clés** : Gestion de crise, Hydrométrie, Seuils d'alerte, Stations hydrométriques, Risques hydrométéorologiques, Surveillance

SMIAGE  
147 boulevard du Mercantour,  
06204 NICE

### **Tuteur entreprise :**

Mr Aurélien CHARTIER  
Direction de Pôles

### **Tuteur académique :**

Mr Stéphane RODRIGUES