



## Étude d'aide à la détermination d'un débit minimum biologique sur le Ru de Fauge (13)



**Rapport ECOGEA E210619**

**Rédacteurs : P. BARAN et M. CHEFSON**

**ECOGEA**  
ETUDES ET CONSEILS EN GESTION  
DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE  
352, avenue Roger Tissandé  
31 600 MURET  
Tél : 05 62 20 98 24  
ecogea@wanadoo.fr  
www.ecogea.fr

**Version 4**  
**Décembre 2022**



## Table des matières

<b>1. Obligations réglementaires et démarche d'étude</b>	<b>6</b>
1.1. Contexte réglementaire	6
1.2. La démarche d'étude	6
<b>2. Contexte général du cours d'eau</b>	<b>7</b>
2.1. Contexte géologique et hydrographique	7
2.1.1. <i>Géologie</i>	7
2.1.2. <i>Hydrographie et usages</i>	9
2.1. État de la masse d'eau superficielle	13
2.2. Habitats et espèces remarquables	14
2.3. Contexte piscicole	15
2.3.1. <i>Situation du peuplement piscicole du Fauge</i>	15
2.3.2. <i>Exigences écologiques des espèces piscicoles et choix des espèces cibles</i>	16
2.3.3. <i>Bilan des enjeux écologiques par tronçon</i>	17
<b>3. Contexte morphologique et choix de stations d'étude</b>	<b>18</b>
3.1. Méthodologies	18
3.2. Contexte morphologique	18
3.2.1. <i>Succession des faciès d'écoulement</i>	20
3.2.2. <i>Caractéristiques naturelles et anthropiques des habitats</i>	21
3.2.3. <i>Bilan morphologique du Fauge</i>	24
3.2.4. <i>Cascades</i>	24
3.2.5. <i>Choix des stations pour l'étude de la sensibilité des habitats</i>	25
<b>4. Caractérisation de l'hydrologie</b>	<b>28</b>
4.1. Objectifs	28
4.2. Méthodologies de caractérisation de l'hydrologie	28
4.2.1. <i>Données disponibles</i>	28
4.2.2. <i>Mesures et suivis sur le terrain</i>	28
4.2.3. <i>Analyse des données</i>	32
4.3. Contexte hydrologique général	33
4.3.1. <i>Analyse de l'hydrologie de la source de St-Pons</i>	33
4.3.2. <i>Analyse de l'évolution des débits sur le linéaire du Fauge</i>	39
4.4. Suivis en continu des hauteurs d'eau du Fauge en 2021	48
4.4.1. <i>Hauteurs d'eau moyennes mensuelles</i>	50
4.4.2. <i>Hauteurs d'eau moyennes hebdomadaires</i>	50
4.4.3. <i>Hauteurs d'eau moyennes journalières</i>	51
4.4.4. <i>Variations horaires des hauteurs d'eau</i>	53
4.4.5. <i>Bilan des suivis de hauteurs d'eau du Fauge</i>	53
4.5. Bilan de l'analyse des débits du Fauge	54
<b>5. Caractérisation du régime de température de l'eau</b>	<b>56</b>
5.1. Méthodologies	56
5.1.1. <i>Instrumentation du cours d'eau</i>	56
5.1.2. <i>Analyse des données</i>	56
5.2. Évolution des températures du Fauge	56
5.2.1. <i>Situation en 2021</i>	56
5.2.2. <i>Variations sur 3 années de suivi (2019-2021)</i>	61
5.2.3. <i>Compatibilité du régime thermique avec les exigences des espèces de poissons.</i>	63

5.2.4.	<i>Bilan des régimes thermiques du Fauge</i>	64
<b>6.</b>	<b>Usages de la ressource en eau</b>	<b>65</b>
6.1.	Contexte de gestion	65
6.2.	Les différents usages de la ressource	65
6.3.	Le canal des Arrosants	67
6.4.	Bilan du fonctionnement du canal des Arrosants	69
6.5.	L'eau au cœur des paysages du vallon	69
<b>7.</b>	<b>Détermination du débit minimum biologique du Fauge</b>	<b>70</b>
7.1.	Rappels des enjeux associés au débit minimum biologique du Fauge	70
7.1.1.	<i>Enjeux du vallon</i>	70
7.1.2.	<i>Rappels des choix des espèces cibles</i>	70
7.1.3.	<i>Rappels des enjeux par tronçons</i>	71
7.2.	Méthodologie de caractérisation de la sensibilité des habitats aquatiques au débit	71
7.2.1.	<i>Choix des méthodologies de caractérisation des habitats</i>	72
7.2.2.	<i>Application du protocole EVHA-Telemac2D</i>	72
7.2.3.	<i>Mesures sur le terrain</i>	73
7.2.4.	<i>Modélisation numérique 2D</i>	75
7.2.5.	<i>Calcul des quantités d'habitats disponibles</i>	77
7.3.	Sensibilité des habitats aquatiques au débit du Fauge	79
7.3.1.	<i>Évolution des paramètres hydrauliques</i>	79
7.3.2.	<i>Hauteur d'eau et vitesse moyenne</i>	80
7.3.3.	<i>Lame d'eau minimale pour la migration des poissons</i>	81
7.3.4.	<i>Évolution de l'habitat piscicole disponible en fonction du débit</i>	81
<b>8.</b>	<b>Analyse des risques, définition de débit minimum biologique et scénario de débit réservé</b>	<b>86</b>
8.1.	Analyses des risques	86
8.2.	Définition du débit minimum biologique	87
8.3.	Proposition de scénario de débit réservé	87
8.3.1.	<i>Identification des périodes de fortes tensions hydrologiques</i>	87
8.4.	Propositions de scénario de débit réservé	94
8.4.1.	<i>Définition de points « nodaux » de contrôle du débit réservé</i>	94
8.4.2.	<i>Définition de périodes de vigilance de gestion</i>	95
8.4.3.	<i>Propositions de débit réservé</i>	95
8.5.	Bilan des propositions	96
8.6.	Préconisations pour la mise en œuvre de la gestion et des débits réservés	96
8.6.1.	<i>Fauge amont</i>	96
8.6.2.	<i>Fauge aval – Prise d'eau des Palettes</i>	97
8.6.3.	<i>En aval de Gémenos</i>	98
8.6.4.	<i>Dans le canal</i>	98
8.7.	Points de surveillance et d'étude complémentaires	99
<b>9.</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>100</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Comparaison des abondances observées sur le Fauge en aval de Gémenos en 2011 et 2018 avec les références associées au niveau typologique de la rivière.....	16
Figure 2 : Représentativité des différents faciès d'écoulement des tronçons sectorisés du Fauge.....	21
Figure 3 : Représentativité des différents faciès d'écoulement des stations d'études et du tronçon morphologique associé sur le Fauge.....	27
Figure 4 : Exemple d'identification des volumes d'eau écoulés en étiage.....	32
Figure 5 : Débits moyens mensuels de la source de St-Pons.....	33
Figure 6 : Courbe des débits classés du Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos.....	34
Figure 7 : Débits moyens mensuels à la source de Saint-Pons à Gémenos (Y4425010) et pluviométries mensuelles à Aubagne (13005003) pour la période 1997-2021 (Données : Banque HYDRO et Météo France).....	35
Figure 8 : Corrélation entre le débit à la source de Saint-Pons pendant l'étiage de juillet-août en fonction de la pluviométrie cumulée entre janvier et mai à la station d'Aubagne.....	36
Figure 9 : Évolution des débits moyens interannuels et projection des moyennes mobiles sur 3 ans sur le Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos.....	37
Figure 10 : Évolution des débits mensuels d'étiage et projection des moyennes mobiles sur 3 ans sur le Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos.....	38
Figure 11 : Évolution par périodes de 5 ans des déficits de volume en étiage ainsi que des durées d'étiage sur le Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos (donnée manquante entre 2012 et 2016).....	39
Figure 12 : Évolution des débits du Fauge depuis la source jusqu'en aval de Gémenos avec le canal en fonctionnement (2 prises d'eau le 09/06 et 1 seule (PE amont) le 15/11).....	42
Figure 13 : Évolution des débits du Fauge depuis la source jusqu'en aval de Gémenos sans fonctionnement du canal.....	43
Figure 14 : Hauteur d'eau moyenne mensuelle normée.....	50
Figure 15 : Hauteur d'eau moyenne hebdomadaire normée et débit moyen hebdomadaire à la source de Saint-Pons.....	51
Figure 16 : Hauteur d'eau moyenne quotidienne normée et pluviométrie quotidienne à Aubagne.....	51
Figure 17 : Débit moyen journalier du Fauge à la source de St-Pons et en aval de Gémenos comparée à la pluviométrie quotidienne à Aubagne.....	52
Figure 18 : Hauteur instantanée (30min) normée.....	53
Figure 19 : Hauteur instantanée (30min) à la sonde 4 en aval du canal de la SEM sur une période de 3 jours.....	53
Figure 20 : Température moyenne mensuelle.....	58
Figure 21 : Température moyenne hebdomadaire.....	59
Figure 22 : Température moyenne journalière.....	59
Figure 23 : Température instantanée (30 min) de début juillet à fin août.....	60
Figure 24 : Zoom sur les hauteurs d'eau des sondes en aval du canal de la SEM et la sonde de la température de l'air.....	60
Figure 25 : Cumul mensuel des assecs détectés en 2021 en aval du Fauge.....	61
Figure 26 : Évolution des températures quotidiennes depuis 2019 sur la sonde FAU02 situé au parking de St-Pons et la sonde FAU01 situé en aval du canal de la SEM.....	62
Figure 27 : Évolution des températures mensuelles depuis 2019 sur la sonde FAU02 situé au parking de St-Pons et la sonde FAU01 situé en aval du canal de la SEM.....	62
Figure 28 : Moyenne mensuelle des assecs détectée entre 2019 et 2021 en aval du Fauge.....	63
Figure 29 : Évolution des débits dans le canal des Arrosants et dans le Fauge le 09/06/2021 et le 15/11/2021.....	67
Figures 30 et 31 : Évolution de la surface mouillée en fonction du débit transitant dans les 2 stations.....	79
Figure 32 et 33 : Évolution de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne en fonction du débit transitant dans le Fauge sur les stations amont et aval.....	80
Figures 34, 35, 36 et 37 : Hauteur d'eau < seuil ICE de 5 cm sur les 2 stations d'étude.....	81
Figure 38 et 39 : Évolution de la SPU totale et normée de la truite à la station d'étude amont en fonction du débit.....	83
Figure 40 : Évolution des surfaces d'habitat favorable aux plécoptères sur la station amont ( <i>Dinocras cephalotes</i> ).....	82
Figures 41 et 42 : Évolution de la SPU totale et normée du blageon à la station d'étude amont en fonction du débit.....	84
Figure 43 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques modérés (DMB non respecté) en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.....	89
Figure 44 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques forts en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.....	90
Figure 45 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques modérés (DMB non respecté) en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.....	92
Figure 46 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques forts en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.....	93
Figures 47 et 48 : Évolution des hauteurs d'eau au 4 sondes de niveau lors de 2 événements orageux (5 mm le 04/07/2021 et 13 mm le 26/09/2021).....	99

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques et objectifs au niveau de la masse d'eau du Fauge concernée par l'étude (source : <a href="https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr">https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr</a> ).....	13
Tableau 2 : Synthèse des éléments entrant dans la détermination de l'état global de la masse d'eau FRDR11882 (source : <a href="https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr">https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr</a> ).....	13
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des espèces identifiées lors des échantillonnages réalisés sur le Fauge.....	15
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des densités de truites arc-en-ciel pour les stations amont du Fauge.....	15

Tableau 5 : Récapitulatif des exigences écologiques des espèces de poissons rencontrées sur le Fauge au niveau du secteur d'études.....	16
Tableau 6 : Récapitulatif des statuts de protection des espèces de poissons rencontrées sur le Fauge au niveau du secteur d'études.....	17
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des tronçons morphologiques sur la partie sectorisée du Fauge .....	20
Tableau 8 : Caractéristiques générales de la station d'étude amont .....	26
Tableau 9 : Caractéristiques générales de la station d'étude aval.....	26
Tableau 10 : Tableau récapitulatif des sondes installées par Ecogea sur le Fauge .....	30
Tableau 11 : Débits caractéristiques du Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos (1997-2021) (données : banque HYDRO).....	33
Tableau 12 : Volumes d'eau écoulés à la source de Saint-Pons à Gémenos (1997-2021) (données : banque HYDRO). .....	34
Tableau 13 : Déficit en volume d'eau par rapport au seuil d'étiage du Q <sub>15</sub> à la source de Saint-Pons à Gémenos. ....	37
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des débits mesurés dans le Fauge aux différentes campagnes de mesure. ....	40
Tableau 15 : Tableau récapitulatif des sondes de suivi de la température installées par la FDAAPPMA 13 et par ECOGEA sur le Fauge.....	56
Tableau 16 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de températures issues des données des sondes installées le long du Fauge en 2021 .....	58
Tableau 17 : Tolérance thermique au stade adulte de différentes espèces piscicoles. ....	63
Tableau 18 : Tolérance thermique au stade juvénile de différentes espèces piscicoles.....	64
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des débits mesurés dans le canal aux différentes campagnes de mesure.....	67
Tableau 20 : Périodes du cycle biologique de la truite (blanc : non concerné, rouge : sensible, bleu : très sensible). ....	70
Tableau 21 : Bilan de la sensibilité potentielle des différents tronçons du Fauge vis-à-vis du débit d'étiage. ....	71
Tableau 22 : Caractéristiques de la station d'étude.....	73
Tableau 23 et 24 : VHA de la station amont aux débits caractéristiques.....	82
Tableau 25 : Niveaux de risques relatifs aux pertes de surfaces mouillées .....	86
Tableau 26 : Niveaux de risques relatifs à la perte de hauteur d'eau.....	86
Tableau 27 : Niveaux de risques relatifs aux habitats piscicoles en fonction du débit.....	87
Tableau 28 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera <DMB selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s.....	89
Tableau 29 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera < au seuil de risque fort (30 l/s) selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s. ....	91
Tableau 30 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera < au DMB selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s.....	92
Tableau 31 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera < seuil de risque fort (30 l/s) selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s. ....	94
Tableau 32 : Propositions de modulation de débit réservé.....	96

## LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : Carte géologique bassin du Fauge ( <a href="https://infoterre.brgm.fr/">https://infoterre.brgm.fr/</a> ) .....	8
Planche 2 : Bassin versant de l'Huveaune et du Fauge. ....	10
Planche 3 : Situation géographique du Fauge et du canal des Arrosants. ....	11
Planche 4 : Situation géographique du Fauge, du canal des Arrosants et des principaux lieux particuliers.....	12
Planche 5 : Visualisation des tronçons sectorisés du Fauge le 09/06/2021 .....	20
Planche 6 : Niveau d'artificialisation le long du Fauge.....	24
Planche 7 : Vue d'ensemble du site d'étude, de l'emplacement des mesures de débit effectuées et des sondes de niveaux installées.....	31
Planche 8 : Vue d'ensemble du site d'étude, de l'emplacement des mesures de débit effectuées et des sondes de niveaux installées.....	41
Planche 9 : Détail des débits et des apports sur le Fauge amont le 09/06/2021. ....	42
Planche 10 : « Circulations » d'eau au niveau de la source. ....	45
Planche 11 : Prélèvements d'eau sur le Fauge en aval de Gémenos. ....	48
Planche 12 : Vue d'ensemble du site d'étude et de l'emplacement des sondes de niveaux installées. ....	49
Planche 13 : Vue d'ensemble du site d'étude et de l'emplacement des sondes de température installées.....	57
Planche 14 : Vue d'ensemble du canal des Arrosants et des prises d'eau.....	66
Planche 15 : Vue d'ensemble du site d'étude, de l'emplacement des mesures de débit effectuées. ....	68
Planche 16 : Schéma de mise en œuvre et d'application de l'outil EVHA sur une station d'étude pour évaluer la sensibilité du potentiel d'habitat piscicole à la valeur de débit d'une station d'étude .....	73
Planche 17 : Vue en plan des relevés de points topographiques et de ligne d'eau aux deux stations (ST1 amont et ST2 aval). ....	74
Planche 18 : Maillage utilisé pour la station aval et la station amont (référentiel altitudinal fictif établi à 1000 pour chaque station) .....	75
Planche 19 : Zonage du coefficient de frottement pour le modèle du Fauge station amont .....	76
Planche 20 : Principe de calculs de la méthode des microhabitats, figure extraite du guide méthodologique d'EVHA (Ginot <i>et al.</i> , 1998) avec $SPU_i = Surf(i) \times P(vi) \times P(hi) \times P(si)$ , c'est-à-dire Surface Pondérée Utile de la cellule i égale Surface de la cellule i multipliée par la Préférence de l'espèce cible pour la Vitesse, multipliée par la Préférence de l'espèce cible pour la Hauteur, multipliée par la Préférence de l'espèce cible pour le Substrat. ....	77

## PRÉAMBULE

Le cabinet d'étude ECOGEO a conduit des investigations sur le Ru de Fauge dans le cadre d'une étude de détermination du débit minimum biologique au droit des ouvrages de dérivation pour l'alimentation du canal des Arrosants sur la commune de Gémenos. Ce travail a été réalisé pour le compte de la Fédération départementale des AAPPMA des Bouches-du-Rhône.

**Il a pour objectif de définir la ou les valeurs de débit minimal dans le cours d'eau garantissant le maintien des habitats aquatiques des espèces à enjeux, ceci dans le respect des équilibres de gestion des usages.**

Le travail a porté sur :

- ✓ Une caractérisation des enjeux de biodiversité associés aux habitats aquatiques du ruisseau,
- ✓ une reconnaissance morphodynamique du cours d'eau permettant de caractériser les successions de faciès d'écoulement et de positionner les stations d'études ;
- ✓ une campagne de mesure et d'analyse de données permettant de définir le contexte morphologique et surtout hydrologique ;
- ✓ la mise en œuvre de la méthode des microhabitats adaptée avec un modèle hydraulique 2D afin de caractériser la sensibilité des habitats aquatiques au débit du cours d'eau ;
- ✓ la définition de seuils de risque associé à des valeurs de débit réservé et de préconisations adaptées au contexte du Fauge.

Le présent rapport s'articule en 7 parties distinctes :

- ✓ le rappel du contexte réglementaire,
- ✓ le contexte général du cours d'eau,
- ✓ le contexte morphologique,
- ✓ le contexte hydrologique,
- ✓ le contexte thermique,
- ✓ la présentation des usages,
- ✓ la détermination des débits minimums biologiques,
- ✓ les propositions de débit réservé et de gestion des prélèvements.

# 1. OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES ET DÉMARCHE D'ÉTUDE

## 1.1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le contexte réglementaire de la présente étude repose sur :

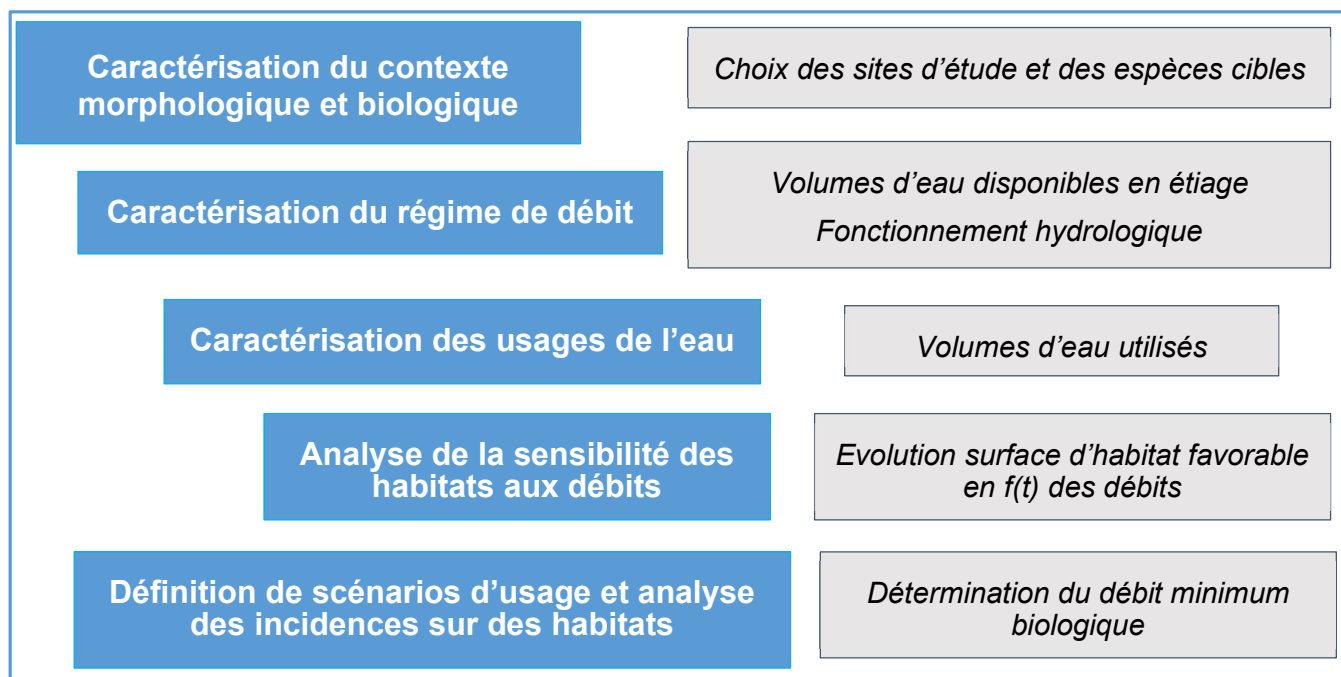
- les obligations relatives à l'atteinte ou au maintien du bon état écologique des masses d'eau au titre de la Directive Cadre sur l'Eau et conformément aux orientations et objectifs fondamentaux du SDAGE<sup>1</sup> du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse,
- l'obligation liée à l'article L.214-18 du code de l'environnement et faite à tout ouvrage prélevant et/ou dérivant les eaux d'un cours d'eau à maintenir en tout temps dans le cours d'eau un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivantes dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. Ce débit est défini comme le débit minimum biologique.

La circulaire du 5 juillet 2011 précise les conditions d'application de cet article. Elle indique notamment : « *Le débit minimum biologique doit être déterminé sur la base d'une étude spécifique dans le cadre de la procédure d'autorisation ou de concession, de renouvellement du titre.* »

Les études spécifiques à conduire pour la détermination du débit minimum biologique ont été précisées dans l'annexe de la circulaire du 5 juillet 2021 dédiée aux méthodes d'aide à la détermination du débit minimum biologique (Baran, 2010) ainsi que dans le guide édité par le CRESEB (Baran *et al.*, 2015) et dans une publication scientifique (Lamouroux *et al.*, 2018).

## 1.2. LA DÉMARCHE D'ÉTUDE

La démarche d'étude pour la détermination d'un débit minimum biologique repose sur plusieurs étapes de travail.



<sup>1</sup> Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux



## **2. CONTEXTE GÉNÉRAL DU COURS D'EAU**

---

### **2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE**

#### **2.1.1. GÉOLOGIE**

La géologie du bassin du Fauge est constituée d'un ensemble de roches calcaires d'agencement complexe. On ne dénombre pas moins de 31 formations géologiques. En amont, les calcaires du Jurassique dominant (Tithonien, Kimméridgien, Bajocien) tandis que dans la partie médiane, ce sont les calcaires du crétacé (Barrémien et Valanginien). En aval, le Fauge traverse un vaste cône de déjection.

L'ensemble de ces roches forment un milieu hétérogène vis-à-vis de l'écoulement des eaux souterraines. Elles sont affectées par une intense fracturation reprise par la karstification verticale et horizontale qui constitue un ensemble d'aquifères complexes tant au niveau des écoulements que des volumes stockés. La source de St-Pons qui alimente le Fauge est un exemple de ces écoulements karstiques complexes. Des traçages à partir du gouffre d'Escandaou ont permis d'identifier une partie de son alimentation, mais les restitutions restent faibles. Le fonctionnement très tamponné de la source indique un réservoir de taille importante. Source : (Les travertins du vallon de Saint Pons à Gémenos, 1986, Philippe, Martin).



### 2.1.2. HYDROGRAPHIE ET USAGES

Le Fauge est un cours d'eau de 10.5 kms de long environ qui prend sa source dans la forêt de Saint Pons à 800 m d'altitude. Il appartient au bassin de l'Huveaune, fleuve côtier méditerranéen.

Il coule dans une vallée fluviokarstique composée d'un bassin amont de très forte pente dominé par l'escarpement majeur du pic de Bretagne (1042m). On retrouve ensuite un vallon médian à fond plus plat puis un cône de déjection à l'aval de Gémenos jusqu'à la confluence entre le Fauge et l'Huveaune à Aubagne.



**Photo 1 : Vue du bassin versant amont du Fauge sous le pic de Bretagne.**

En termes d'écoulement, le Fauge présente un écoulement temporaire sur les 3 premiers kms de son parcours jusqu'à l'Abbaye de St-Pons. À partir de là, la source de St-Pons assure des écoulements pérennes jusqu'en aval de Gémenos. Le Fauge ne reçoit pas d'affluents pérennes. Le canal des Arrosants dérive une partie des eaux du Fauge par l'intermédiaire de 2 prises d'eau : La prise d'eau Cabrelle au moulin de Gémenos et la prise d'eau des palettes. Sa longueur totale est de 3.5 kms auquel il faut ajouter une 2<sup>ème</sup> branche dans Gémenos de 1 km.

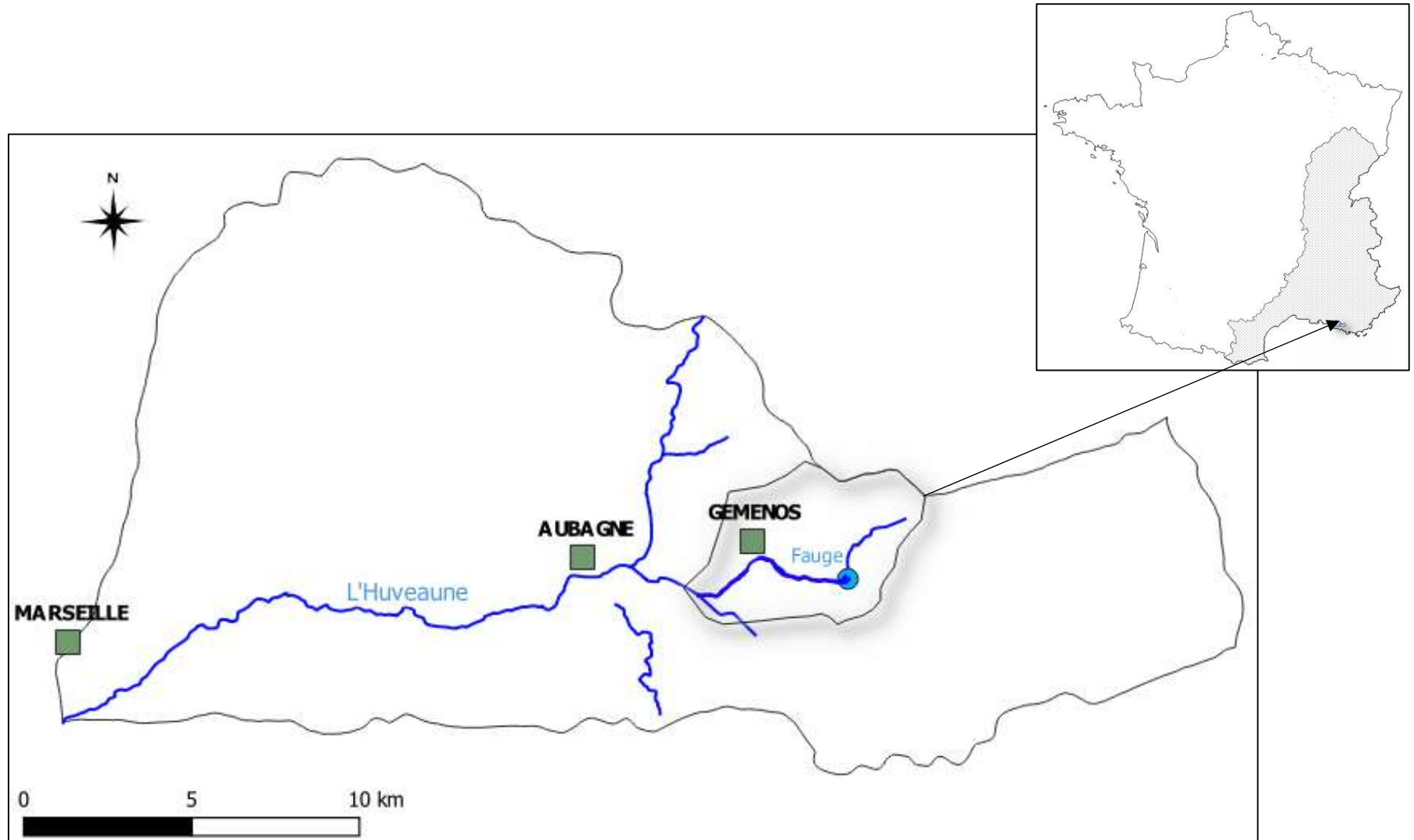


Planche 2 : Bassin versant de l'Huveaune et du Fauge.

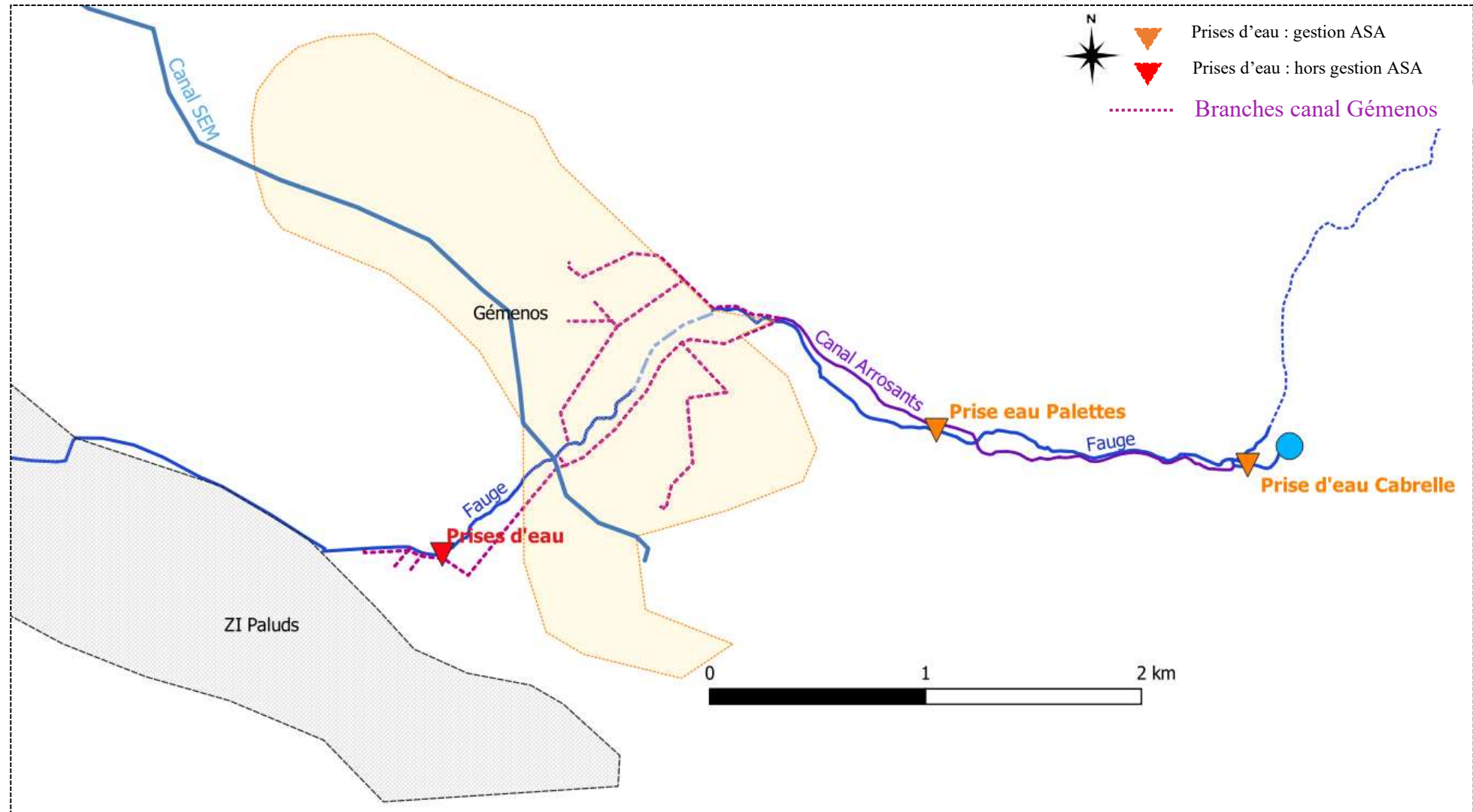


Planche 3 : Situation géographique du Fauge et du canal des Arrosants.

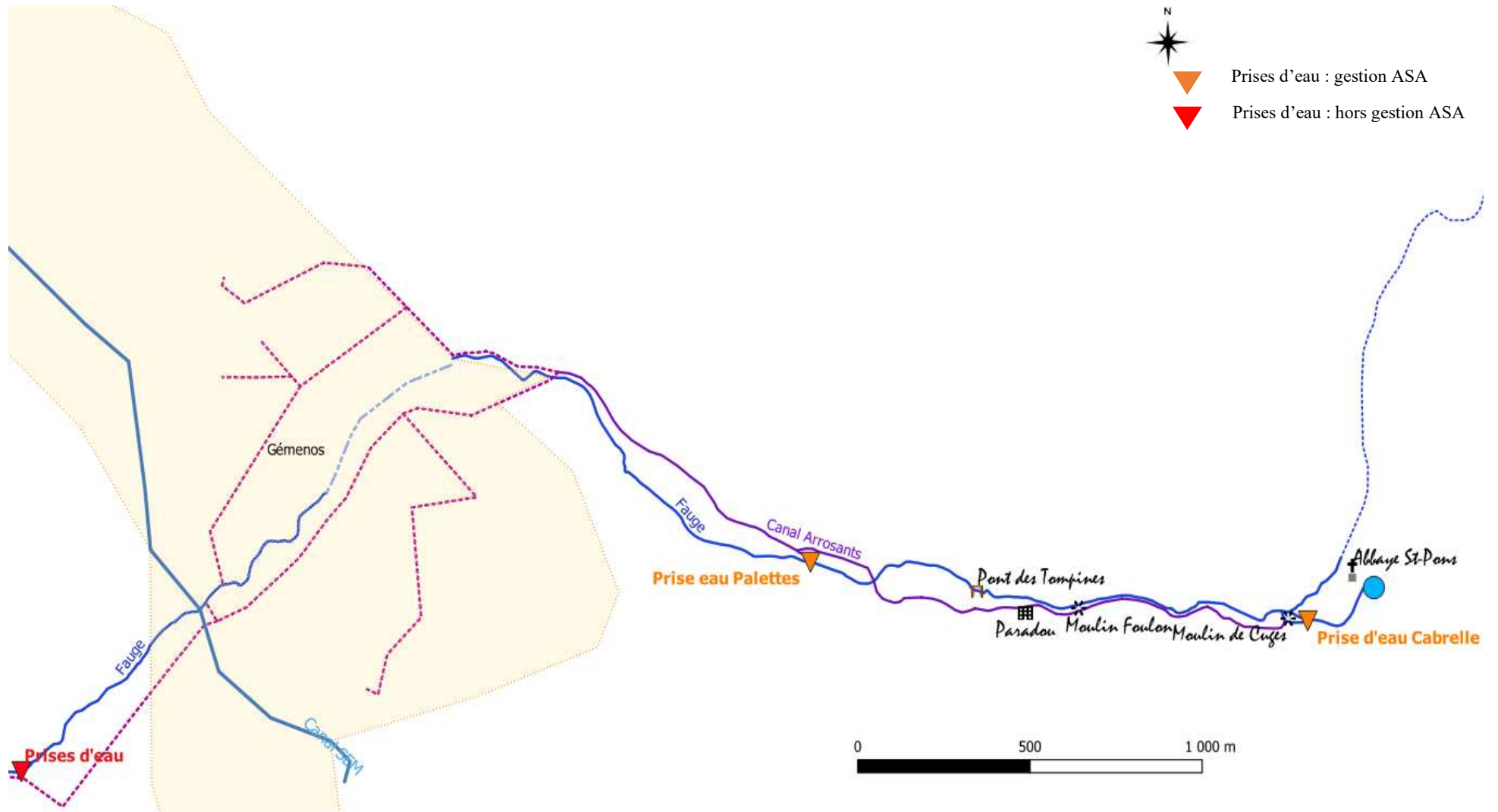


Planche 4 : Situation géographique du Fauge, du canal des Arrosants et des principaux lieux particuliers.

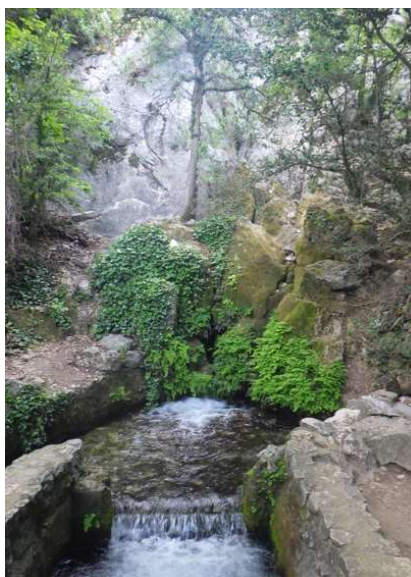


Photo 2 : Vue de la source de St-Pons.

## 2.1. ÉTAT DE LA MASSE D'EAU SUPERFICIELLE

Le Fauge appartient à la masse d'eau FRDR11882 « Torrent du Fauge ». Les tableaux suivants synthétisent les états écologiques et chimiques de cette masse d'eau ainsi que les objectifs du SDAGE 2016-2021. Les états écologiques et chimiques ont été établis à partir de la station n° 06198501 – Torrent du Fauge à Gémenos.

**Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques et objectifs au niveau de la masse d'eau du Fauge concernée par l'étude (source : <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr>)**

<b>Cours d'eau</b>	Le Fauge
<b>Masse d'eau</b>	Torrent du Fauge
<b>Type</b>	Naturelle

**Tableau 2 : Synthèse des éléments entrant dans la détermination de l'état global de la masse d'eau FRDR11882 (source : <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr>)**

	ETAT ÉCOLOGIQUE	Physico-chimie	Biologie
2016	Moyen	Bon	Moyen
2017	Moyen	Bon	Moyen
2018	Moyen	Bon	Moyen
2019	Médiocre	Bon	Médiocre
2020		Bon	

Au sens de la DCE, l'état écologique du Fauge est « Moyen » entre 2016 et 2018 puis « Médiocre » en 2019, le paramètre déclassant étant la biologie à travers l'indice biologique macro-invertébré.

L'état chimique est « bon » depuis 2016 malgré un bilan de l'oxygène « moyen » entre 2017 et 2019.

Selon l'évaluation des masses d'eau « SDAGE 2016/2021 », le « Torrent du Fauge » souffre de pressions importantes liées à l'hydrologie, la morphologie et la continuité écologique du cours d'eau.

Le potentiel biologique du Fauge est également limité par le substrat avec une dominance de dalles et de concrétions calcaires ayant un effet sélectif naturel important sur les invertébrés benthiques. En effet, le concrétionnement limite la présence d'interstices entre les fractions granulométriques constitutives du substrat. Ces interstices constituent les principaux habitats de nombreuses espèces de la faune d'invertébrés (espèces dites pétricoles).

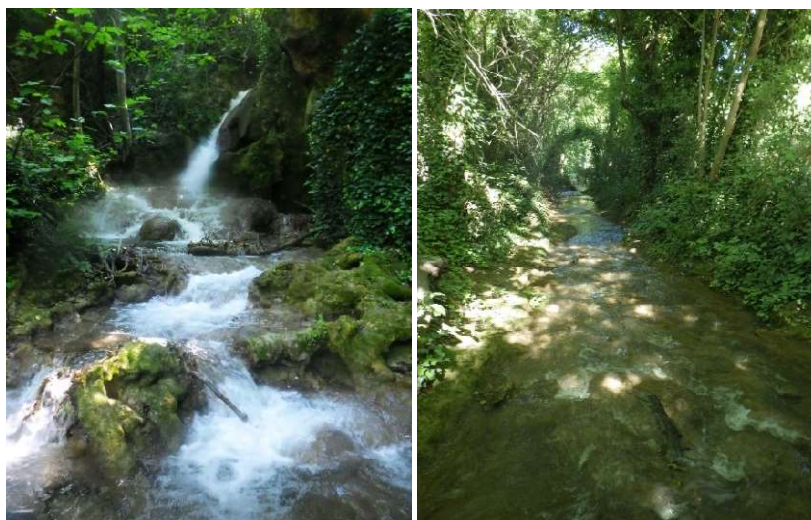


Photo 3 : Vue du substrat (dominance de concrétions et de dalles).

## 2.2. HABITATS ET ESPÈCES REMARQUABLES

L'amont du vallon du Fauge est inclus dans une ZNIEFF de type 1 « Crêtes de la Sainte-Baume et haut vallon de Saint-Pons ». Cette zone englobe les 3 kms amont intermittents du ruisseau de Fauge ainsi que la source de St-Pons jusqu'aux cascades. En termes de milieux aquatiques, ce sont les deux cascades qui constituent un habitat déterminant (Sources pétrifiantes avec formations de tuf ou de travertins (EUNIS C2.121)). Les parties temporaires des écoulements abritent un amphibien, le Pélodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*), espèce remarquable typique des garrigues avec mares et ruisseaux temporaires.

Du parking de St-Pons jusqu'en amont du massif de la Ste-Baume, le ruisseau de Fauge est inclus dans un parc départemental géré par le Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône (CD13). Cet espace de 1 361 ha a été identifié pour la richesse de sa biodiversité, la qualité de ses paysages et la richesse de son patrimoine historique. Il est aménagé comme un espace accessible au public pour la promenade et la randonnée avec une forte vocation pédagogique et surtout une volonté de préservation de la biodiversité et des paysages.

L'eau est un des éléments majeurs de cet espace qui s'exprime au travers du torrent du Fauge de la source de St-Pons et des cascades.

La partie amont du ruisseau de la source à la prise d'eau de Cabrelle accueille une espèce particulière, une algue rouge encroutante (*Hiltenbrandia rivularis*). Cette algue est caractéristique des zones de sources calcaires. Elle est sensible à la qualité des eaux et notamment aux concentrations en phosphore et nitrate. Elle est indicatrice d'une bonne qualité des eaux.



Photos 4 et 5 : Algue rouge *Hiltenbrandia Rivularis* de la source de St-Pons.



## 2.3. CONTEXTE PISCICOLE

Le contexte piscicole du Fauge à Gémenos a pu être appréhendé sur la base de données d'échantillonnages réalisés par la Fédération de pêche des Bouches-du-Rhône en 2011 et 2018 et le l'Office Français de la Biodiversité en 2000. Trois stations différentes de suivi ont été choisies pour identifier le contexte piscicole de ce cours d'eau.

### 2.3.1. SITUATION DU PEUPEMENT PISCICOLE DU FAUGE

Le peuplement piscicole en amont du parking de St-Pons est caractérisé uniquement par une population viable de truite arc-en-ciel. Cette espèce provient d'opérations de repeuplements effectués par la Fédération de pêche dans les années 70. Au niveau de l'Abbaye de St-Pons, la population est fonctionnelle et les abondances sont moyennes à fortes (notamment l'année 2011). Il semble qu'au niveau du parking, la population soit encore présente, mais avec des abondances beaucoup plus variables (1 seule truite capturée en 2018). En aval de Gémenos, l'espèce n'a été observée qu'en 2011.

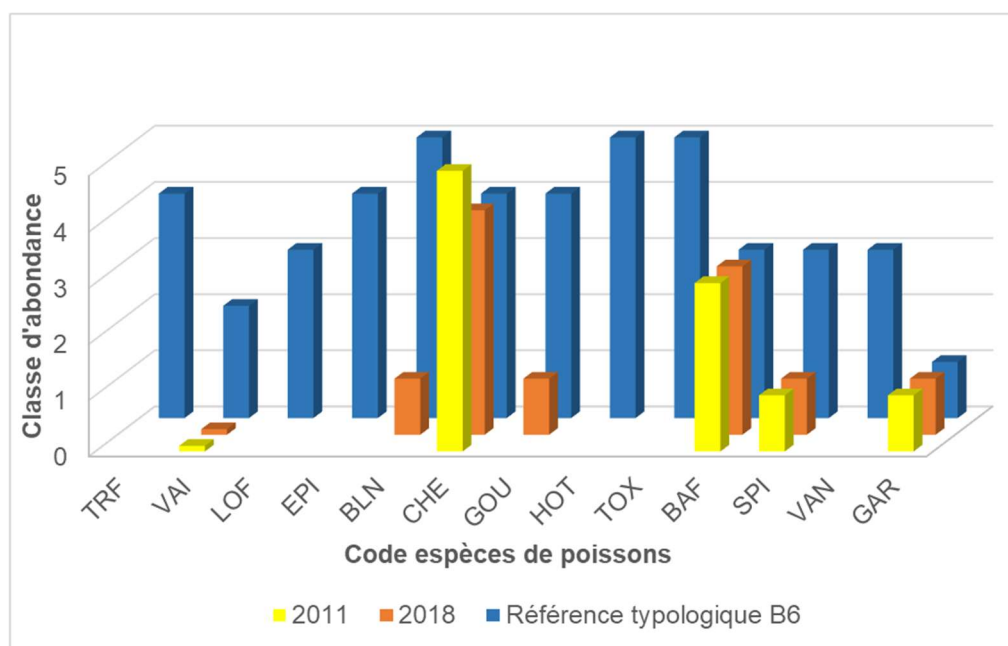
**Tableau 3 : Tableau récapitulatif des espèces identifiées lors des échantillonnages réalisés sur le Fauge**

Lieu-dit	Date de pêche	Espèces
Bergerie - Fauge Aval	29/06/2011	Chevesne, barbeau fluviatile, gardon, loche franche, spirin, vairon, truite arc-en-ciel
	20/03/2018	Chevesne, blageon, barbeau fluviatile, gardon, goujon, spirin, vairon
Parking St-Pons	28/11/2000	truite arc-en-ciel
	20/03/2018	truite arc-en-ciel
Abbaye St-Pons - Fauge Amont	28/11/2000	truite arc-en-ciel
	29/06/2011	truite arc-en-ciel
	20/03/2018	truite arc-en-ciel

**Tableau 4 : Tableau récapitulatif des densités de truites arc-en-ciel pour les stations amont du Fauge.**

Lieu-dit	Date de pêche	Densités numériques (ind./ha)	Densités pondérales (kg/ha)
Parking St Pons	28/11/2000	1228	73
	20/03/2018	68	2
Abbaye St Pons - Fauge Amont	28/11/2000	1878	53
	29/06/2011	7003	231
	20/03/2018	1667	58

En aval de Gémenos, le peuplement est plus diversifié avec 7 espèces de poissons plus ou moins régulièrement capturées. On retrouve des espèces appréciant les habitats courants, consommant des insectes aquatiques et se reproduisant sur des substrats de graviers (vairon, barbeau, blageon, spirin) qui attestent des potentialités du cours d'eau. Toutefois, leurs abondances restent faibles. En revanche, le chevesne, espèce très tolérante est très abondant.



**Figure 1 : Comparaison des abondances observées sur le Fauge en aval de Gémenos en 2011 et 2018 avec les références associées au niveau typologique de la rivière.**

Les informations sur le peuplement piscicole du Fauge montrent :

- Que la partie amont (traversée du Parc de St-Pons) présente des potentialités d'accueil pour les poissons et notamment pour les truites permettant la réalisation d'un cycle biologique complet,
- Que la partie médiane entre le Parc de St-Pons et l'entrée de Gémenos présente des potentialités d'accueil moins importantes avec notamment des substrats fortement recouverts de tuff,
- Que la partie aval de Gémenos jusqu'à l'entrée de la zone des Paluds offre une diversité d'habitat capable d'accueillir plusieurs espèces de cyprinidés pour y réaliser leur cycle biologique même si les conditions peuvent parfois être difficiles (rupture d'écoulements et assec).

### 2.3.2. EXIGENCES ÉCOLOGIQUES DES ESPÈCES PISCICOLES ET CHOIX DES ESPÈCES CIBLES

Les principales exigences écologiques des espèces de poissons présentes ont été récapitulées afin d'identifier les espèces cibles pour l'analyse de la sensibilité des habitats au débit.

**Tableau 5 : Récapitulatif des exigences écologiques des espèces de poissons rencontrées sur le Fauge au niveau du secteur d'études**

Nom	Code	Période de reproduction	Habitat	Substrats de reproduction	T°C seuil reproduction	Optimum thermique (°C)	Régime alimentaire
Truite arc-en-ciel	TAC	mi-octobre fin décembre	Rhéophile	Lithophile	4-19	4-17	Invertivore
Blageon	BLN	Printemps	Rhéophile	Lithophile	>12	10-18	Invertivore
Barbeau fluviatile	BAF	Printemps	Rhéophile	Lithophile	>14	10-24	Invertivore
Gardon	GAR	Printemps	Indifférent	Phyto-Lithophile	15-20	12-25	Omnivore
Goujon	GOU	Fin Printemps – début été	Rhéophile	Lithophile	15-17	7-30	Invertivore
Spirin	SPI	Fin Printemps – début été	Rhéophile	Lithophile	12-25	12-24	Omnivore
Vairon	VAI	Printemps	Rhéophile	Indifférent	15-17	10-22	Invertivore
Loche Franche	LOF	Printemps	Rhéophile	Indifférent		4-28	Invertivore
Chevaine	CHE	Printemps	Rhéophile	Indifférent	14-16	14-24	Invertivore / Piscivore

**Tableau 6 : Récapitulatif des statuts de protection des espèces de poissons rencontrées sur le Fauge au niveau du secteur d'études**

Nom	Code	Statut Biologique	Statut UICN France	Convention de Berne	Directive Habitats	Arrêté du 8/12/1988
Truite arc-en-ciel	TAC	Allochtone	NA			
Blageon	BLN	Autochtone	LC	Annexe III	Annexe II	
Barbeau fluviatile	BAF	Autochtone	LC			
Gardon	GAR	Autochtone	LC			
Goujon	GOU	Autochtone	LC			
Spirin	SPI	Autochtone	LC			
Vairon	VAI	Autochtone	DD			
Loche Franche	LOF	Autochtone	LC			
Chevaine	CHE	Autochtone	LC			

Statut UICN : DD : données insuffisantes, NA : non applicable, LC : préoccupation mineure

Convention de Berne : Annexe III, espèces protégées

Directive habitats : Annexe II, espèce d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite une ZSC

Arrêté du 8/12/1988 : espèces dont la destruction des œufs ou des habitats est interdite.

Pour la partie amont du Fauge, nous proposons de choisir prioritairement une **espèce d'invertébré le plécoptère *Dinocras cephalotes* qui représente le potentiel écologique de ce type de ruisseau**. En complément, nous examinerons la situation **des habitats de la truite arc-en-ciel qui sont similaires à ceux de la truite commune**. En effet, même si cette dernière espèce n'est pas présente actuellement sur le Fauge, les caractéristiques du cours d'eau correspondent à la zone de vie de cette espèce et celle-ci est d'ailleurs présente dans des cours d'eau similaires sur le bassin de l'Huveaune (flanc nord du massif de la Sainte-Baume).

En aval de Gémenos, l'espèce cible choisie est **le blageon** qui correspond le mieux aux potentialités de ce type de ruisseau **la truite** comme espèce cible des enjeux biologiques accompagnées d'.



**Photo 6 : Vue d'une exuvie de larve de plécoptère récoltée à proximité de la source de St-Pons.**

### **2.3.3. BILAN DES ENJEUX ÉCOLOGIQUES PAR TRONÇON**

Les enjeux écologiques diffèrent selon les tronçons et les espèces concernées. D'un point de vue piscicole, il est nécessaire de séparer les tronçons en amont de Gémenos avec des enjeux propres au cycle biologique de la truite arc-en-ciel en sachant que la connectivité n'est pas possible pour les espèces de l'aval de Gémenos (partie couverte du ruisseau dans Gémenos et cascades infranchissables) des tronçons aval avec des enjeux propres aux cyprinidés d'eau vive accompagné ponctuellement par la truite. Pour les invertébrés, les enjeux pour les espèces comme les plécoptères se situent au niveau de la source, du canyon et de la traversée du Parc de St-Pons. Les enjeux pour l'algue rouge *Hiltenbrandia Rivularis* se concentrent surtout en aval immédiat de la source de St-Pons.

### 3. CONTEXTE MORPHOLOGIQUE ET CHOIX DE STATIONS D'ÉTUDE

---

#### 3.1. MÉTHODOLOGIES

Le travail porte sur les successions de types de tronçons morphologiques puis ensuite les successions de faciès d'écoulement.

L'ensemble de ce travail a pour objectifs :

- de connaître la réalité de terrain et de mettre éventuellement en évidence des tronçons aux caractéristiques différentes,
- de repérer les différentes altérations de la qualité du cours d'eau,
- et surtout de connaître la composition du secteur étudié en faciès d'écoulement afin de choisir des stations les plus représentatives possibles.

Tronçons morphologiques : ils sont identifiés par une analyse cartographique reposant sur les critères de pente longitudinale, de largeur du plancher alluvial, de pente des versants et de géologie. La classification de Bravard et Gilvear (1993) : gorges, montagnard et plateau est utilisée.

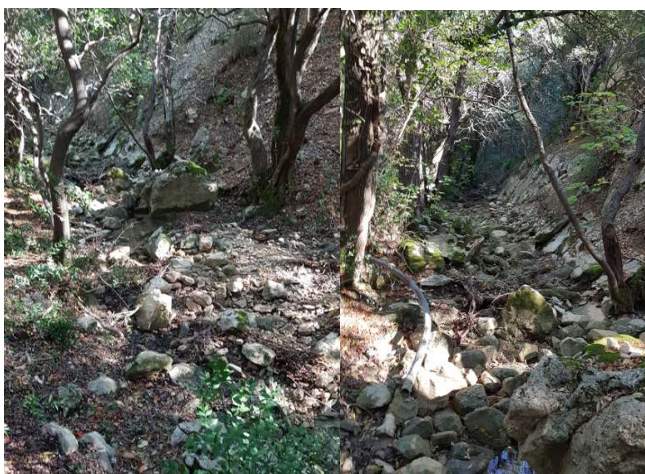
Faciès d'écoulement : il s'agit de parcourir l'intégralité du tronçon court-circuité (projeté) et de mesurer la longueur de chaque faciès d'écoulement (définition des faciès dans Delacoste *et al.*, 1995). Cette longueur des faciès est mesurée à l'aide d'un topofil et leur enchaînement est détaillé et cartographié (quantification : km et % des faciès) en intégrant une description des substrats dominants et la problématique du colmatage éventuel.

Dans le cadre de cette étude, un tronçon de 731 m en aval de Gémenos ainsi qu'un tronçon de 2.25 km en amont a été parcouru le 09/06/2021 pour un débit enregistré à la station hydrologique « La source de Saint-Pons à Gémenos » (Y4425010) de 115 l/s soit une valeur de 0.88 fois le module.

#### 3.2. CONTEXTE MORPHOLOGIQUE

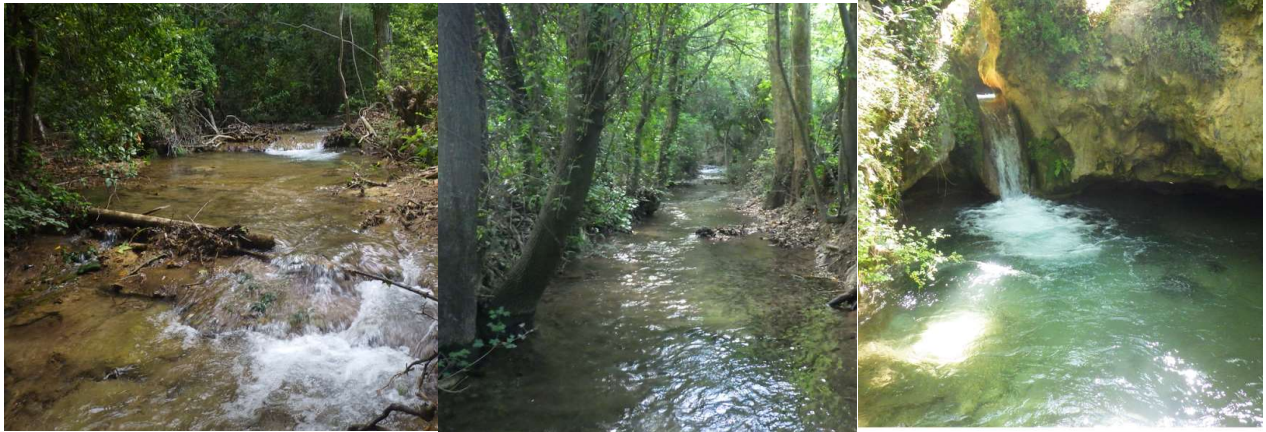
L'analyse cartographique et les prospections de terrain ont permis d'identifier la succession de tronçons suivante :

- Le Fauge en amont de la source de Saint-Pons qui correspond à un tronçon de gorges avec des caractéristiques très pentues et encaissées. Ce tronçon du cours d'eau est intermittent.



Photos 7 et 8 : Vues du Fauge dans sa partie amont de gorges avec des écoulements intermittents.

- De la source de St-Pons à Gémenos, une succession de tronçon de type plateau-montagnard avec un secteur de gorge de type canyon au niveau du pont des Tompines.



**Photos 9, 10 et 11 : Vue des tronçons de type montagnard, plateau et canyon du Fauge dans la traversée du Parc de St-Pons.**

- En aval de Gémenos un tronçon unique de type plateau où le plancher alluvial est très large.



**Photos 12, 13 et 14 : Vue du Fauge dans sa partie plateau en aval de Gémenos.**

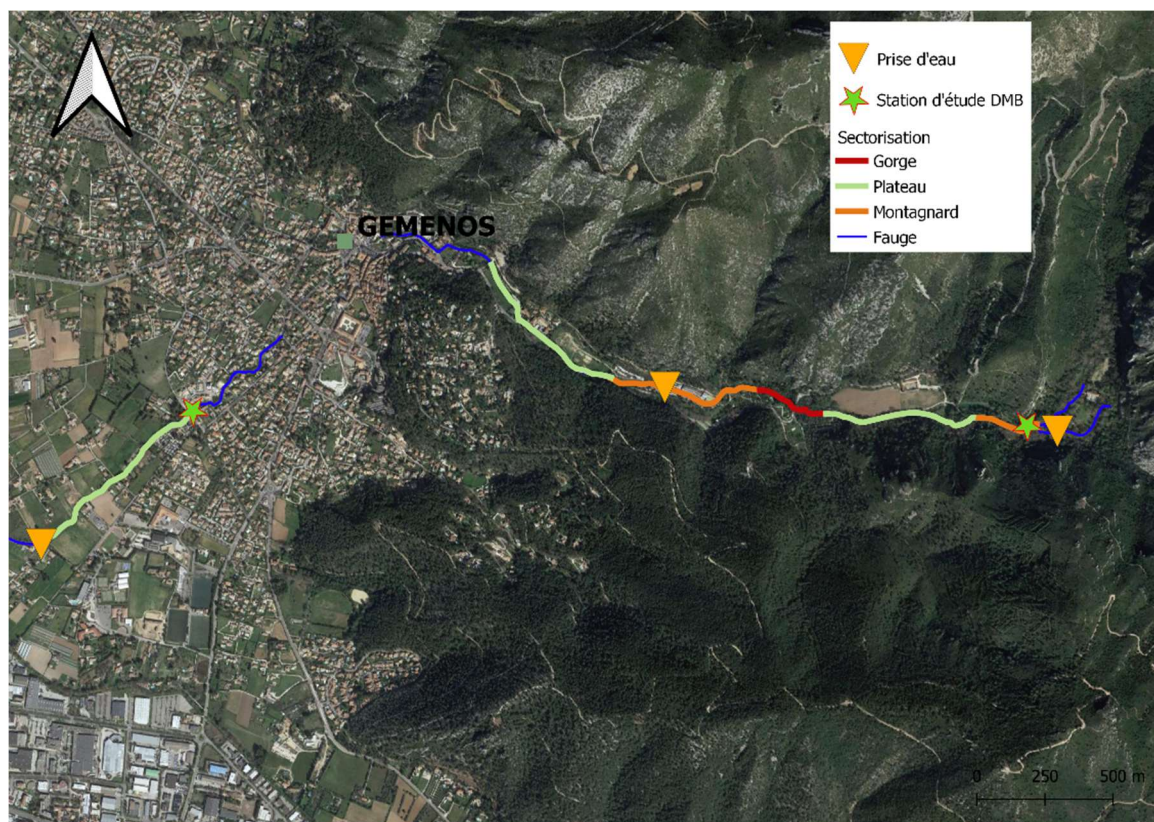


Planche 5 : Visualisation des tronçons sectorisés du Fauge le 09/06/2021

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des tronçons morphologiques sur la partie sectorisée du Fauge

Tronçon	Longueur du tronçon (m)	Pente moyenne (‰)	Largeur plancher alluviale	Type de tronçon
Aval Gémenos	735	1.6	> 1km	Plateau
Amont Gémenos – Parking St Pons	376	3.4	≈ 100m	Plateau
Parking St Pons – Pont des Tompines	592	3.2	≈ 60m	Montagnard
Pont des Tompines	277	9.0	> 10m	Gorge
Chapelle St Martin – Parc de St Pons	590	2.3	≈ 125m	Plateau
Amont Parc de St Pons	235	3.4	≈ 60m	Montagnard

### 3.2.1. SUCCESSION DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT

Les différents faciès d'écoulements ont également été identifiés dans la partie sectorisée. La proportion de chaque faciès est étudiée globalement et pour chacun des différents types de tronçon morphologique.

Les faciès de type plat sont majoritaires et représentent plus de 30% du linéaire total. Les faciès radier et profond représentent respectivement 26% et 21% du linéaire. La succession est assez similaire entre les tronçons de type plateau et montagnard avec néanmoins une part plus importante d'escalier pour les tronçons montagnards (17%). Les gorges sont caractérisées par une proportion équilibrée de faciès cascade, escalier, plat et profond avec respectivement 22%, 20%, 22% et 26%. Les faciès radier et rapide sont également présents avec environ 6% du linéaire de gorge.

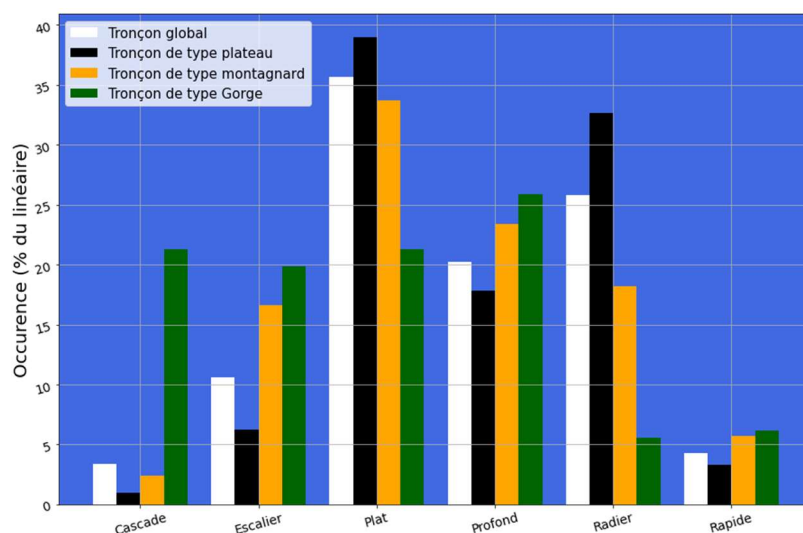


Figure 2 : Représentativité des différents faciès d'écoulement des tronçons sectorisés du Fauge.



Photo 15 : Successions de faciès radier/plat caractéristique du Fauge.

Les faciès à caractère lotique (radier, rapide, escalier) représente plus de 40% du linéaire du Fauge. Ces faciès représentent les zones les plus biogènes du cours d'eau que ce soit pour la reproduction et le développement des juvéniles de poissons ou pour les larves d'invertébrés. La conservation de leur potentialité d'accueil notamment au travers des conditions hydrauliques est un élément très important pour l'état écologique du cours d'eau.

### 3.2.2. CARACTÉRISTIQUES NATURELLES ET ANTHROPIQUES DES HABITATS

La structure des habitats du Fauge est fortement influencée par des caractéristiques naturelles et anthropiques. Le substrat dépend de la géologie du bassin versant et de la géochimie avec les effets du concrétionnement calcaire. Le Fauge est marqué hydrologiquement par des crues ponctuelles qui conditionnent le gabarit du cours d'eau.



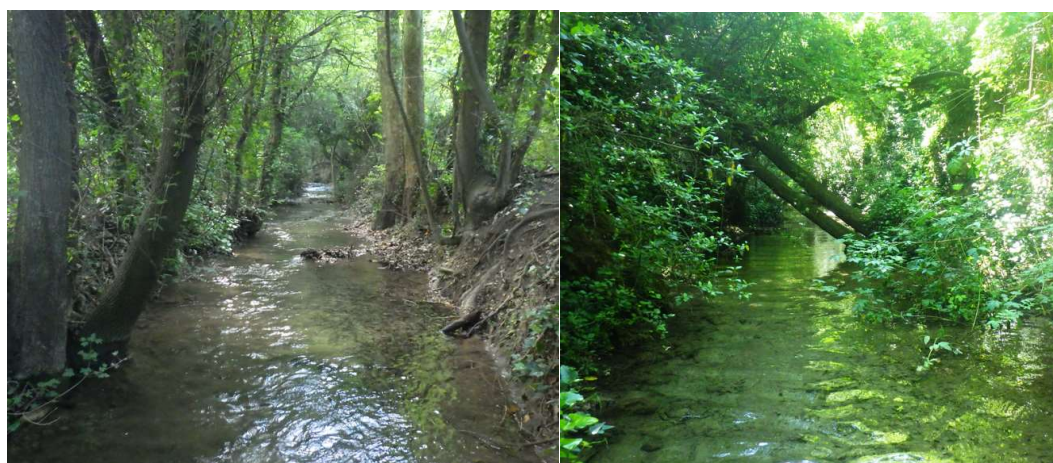
**Photo 16 : Visualisation du niveau d'eau fréquent atteint lors des crues et façonnant le lit et les berges du Fauge.**

La présence de seuils de concrétions calcaires participe fortement à la succession des faciès d'écoulement et donc à la diversité des habitats. Les embâcles souvent de taille réduite sont également bien représentées. Elles participent beaucoup à la diversification des écoulements.



**Photos 17, 18 et 19 : Seuils issus des concrétionnements calcaires et présence d'embâcles participant à la diversification des habitats du Fauge.**

La ripisylve couvre une partie assez importante du linéaire du Fauge. Elle est un facteur très important pour la morphologie de la rivière. Elle apporte de l'ombrage, de la stabilisation du lit et créer des abris sur les berges.



**Photos 20 et 21 : Vues de la ripisylve couvrant une part importante des berges du Fauge.**

Les substrats sont assez peu diversifiés. Dans la partie amont, on retrouve des dépôts de petits graviers créant des plages favorables à la reproduction des truites. Très rapidement, le concrétionnement occupe une grande partie du fond du lit et limite beaucoup la diversité des substrats et les capacités d'accueil pour les invertébrés pétricoles (aimant les interstices du substrat).





**Photos 22 et 23 : Vues de plages de graviers dans la partie amont du Fauge.**



**Photos 24 et 25 : Vues du substrat très concrétionné au niveau du parking de St-Pons.**

L'anthropisation du milieu et la présence d'aménagements hydrauliques ont également un effet important sur les habitats du Fauge. Du fait d'usages très anciens, le lit de la rivière n'est pas, sur certains secteurs, dans le fond du thalweg. C'est le cas dès la source de St-Pons où le lit a été dérivé et stabilisé par des seuils pour l'alimentation du moulin de la cascade.



**Photos 26 et 27 : Vues du Fauge immédiatement sous la source avec une succession de seuils artificiels.**

Certains linéaires voient leurs berges stabilisées par des protections avec la présence de murs. Dans la traversée amont de Gémenos, le lit est complètement artificialisé avec la présence d'une couverture complète. Les pressions urbaines sur les berges continuent également en aval de Gémenos. Au niveau de la zone des Paluds, le lit du Fauge est totalement artificialisé.



Photos 28, 29 et 30 : Vues du Fauge après la traversée de Gémenos et dans la traversée de la zone des Paluds.

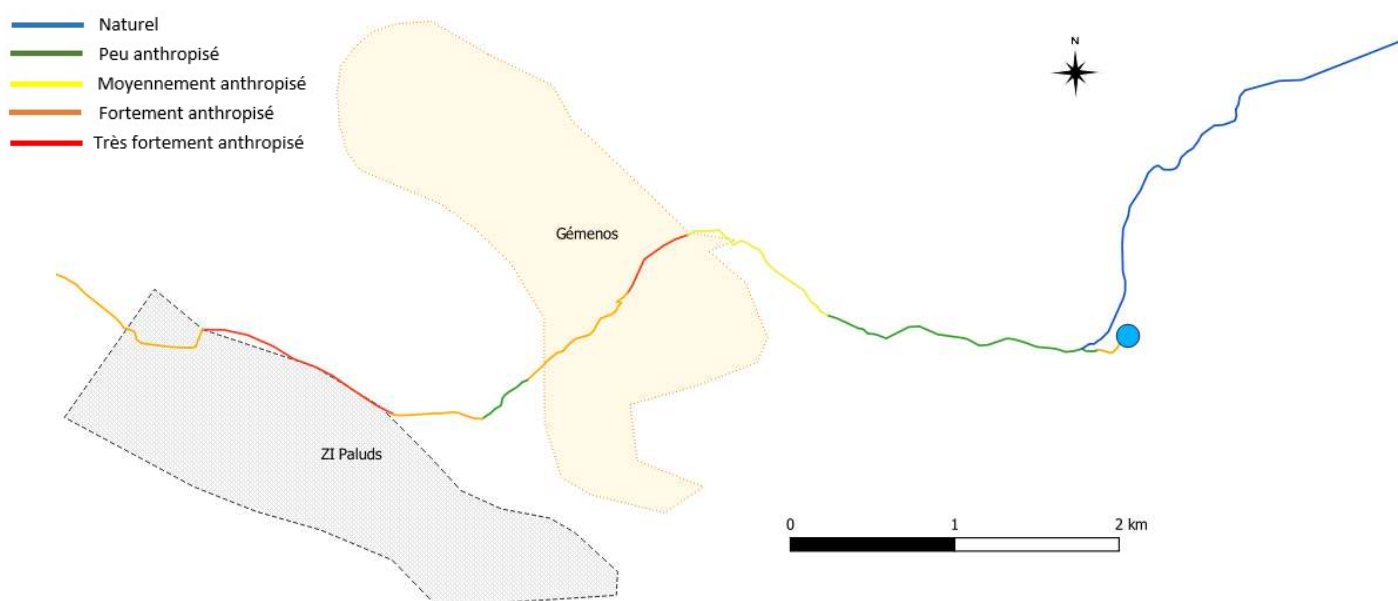


Planche 6 : Niveau d'artificialisation le long du Fauge.

### 3.2.3. BILAN MORPHOLOGIQUE DU FAUGE

D'un point de vue morphologique, il est possible de distinguer 6 secteurs différents sur le Fauge :

- Le secteur du canyon descendant depuis le pic de Bertagne jusqu'à l'Abbaye de St-Pons,
- Le secteur situé entre la source de St-Pons et la cascade de l'Abbaye,
- Le secteur de l'Abbaye à la prise d'eau des Palettes,
- Le secteur de la prise d'eau des Palettes à l'entrée de Gémenos,
- Le secteur de l'aval de la partie couverte du ruisseau jusqu'à l'entrée de la zone des Paluds,
- Le secteur de la traversée de la zone des Paluds.

### 3.2.4. CASCADES

Le Fauge et le canal se caractérisent par la présence de cascades qui constituent à la fois des habitats aquatiques et des particularités paysagères participant à l'intérêt des lieux notamment pour

les promeneurs. La source rejoint le Fauge par une cascade située sous l'Abbaye. Les écoulements s'étalent sur plus de 20 m de largeur. Il n'est pas possible de savoir si cette cascade correspond exactement à la zone de confluence entre le Fauge et les écoulements naturels de la source de St-Pons. La seconde cascade de la partie amont du vallon se situe sur le canal juste en amont du moulin. Elle a été créée par la dérivation des eaux vers le moulin.



**Photos 31, 32 et 33 : Vues de la cascade à la confluence de la source et du Fauge et de la cascade du Moulin.**

Plus en aval, on retrouve, au niveau du moulin du Foulon, une cascade artificielle qui amène l'eau du canal au pied du moulin.

Dans Gémenos, l'une des branches du canal alimente la cascade de Flore située dans le parc de l'ancien château.



**Photo 34 : Vue de la cascade de Flore dans le Parc du château de Gémenos**

### **3.2.5. CHOIX DES STATIONS POUR L'ÉTUDE DE LA SENSIBILITÉ DES HABITATS**

La mise en œuvre de la méthode des microhabitats réclame le choix de stations d'études représentatives. Il s'agit de sélectionner au sein d'un tronçon morpho-dynamique homogène, une séquence de faciès d'écoulement représentative du tronçon et suffisamment longue pour être pertinente en termes de fonctionnement hydraulique.

Les critères de choix doivent croiser :

- La diversité morphologique naturelle et anthropique (6 secteurs),
- Les enjeux biologiques (2 secteurs de part et d'autre de Gémenos),
- La position des ouvrages de prélèvement/dérivation.

Sur le Fauge (linéaire >4 km), l'hétérogénéité morphologique entre l'amont et l'aval et les enjeux biologiques (truite et plécoptère en amont, cyprinidé d'eaux vives en aval), **nous a conduits à choisir deux stations** :

- **Une station amont** située 120 m en aval de la prise d'eau Cabrelle. Sa longueur est de 40 m pour une pente de 2.7% quasi similaire à celle du tronçon morphologique de 790 m de linéaire.

**Tableau 8 : Caractéristiques générales de la station d'étude amont**

Dénomination	Code	Limites amont		Limites aval		Longueur	Largeur	Pente
		X L93	Y L93	X L93	Y L93			
Station 1 -amont	ST1	915906,51	6247143,16	915889,71	6247123,05	40 m	2.5 m	2.7%



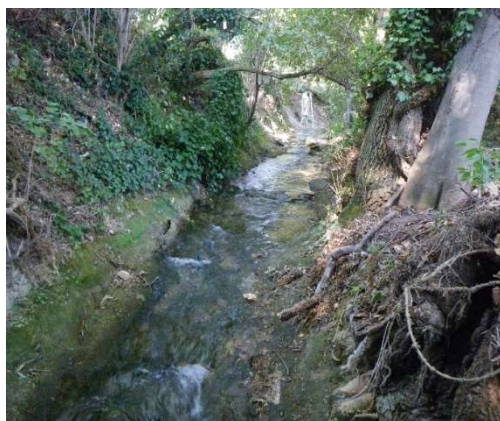
**Photo 35 : Illustrations de la station d'étude amont (Ecogea le 10/06/2021).**

Cette station amont représente la morphologie du Fauge dans toute la traversée du Parc de St-Pons ainsi qu'une partie du ruisseau en aval du parking. Elle représente les enjeux écologiques de l'ensemble de l'amont de Gémenos.

- **Une station aval** située juste en amont de la jonction avec le canal de Marseille à Gémenos. Sa longueur est de 42 m pour une pente de 1% représentative d'un tronçon de type plaine de 1220 m.

**Tableau 9 : Caractéristiques générales de la station d'étude aval.**

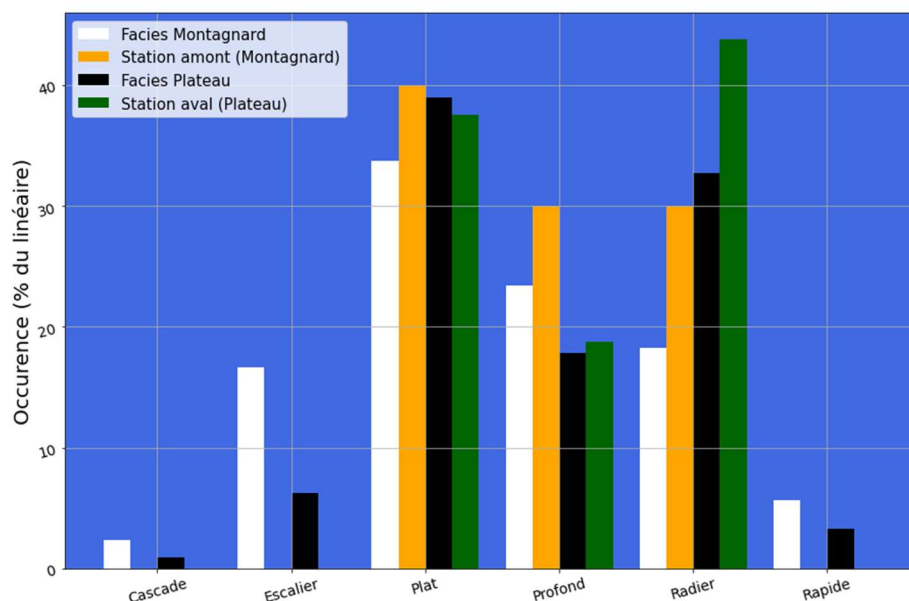
Dénomination	Code	Limites amont		Limites aval		Longueur	Largeur	Pente
		X L93	Y L93	X L93	Y L93			
Station 2 - Aval	ST2	912843,56	6247194,43	912821,28	6247172,20	42 m	1.5 m	1%



**Photo 36 : Illustrations de la station d'étude aval (Ecogea le 20/07/2021).**

Cette station aval représente la morphologie du Fauge en aval de Gémenos jusqu'à la zone des Paluds. Elle représente les enjeux écologiques de l'aval de Gémenos.

En termes de représentativité des faciès d'écoulement, les successions observées dans les stations sont assez proches de celles des tronçons morphologiques. On observe néanmoins, une fraction légèrement plus importante des faciès radier pour la station aval par rapport aux faciès du tronçon morphologique de type plateau. Pour la station amont, la fraction de radier est également plus importante par rapport aux faciès du tronçon morphologique de type montagnard.



**Figure 3 : Représentativité des différents faciès d'écoulement des stations d'études et du tronçon morphologique associé sur le Fauge.**

## 4. CARACTÉRISATION DE L'HYDROLOGIE

---

### 4.1. OBJECTIFS

La caractérisation de l'hydrologie est une étape essentielle du travail. Elle doit permettre de quantifier les volumes d'eau s'écoulant dans le cours d'eau en tenant compte des variations saisonnières et des évolutions d'amont en aval. Elle doit identifier les volumes d'eau s'écoulant en étiage ainsi que les ressources assurant ces écoulements à bas débits. Le travail doit également permettre d'identifier les éventuelles évolutions historiques des débits.

### 4.2. MÉTHODOLOGIES DE CARACTÉRISATION DE L'HYDROLOGIE

#### 4.2.1. DONNÉES DISPONIBLES

##### 4.2.1.1. Pluviométrie

La pluviométrie de la zone d'étude a été décrite *via* la station Météo France d'Aubagne (13005003) dont les données quotidiennes de hauteur de précipitation ont été récupérées entre 1997 et 2021. Nous n'avons pas pu accéder à des données représentant l'amont du bassin versant du Fauge et les données de la station de Gémenos s'arrêtaient en 2007. La pluviométrie d'Aubagne ne peut être considérée comme caractéristique des précipitations du bassin d'alimentation de la source de Saint-Pons. Elle ne sera utilisée que comme un indicateur potentiel permettant éventuellement d'anticiper des situations hydrologiques estivales à venir.

##### 4.2.1.2. Débit

L'hydrologie à la source de Saint-Pons est connue via la station hydrométrique « la source de Saint-Pons à Gémenos » (Y4425010) de la DREAL PACA dont toutes les données disponibles ont été récupérées (1997-2021).

#### 4.2.2. MESURES ET SUIVIS SUR LE TERRAIN

##### 4.2.2.1. Mesures ponctuelles des débits

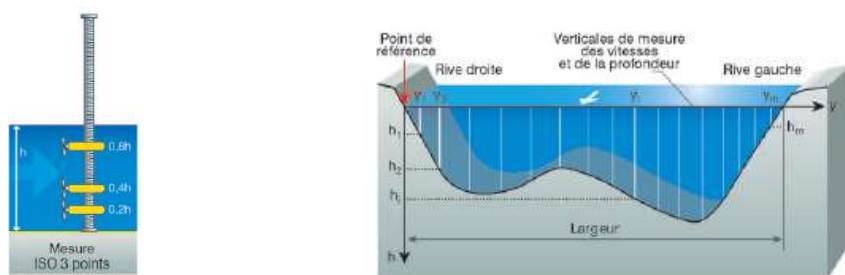
Deux méthodes d'évaluation des débits ont été utilisées :

➤ Mesure directe par jaugeage

- Matériel et méthode

Le jaugeage par mesure directe est basé sur l'exploration du champ de vitesse sur une section mouillée déterminée. Les mesures ont été réalisées conformément à la norme NF ISO 748 de 2007 et selon les recommandations de Le Coz *et al.*(2011).

Le matériel utilisé est un courantomètre électro-magnétique de type March Mac Birney modèle 201D. La méthode de jaugeage par exploration du champ des vitesses revient à échantillonner la géométrie de chaque section (les profondeurs) ainsi que les vitesses sur un semis de points distribués à travers la section de la rivière. Dans le cas du Fauge, les mesures de vitesses ont été réalisées en 3 points par verticale à 0.2h, 0.4h et 0.8h.



Exemple de description d'une section de mesure par des verticales de profondeurs et de vitesses.

- Estimation de la vitesse moyenne

Pour chaque verticale, la vitesse moyenne a été estimée selon la formule suivante :

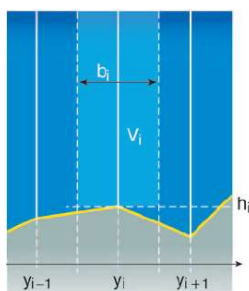
$$\text{Mesure en 3 points : } v_{\text{moy}} = 0,25 \times (v_{0,8} + 2v_{0,4} + v_{0,2})$$

- Estimation du débit

Le débit est déterminé par un calcul d'intégration. La section est décomposée en un sous-ensemble de sous-section de surface  $S_i$  limitée par les verticales de mesure auquel on affecte la vitesse moyenne  $V_{\text{moy}i}$ . Le débit  $q_i$  de chaque sous-section correspond ainsi :

$$q_i = V_i \times S_i$$

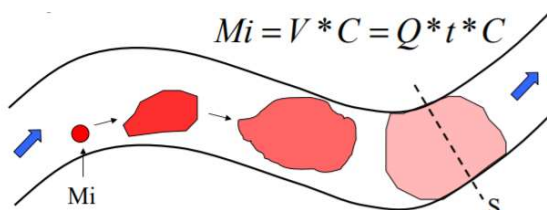
Le débit total  $Q$  est égal à la somme des débits partiels des sous-sections  $i$ . La surface de chaque sous-section a été estimée par la méthode de la section médiane. La largeur de chaque sous-section est égale à la somme des 2 demi-intervalles entre 2 verticales.



#### ➤ Mesure par salinomètre

Le jaugeage du débit par dilution de chlorure de sodium consiste à injecter une masse de sel ( $M_i$ ) dans un cours d'eau afin de mesurer environ 50m en aval le passage du nuage salin via un appareil qui mesure la concentration en sel de l'eau.

On obtient le débit  $Q$  du cours d'eau par un calcul d'intégration basée sur la formule suivante où  $t$  représente le temps de passage du nuage salin,  $C$  la concentration en sel et  $C_0$  la concentration en sel initiale du cours d'eau.



On a donc :

$$Q = \frac{M_i}{\int (C - C_0).dt}$$

Q : Débit  
C : Concentration en sel  
Mi : Masse de sel

#### 4.2.2.2. Suivi par sondes de niveau d'eau

Un suivi par sondes de niveau d'eau a été mis en place sur le Fauge. Quatre sondes ont été installées le 10/06/2021 et relevées le 01/11/2021 le long du Fauge aux emplacements suivants :

**Tableau 10 : Tableau récapitulatif des sondes installées par Ecozea sur le Fauge**

	<b>Emplacement</b>	<b>X L93</b>	<b>Y L93</b>
<b>Sonde 1</b>	Aval de la prise d'eau Cabrelle	916005	6247109
<b>Sonde 2</b>	Aval de la prise d'eau des palettes	914454	6247287
<b>Sonde 3</b>	Aval de Gémenos, station d'étude aval, amont canal de Marseille	912821	6247177
<b>Sonde 4</b>	Aval de Gémenos, aval canal de Marseille	912391	6246781

Le dispositif est composé de sondes de pression enregistreuses de marque Solinst (modèle 3001 LT F15/M5). Les données de pression relevées par les sondes immergées doivent être compensées par la pression atmosphérique.

Les sondes ont été installées dans un tube PVC amarré à des lests. Au vu de la gamme de débits étudiée, il a été nécessaire de prévoir des lests de 10 kg. L'ensemble a été fixé sur des supports minéraux en berge.



**Photo 37 : Dispositif mis en place pour le suivi par sondes (Solinst).**



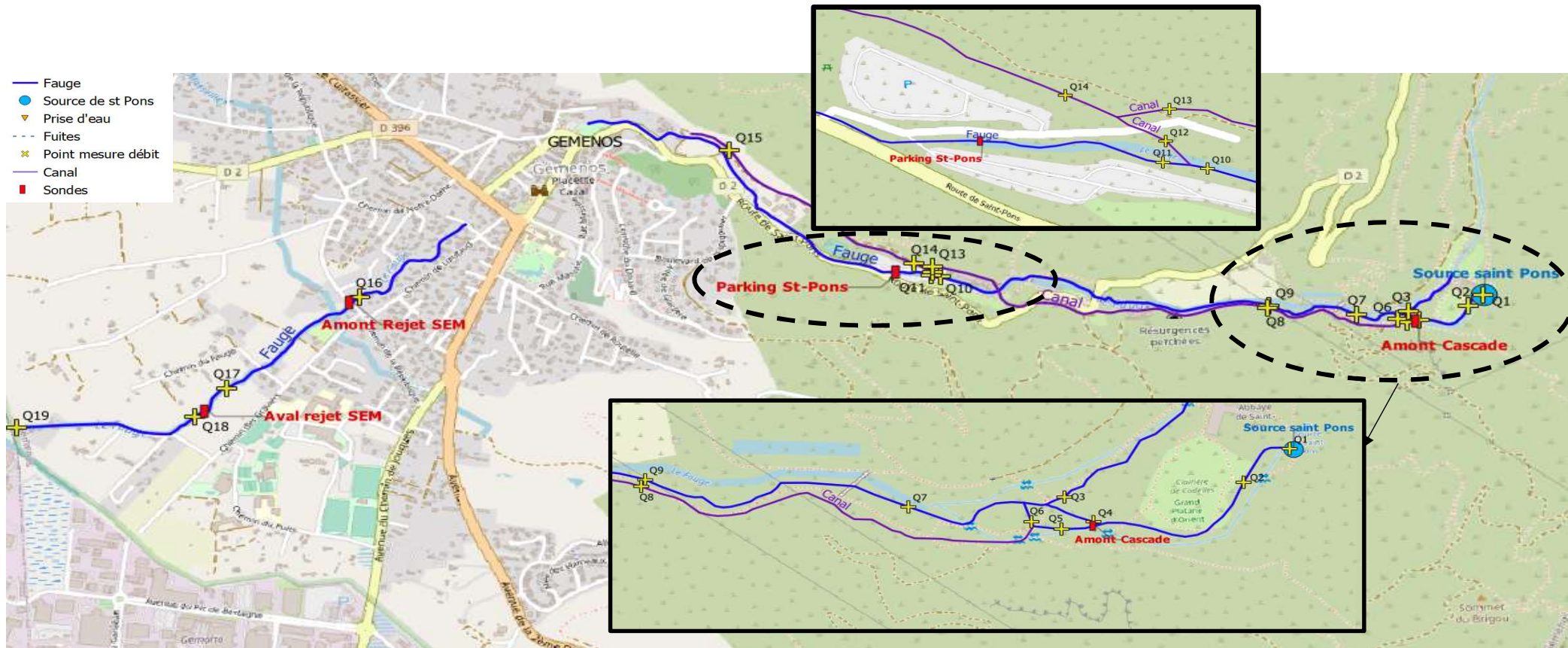


Planche 7 : Vue d'ensemble du site d'étude, de l'emplacement des mesures de débit effectuées et des sondes de niveaux installées.

### 4.2.3. ANALYSE DES DONNÉES

Le traitement des données s'organise de la façon suivante :

- Analyse du régime hydrologique à la source de Saint-Pons
- Analyse des étiages,
- Corrélation pluviométrie/débit,
- Analyse des données de niveau d'eau
- Corrélation niveau d'eau et débit via la courbe de tarage sur la sonde 3.

Les étiages d'un cours d'eau correspondent aux périodes pendant lesquelles le bilan hydrique du bassin versant est négatif c'est-à-dire que les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration. Durant ces périodes, les écoulements ne sont plus constitués majoritairement que des réserves accumulées dans les sols et surtout les aquifères. En effet, ces formations peuvent être comparées à des éponges. Elles stockent de l'eau lorsque la pluviométrie est soutenue et elles la restituent avec un décalage plus ou moins important lorsque le bassin devient déficitaire. Il est donc essentiel de bien appréhender la taille de ces réserves et les modalités de restitution pour mieux appréhender la situation hydrique des rivières en étiage.

Dans le cas d'un prélèvement d'eau, il est indispensable de bien appréhender la situation en termes de volumes d'eau disponibles dans les périodes de plus faible hydraulité que sont les étiages. Ce sont en effet les périodes où les risques de tension entre usages et maintien de conditions acceptables pour les organismes aquatiques sont les plus significatifs.

La caractérisation des conditions d'étiages du Fauge s'est donc basée sur plusieurs variables :

- les volumes écoulés sont calculés sur la base des débits transitant dans le Fauge en étiage,
- les déficits en eau représentent le volume d'eau manquant par rapport à un seuil d'étiage correspondant au débit non dépassé 15% du temps de l'année ( $Q_{15}$ ) ainsi que sur les valeurs moyennes mensuelles. Il est calculé de la façon suivante :

$$\text{Déficit journalier (m}^3\text{)} = \left( Q_{15}(\text{m}^3/\text{s}) - Q_{\text{journalier}}(\text{m}^3/\text{s}) \right) * 24 * 3600$$

- Sur un étiage complet, les périodes d'apparition se caractérisent par les dates de début, de fin d'étiage. Les durées correspondent à la somme des jours où le débit est inférieur au seuil du  $Q_{15}$ .

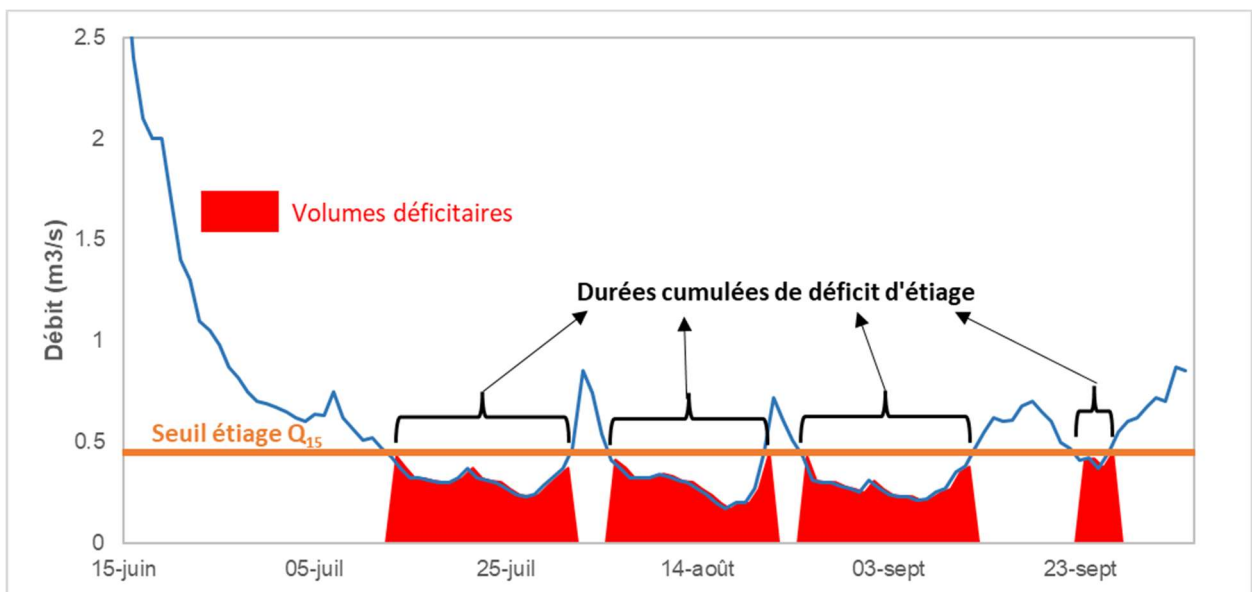


Figure 4 : Exemple d'identification des volumes d'eau écoulés en étiage.

### 4.3. CONTEXTE HYDROLOGIQUE GÉNÉRAL

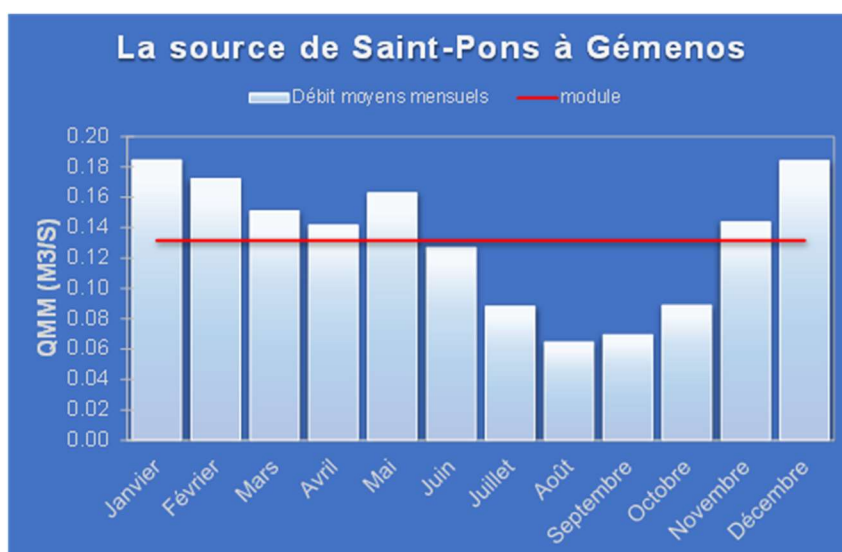
#### 4.3.1. ANALYSE DE L'HYDROLOGIE DE LA SOURCE DE ST-PONS

L'hydrologie et l'évolution des débits sur l'ensemble du Fauge est difficile à appréhender de par la nature géologique du bassin versant. En effet, les écoulements dans les roches carbonatées karstiques sont très hétérogènes. La présence d'anfractuosités ainsi que la nature perméable de la roche favorisent les écoulements souterrains qui participent directement à la majorité de la ressource en eau disponible.

##### 4.3.1.1. Caractérisation générale de l'hydrologie de la source

**Tableau 11 : Débits caractéristiques du Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos (1997-2021) (données : banque HYDRO)**

La source de Saint-Pons à Gémenos (1997 – 2020)	
Module (m <sup>3</sup> /s)	0.130 [0.108 ; 0.157]
QMNA <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0.036 [0.026 ; 0.050]
QMNA <sub>5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0.022 [0.014 ; 0.030]
VNC10 <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0.033 [0.024 ; 0.047]
VNC10 <sub>5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0.019 [0.012 ; 0.027]

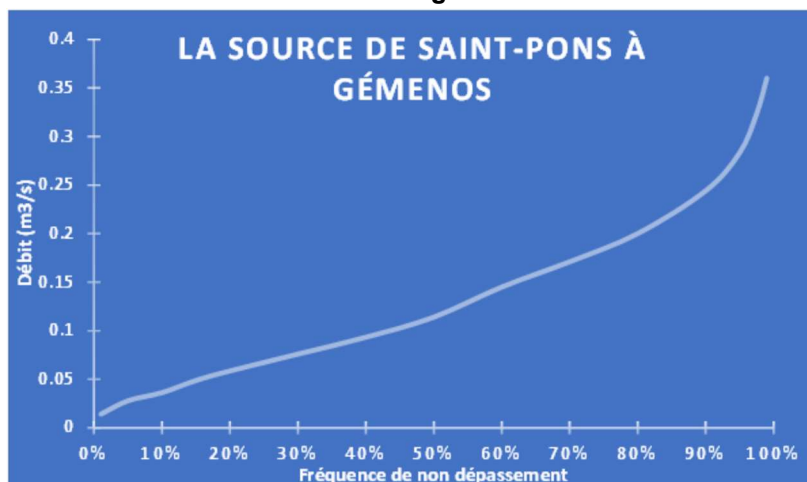


**Figure 5 : Débits moyens mensuels de la source de St-Pons.**

Le régime du Fauge est de type pluvial avec un débit maximal atteint en hiver, lors des périodes de forte pluie. On observe ensuite une baisse progressive des débits au début du printemps, suivie d'une remontée des débits en mai. Le débit chute ensuite rapidement pour atteindre un étiage estival en juillet-août et septembre, avant de repartir à la hausse en automne avec l'arrivée des précipitations. Ce régime présente une variabilité limitée du fait de la restitution progressive des eaux par l'aquifère karstique et l'importance des réserves de cet aquifère.

Cette stabilité se retrouve dans le rapport entre le débit médian et le module (rapport de 0.87). De même, l'étiage moyen mensuel est assez soutenu et représente 51% du module. Cette valeur chute à 28% pour l'étiage biennal et 18% pour l'étiage quinquennal. La valeur de 10% du module n'est atteinte en moyenne que 3 jours par an.

**Figure 6 : Courbe des débits classés du Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos.**



**Tableau 12 : Volumes d'eau écoulés à la source de Saint-Pons à Gémenos (1997-2021) (données : banque HYDRO).**

**La source de St-Pons qui conditionne la quasi-totalité des débits du Fauge confère au ruisseau un régime hydrologique que l'on peut qualifier d'atypique.**

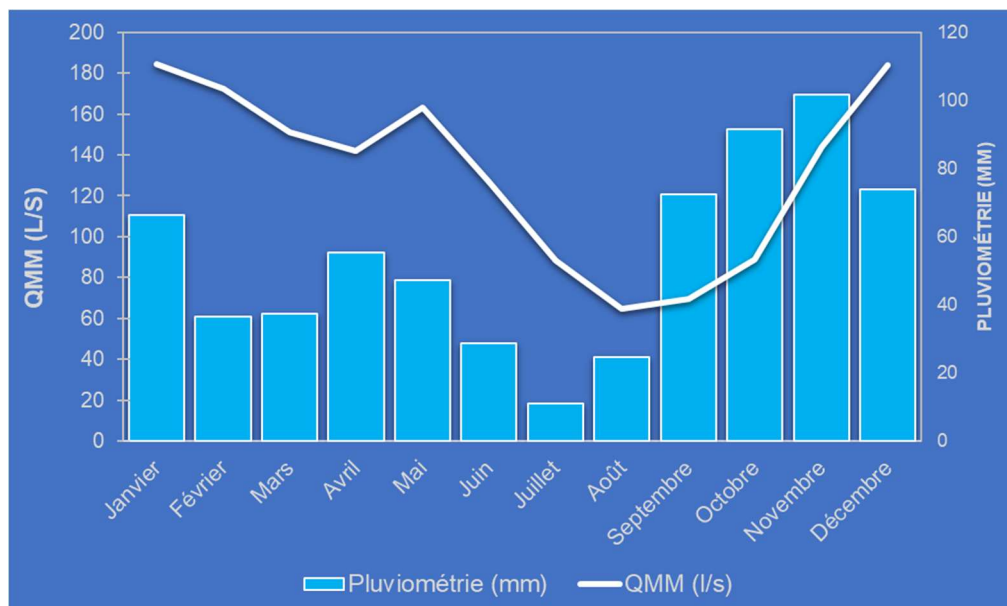
Volume total annuel	4.14 millions m3
Volume total mai-octobre	1.6 millions m3
Volume total journalier moyen le plus faible	4 600 m3
Volume total journalier le plus faible tous les 5 ans	2 980 m3

En termes de volume d'eau écoulé, le volume moyen journalier le plus faible dans l'année est de 4 600 m<sup>3</sup>. Il tombe à moins de 3000 m<sup>3</sup>/jour à une fréquence quinquennale.

#### 4.3.1.2. Influence de la pluviométrie sur la source

Cette partie vise surtout à établir une corrélation entre les débits d'étiage (juillet-août) du Fauge à la source de Saint-Pons et la pluviométrie cumulée à la station météorologique d'Aubagne.

Les pluviométries enregistrées à Aubagne semblent pertinentes même si elles ne correspondent pas directement aux précipitations qui alimentent la source pour expliquer les débits avec des décalages dans le temps qui semblent être de l'ordre d'1 mois. C'est la reprise des pluies en automne qui engendre une augmentation progressive des débits et leur soutien durant l'hiver et le début du printemps.



**Figure 7 : Débits moyens mensuels à la source de Saint-Pons à Gémenos (Y4425010) et pluviométries mensuelles à Aubagne (13005003) pour la période 1997-2021 (Données : Banque HYDRO et Météo France).**

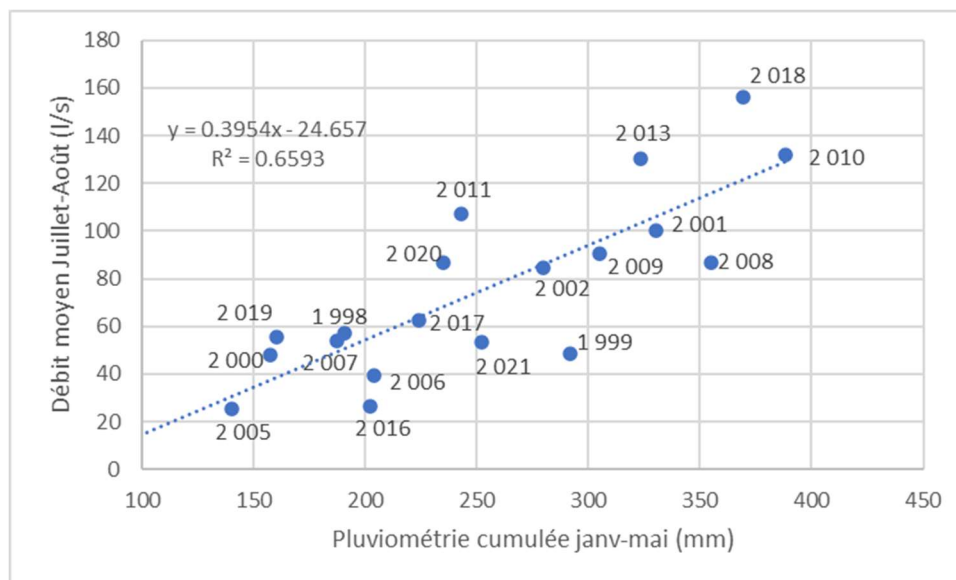
Afin de préciser les relations entre la pluviométrie et le débit de la source à St-Pons, un travail plus détaillé a été conduit pour identifier quels étaient les cumuls de précipitation qui conditionnaient de manière significative les étiages.

Plusieurs périodes de cumul de pluviométrie ont été testées :

- Octobre – mai
- Janvier – mai
- Mars – mai

Les années 1997, 2003, 2004, 2006, 2012, 2014, 2015 sont des années pour lesquelles les données des débits d'étiage de juillet août sont insuffisantes ou inexistantes. Ces années n'ont donc pas été prises en compte dans ce test.

**Les volumes d'eau s'écoulant dans le Fauge pendant l'étiage de juillet août sont significativement corrélés avec le cumul des précipitations observées à Aubagne entre janvier et mai.** C'est cette période qui fournit les meilleures relations.



**Figure 8 : Corrélation entre le débit à la source de Saint-Pons pendant l'été de juillet-août en fonction de la pluviométrie cumulée entre janvier et mai à la station d'Aubagne.**

On constate néanmoins des décalages dans la relation avec :

- Des années où les débits d'été sont plus forts que ce que pouvait laisser attendre le cumul de pluie de janvier à fin mai. Il s'agit des années 2011, 2013 et 2018. Ces écarts peuvent s'expliquer par une pluviométrie plus soutenue en juillet-août.
- Des années où le débit obtenu à la source de Saint-Pons est inférieur aux attentes au vu de la pluviométrie pendant la période de janvier à fin mai. Il s'agit des 1999, 2008, 2016 et 2021. Ceci peut également s'expliquer par une pluviométrie presque inexistante pendant juillet août.

Globalement, il est néanmoins possible d'avoir une estimation de la situation des étiages en fonction de cumul de pluviométrie obtenue à Aubagne entre janvier et fin mai :

- Si le cumul de pluviométrie est inférieur à 210 mm, la probabilité d'un étiage sévère avec moins de 60 l/s en moyenne entre juillet et août à la source de Saint-Pons est très forte,
- Si le cumul de pluviométrie obtenu entre janvier et mai est compris entre 210 mm et 360 mm, la probabilité de débits d'été compris entre 80 et 100 l/s à la source de Saint-Pons est forte,
- Si le cumul de pluviométrie obtenu entre janvier et mai est supérieur à 360 mm, les étiages en juillet-août seront supérieurs à 100 l/s à la source de Saint-Pons.

Nous proposons d'utiliser cet indicateur de cumul de pluviométrie pour anticiper des situations potentiellement difficiles en termes de gestion des débits et des prélèvements.

Cumul de pluviométrie à Aubagne (janvier-fin mai)	Situation des étiages du Fauge
<210 mm	Le risque d'un étiage critique est très fort. La probabilité de restrictions des prélèvements est forte.
210-360 mm	Le risque d'un étiage critique est fort, une vigilance doit être apportée aux prélèvements en anticipant des périodes probables de restriction selon la pluviométrie du mois de juillet
>360 mm	Le risque d'un étiage critique est faible. Les prélèvements pourront probablement être garantis sans restriction particulière.

#### 4.3.1.3. Déficits de volumes d'eau en étiage

Au cours des mois de juillet, août et septembre, le débit médian du Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos est de 66 l/s.

Le déficit hydrique annuel moyen par rapport au seuil d'étiage représenté par le  $Q_{15}$  (49 l/s) s'établit à 0.09 Mm<sup>3</sup>.

**Tableau 13 : Déficit en volume d'eau par rapport au seuil d'étiage du  $Q_{15}$  à la source de Saint-Pons à Gémenos.**

	Volumes (Mm <sup>3</sup> )
Deficit quinquennal	0.15
Deficit biennuel	0.06

La moitié des étiages du Fauge dure entre 20 et 78 jours (médiane à 51 jours). L'étiage le plus long a été observé en 2016 avec 175 jours de débits < 49 l/s. En général, les étiages interviennent à partir de mi-août et se prolongent jusqu'à la fin novembre.

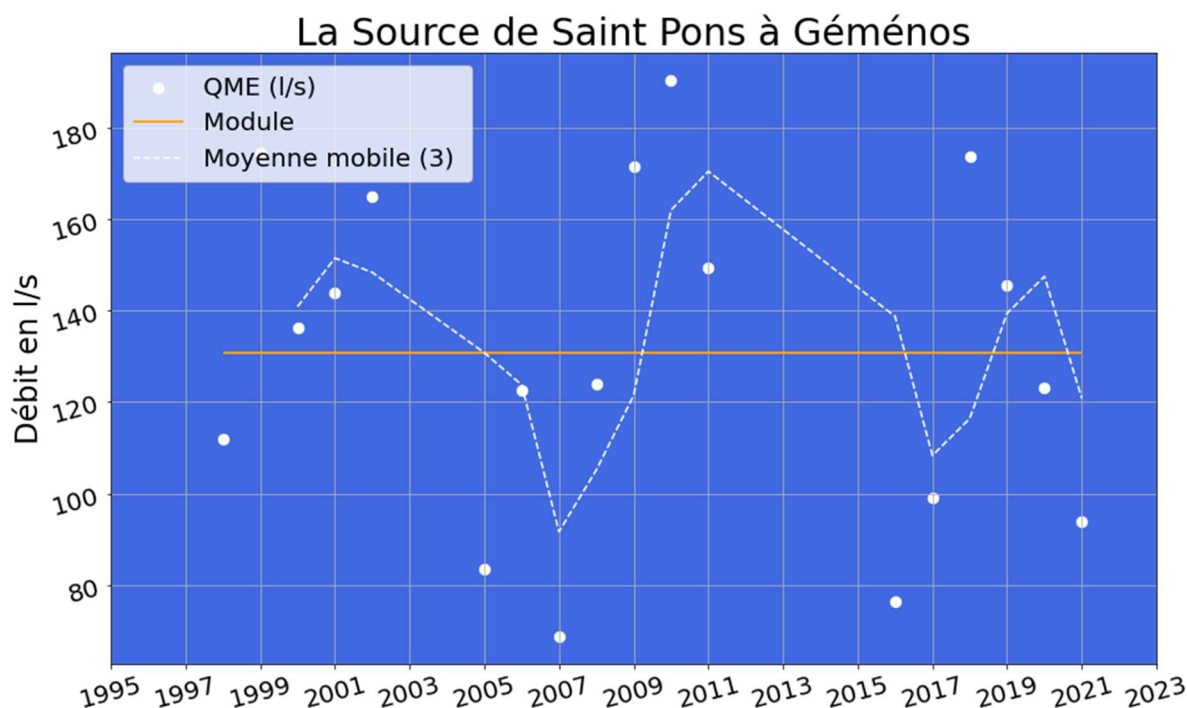
Néanmoins, sur les 17 années de suivi hydrologique complètes, il y a eu 3 années où le Fauge n'a pas été en situation d'étiage.

**Les étiages du Fauge durent en moyenne presque deux mois et se produisent quasiment tous les ans.**

#### 4.3.1.1. Évolution du module et des étiages de la source

Disposant de chroniques de 24 années, dont 17 années complètes, il est possible d'analyser l'évolution des débits sur le Fauge.

- **Le module**

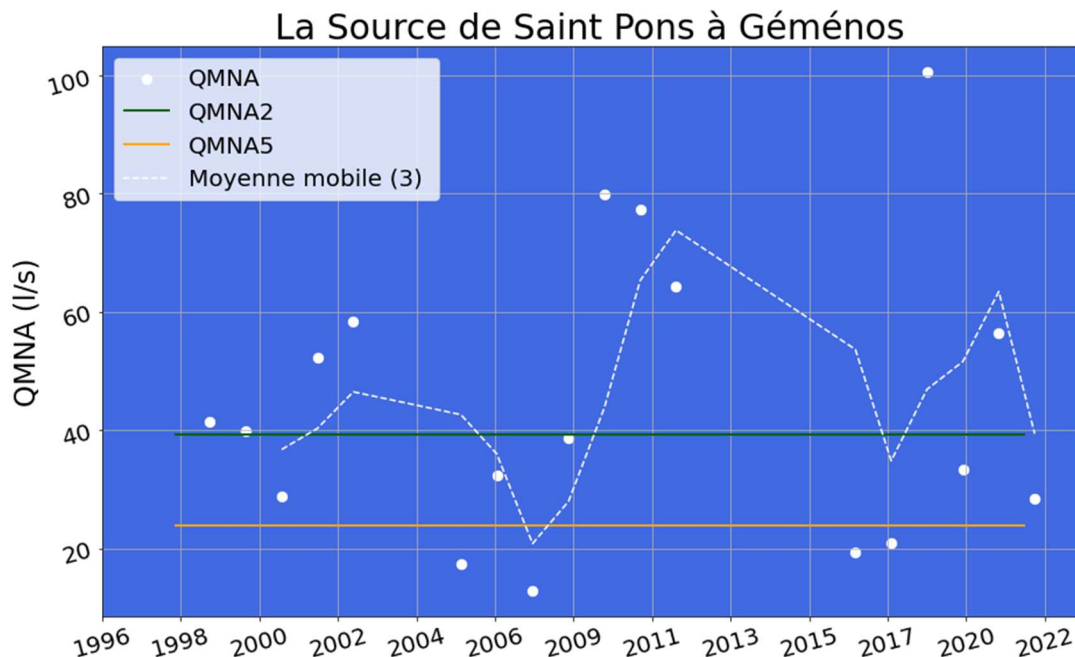


**Figure 9 : Évolution des débits moyens interannuels et projection des moyennes mobiles sur 3 ans sur le Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos.**

Les débits moyens annuels varient avec une certaine cyclicité, mais sans tendance à la baisse marquée de 1997 à 2021.

- **Les débits moyens mensuels d'été**

Comme pour le module, les débits moyens mensuels d'été varient au cours des 24 années d'enregistrement



**Figure 10 : Évolution des débits mensuels d'été et projection des moyennes mobiles sur 3 ans sur le Fauge à la source de Saint-Pons à Géménos.**

Comme pour les valeurs moyennes, les débits mensuels minimaux varient avec une certaine cyclicité, mais sans tendance marquée de 1997 à 2021.

- **Déficits en volume et durée des étiages.**

L'analyse par période de 5 ans montre une croissance des déficits de volume en étiage jusqu'à 2011 puis une stabilisation pour la période 2017-2021. La période 2012-2016 n'a pas été représentée, car les données hydrologiques des années 2012, 2013, 2014 et 2015 sont partiellement ou totalement incomplètes.

En ce qui concerne les durées, on constate une valeur homogène autour de 45 jours pour la durée des étiages.



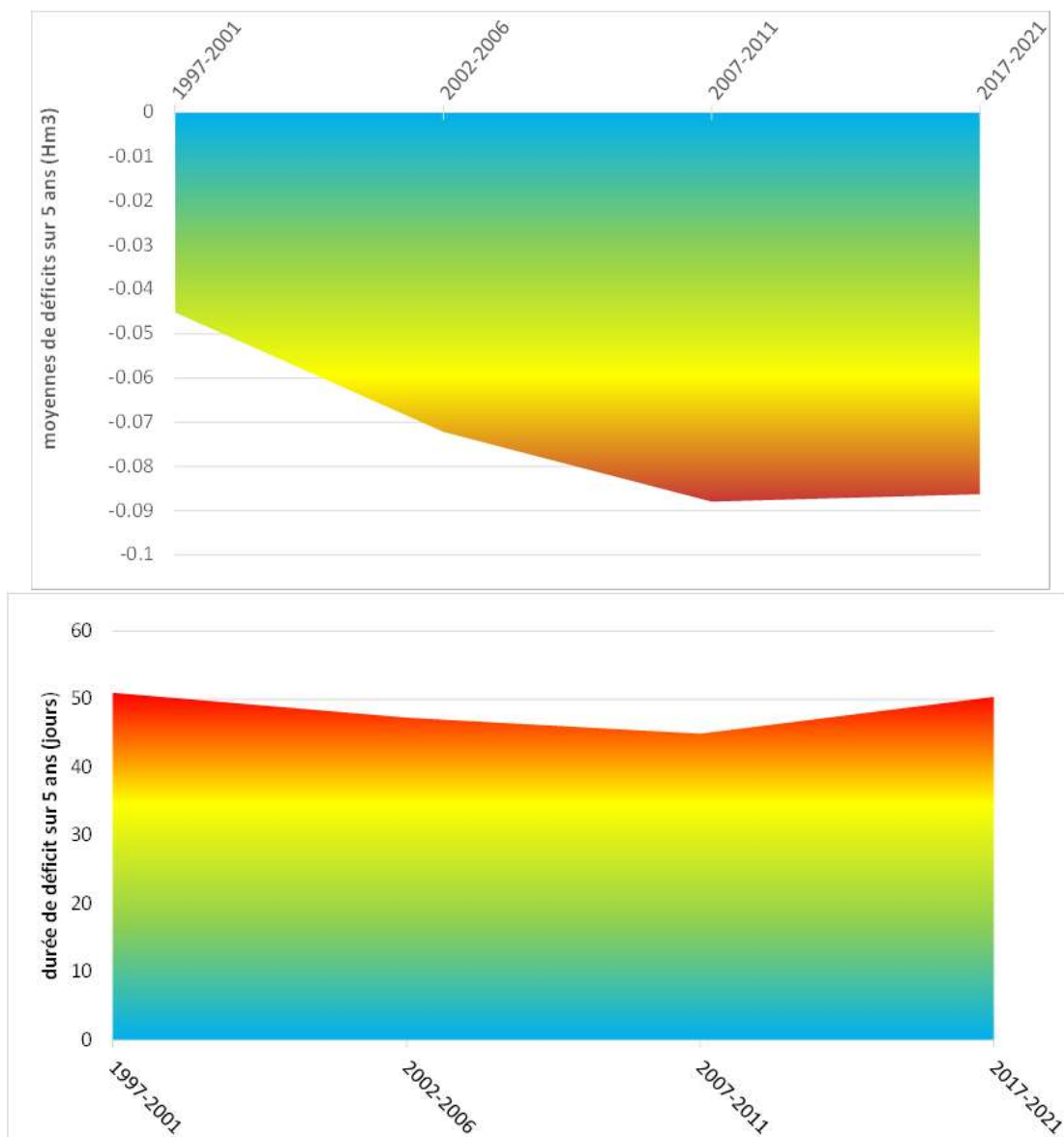


Figure 11: Évolution par périodes de 5 ans des déficits de volume en étiage ainsi que des durées d'étiage sur le Fauge à la source de Saint-Pons à Gémenos (donnée manquante entre 2012 et 2016).

#### 4.3.2. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES DÉBITS SUR LE LINÉAIRE DU FAUGE

L'objectif de ce travail était de caractériser l'évolution des débits d'amont en aval sur le Fauge ainsi que dans le canal de prélèvement.

##### 4.3.2.1. Campagnes de mesures de débits

Quatre campagnes de mesure de débit ont été réalisées en plus de l'analyse hydrologique de la source de Saint-Pons à Gémenos de façon à pouvoir caractériser l'évolution des débits en aval de la source du Fauge.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des débits mesurés dans le Fauge aux différentes campagnes de mesure.

Points de mesures	Stations	Débit (l/s)			
		09/06/2021	20/07/2021	01/11/2021	15/11/2021
Q1	Source St-Pons	115	64	81	106
Q2	Aval Source St-Pons	115	67	87	105
Q3	Canyon Fauge	15		12	
Q4	Aval PE vers Fauge	65		64	40
Q6	Vanne CD13	5		2	2
Q7	Aval station microhabitat	85	66		68
Q9	Moulin Foulon	85	63	80	70
Q10	Amont PE palette	90	55	75	65
Q11	Aval PE palette	52	49	72	60
Q16	Amont canal SEM	66	45	94	
Q17	Aval immédiat canal SEM	70		95	
Q18	Aval immédiat canal SEM - Déchetterie	70		92	
Q19	Aval canal SEM - Seuil	59		82	

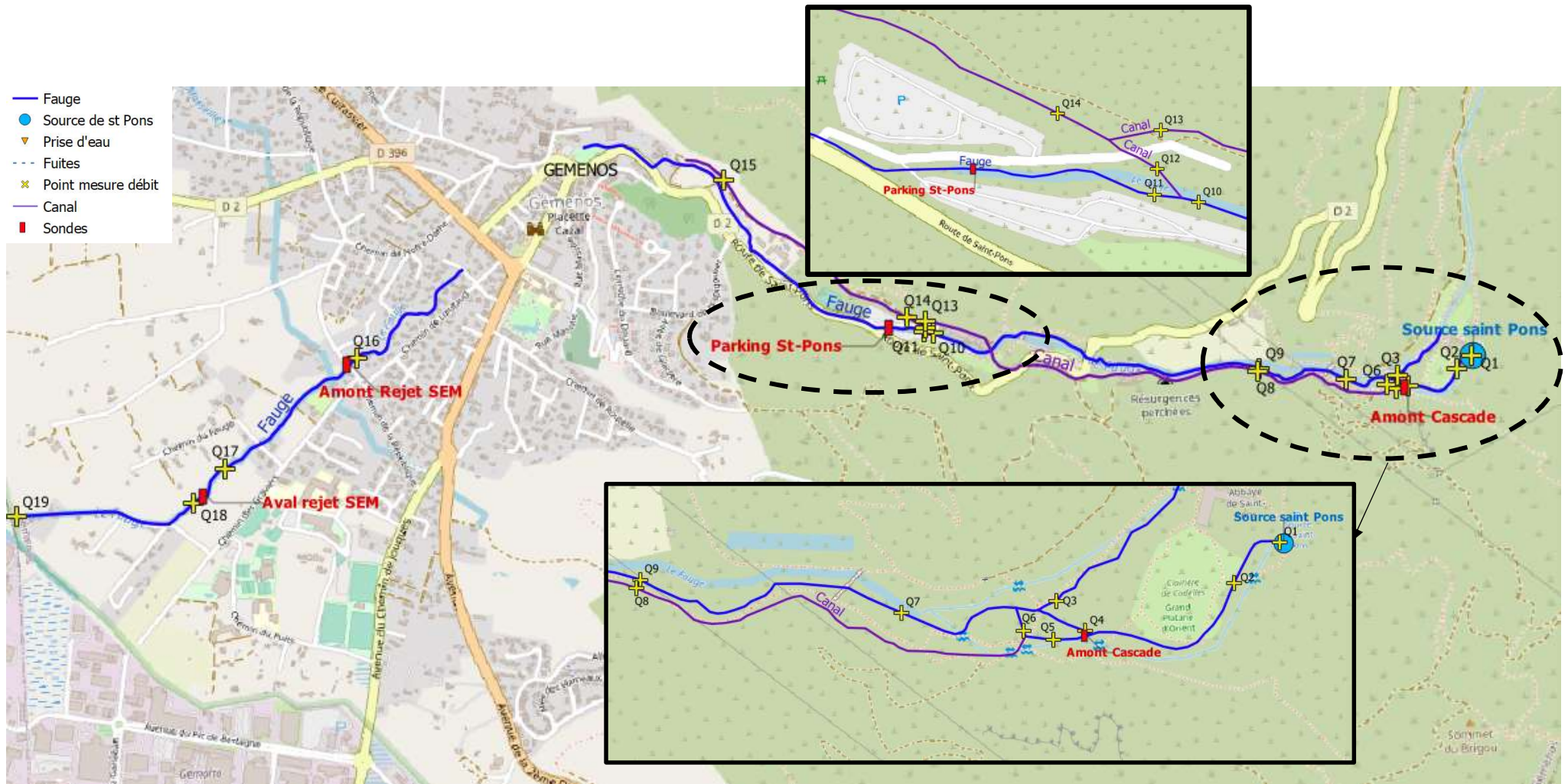


Planche 8 : Vue d'ensemble du site d'étude, de l'emplacement des mesures de débit effectuées et des sondes de niveaux installées.

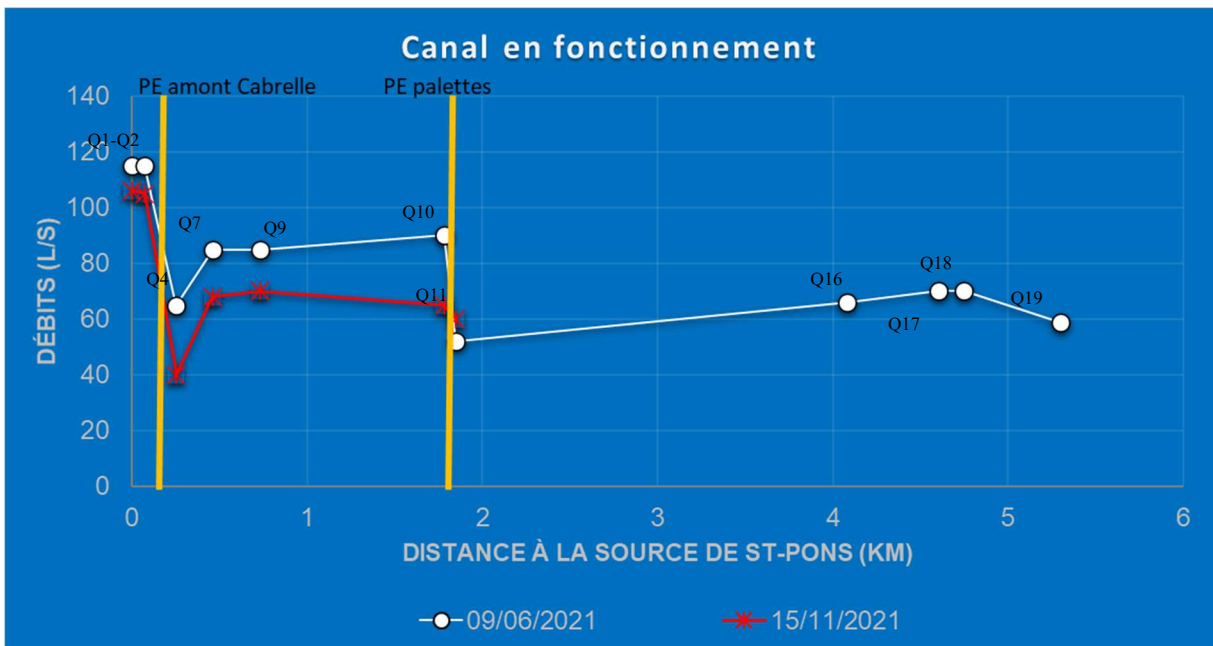


Figure 12: Évolution des débits du Fauge depuis la source jusqu'en aval de Gémenos avec le canal en fonctionnement (2 prises d'eau le 09/06 et 1 seule (PE amont) le 15/11).

Le 09/06/2021, le canal était en fonctionnement avec un prélèvement de 50 l/s à la prise d'eau de Cabrelle. Le débit du Fauge baisse immédiatement sous la prise d'eau, mais il se reconstitue assez rapidement en aval. Au passage du 1<sup>er</sup> pont sur le Fauge en aval du moulin de l'Abbaye, le débit est passé de 65 à 85 l/s avec les apports venus du canyon (15 l/s) et ceux issus de la vanne du CD13 qui était partiellement ouverte au moment des mesures.



Planche 9 : Détail des débits et des apports sur le Fauge amont le 09/06/2021.

Dans toute la traversée du Parc de St-Pons, les débits n'évoluent pas. En amont de la prise d'eau des Palettes, le débit a augmenté d'à peine 5 l/s pour atteindre 90 l/s. Il baisse à nouveau sous la prise d'eau des Palettes avec un prélèvement de 40 l/s. Après la traversée souterraine de Gémenos, le débit augmente légèrement (+14 l/s). Cette augmentation peut être liée à des apports de sources, mais également aux retours d'eau du canal des Arrosants. En aval du canal de la SEM, un apport de l'ordre de 5 l/s est observé lié à un système de trop plein installé à l'intersection entre le canal de la SEM et le Fauge. Le débit baisse ensuite avec des prélèvements de prises d'eau qui sont hors du périmètre de gestion de l'ASA.

Le 15/11/2021, seule la prise d'eau de Cabrelle était en fonctionnement. La prise d'eau des Palettes n'était pas ouverte. On observe une évolution très similaire des débits à celle de juin. Dès la 1<sup>ère</sup> passerelle, le débit du Fauge s'est reconstitué avec les apports du canyon et un retour d'eau probablement issu du réseau AEP de Gémenos. Le débit passe de 40 l/s sous la prise d'eau à 68 l/s puis 70 l/s au moulin du Foulon. En amont de la prise d'eau des Palettes, contrairement à juin, le débit baisse légèrement (-5 l/s). De même en aval de la prise d'eau des Palettes, on observe également une baisse très légère (5 l/s) alors que le prélèvement est stoppé.

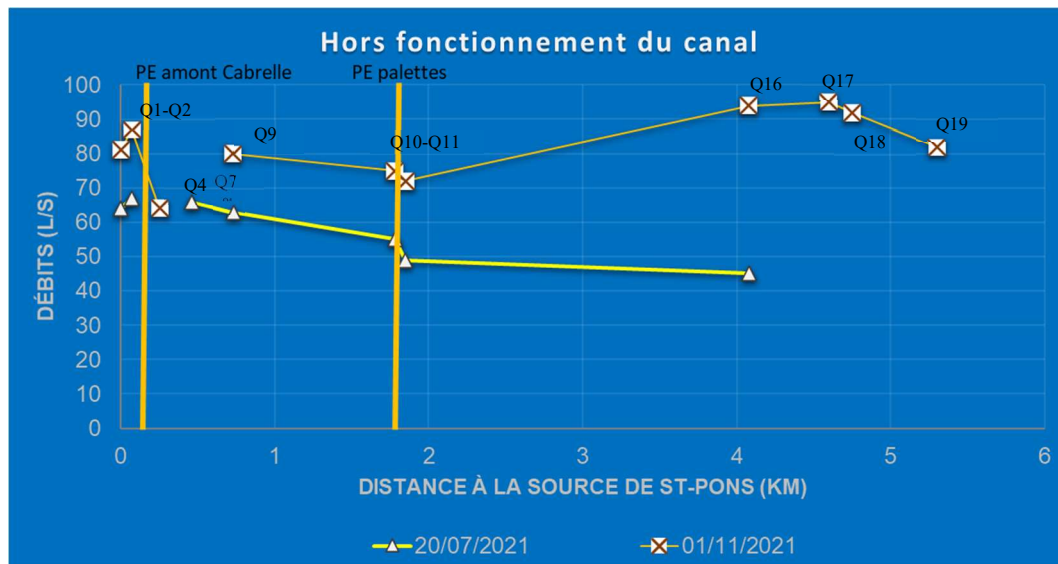


Figure 13: Évolution des débits du Fauge depuis la source jusqu'en aval de Gémenos sans fonctionnement du canal.

La campagne de mesure du 20/07/2021 a été réalisée hors fonctionnement du canal des Arrosants. Pour autant, la prise d'eau Cabrelle continuait de dériver une partie du débit vers la cascade du Moulin. Cette eau était restituée en grande partie au Fauge via la vanne du CD13 une autre continuant de s'écouler dans le canal en aval. À partir du pont aval du moulin de l'Abbaye, le débit mesuré à 66 l/s n'évolue pratiquement pas jusqu'au moulin du Foulon et diminue très légèrement arrivé à la prise d'eau des Palettes (-8 l/s). En dessous de la prise d'eau des Palettes, malgré l'absence de dérivation, le débit diminue encore légèrement (-6 l/s). Après la traversée de Gémenos, le débit diminue encore légèrement de l'ordre de 5 l/s.

Le 01/11/2021, les mesures de débits montrent une évolution assez similaire à celle de juillet. Malgré l'absence de fonctionnement du canal, une partie du débit (20 l/s) était dérivée à la prise Cabrelle puis restituée plus en aval par les vannes du CD13 implantées sur le canal. Comme en juillet, le débit du Fauge reste stable entre le moulin de l'Abbaye et celui du Foulon. Il diminue très légèrement (-5 l/s) juste en amont de la prise d'eau des Palettes. En aval de Gémenos, le débit augmente nettement de l'ordre de 20 l/s. Les mesures ont été réalisées dans une période de pluviométrie assez soutenue (27 mm le 30/10/2021 et 24 mm le 01/11/2021) pouvant conduire à des apports du bassin versant et des ruissellements de surface dans cette partie aval.

#### 4.3.2.2. Zoom sur les circulations d'eau au niveau de la source de St-Pons

Des observations spécifiques ont permis d'identifier les circulations d'eau au niveau et en aval de la source de St-Pons.

##### ➤ Captages d'eau au niveau des bassins de la source de St-Pons

Au sein du bassin de la source, il existe 3 points de captage :

- Un point alimentant une ancienne conduite AEP de Gémenos. La vanne implantée dans le regard est a priori fermée, mais de l'eau s'écoule en permanence dans la conduite comme le montre une fuite observée immédiatement en aval sur la conduite. Le débit de fuite dans cette conduite n'a pas pu être évalué.



**Photos 38 et 39 : ancien captage AEP au niveau de la source.**

- Un point constitué par une vannette qui servait à l'alimentation du canal d'irrigation des prairies proches de l'Abbaye. Ce canal n'est plus fonctionnel, la vannette est fermée avec des fuites très minimales.



**Photos 40 et 41 : Vannette alimentant l'ancien canal d'irrigation des prairies de l'Abbaye.**

- Un point de prélèvement relié à un tuyau PEHD alimentant la fontaine de l'Abbaye (1-2 l/s)



**Photos 42 et 43 : Tuyau PEHD issu du bassin de la source alimentant la fontaine de l'Abbaye.**

➤ Autres circulations d'eau

Plusieurs circulations d'eau ont été identifiées au droit de la source de St-Pons

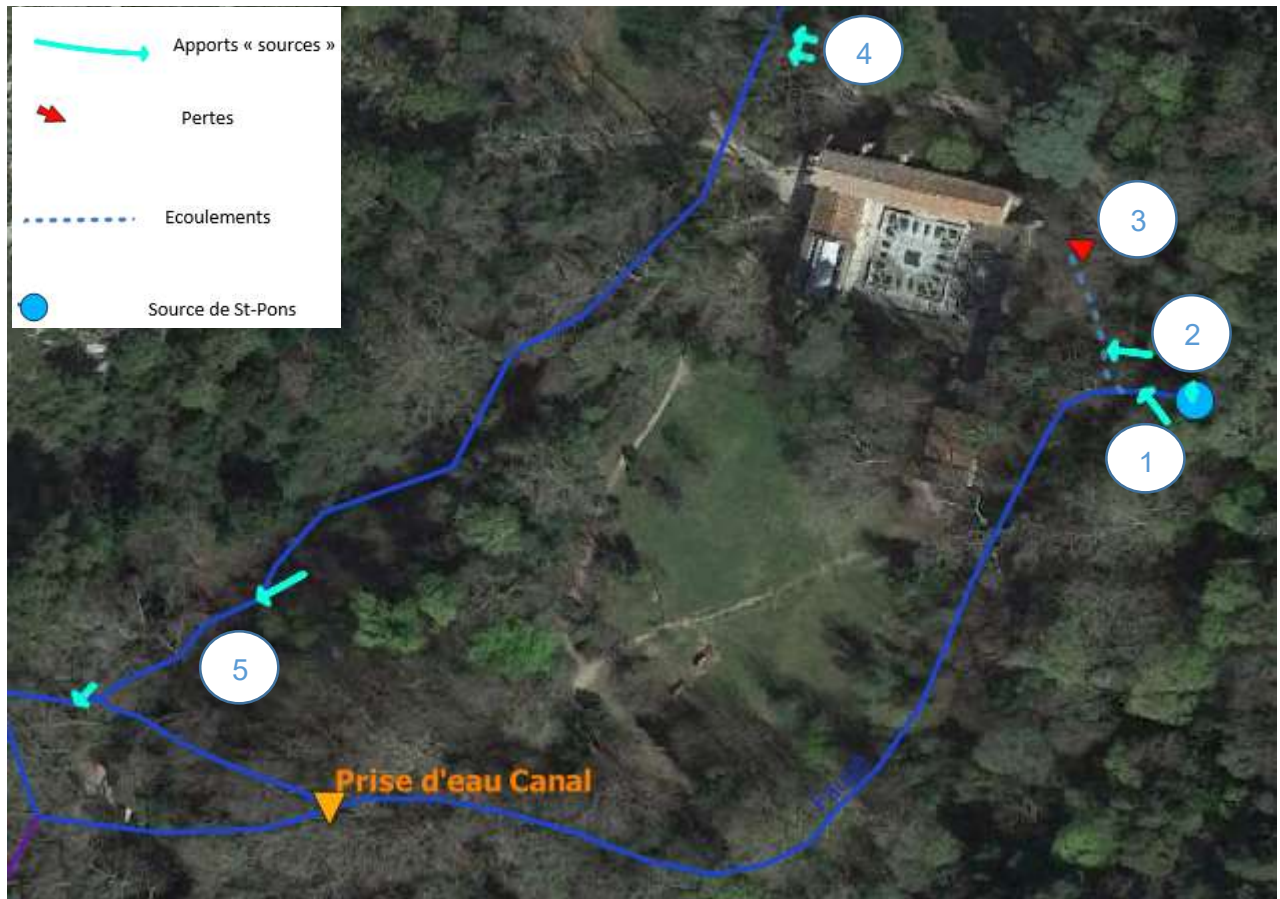


Planche 10 : « Circulations » d'eau au niveau de la source.

- 1 • Un apport en rive gauche confluent avec le Fauge environ 20-25 m en aval du bassin. En juin et novembre, cet apport était de l'ordre de 3 à 5 l/s



- 2 • Deux apports en rive droite sous la source, l'un confluent avec le Fauge (1-2 l/s), l'autre alimentant un écoulement vers une perte (2-5 l/s).



- 3 • . Une perte aménagée avec une grille en amont de l'Abbaye,

- 4 • Des apports en rive gauche du canyon du Fauge de l'ordre de 2-5 l/s, apports issus des pertes amont de l'Abbaye.

- 5 • Deux apports issus de retours d'eau des galeries AEP débouchant dans le canyon (1-2 l/s) ou immédiatement en aval (2-3 l/s).





L'ensemble de ces différentes « circulations » d'eau conduit :

- À une réduction du débit de la source probablement de l'ordre de 2-5 l/s qu'il conviendrait malgré tout de préciser avec les fuites de l'ancienne conduite AEP,
- Une compensation par les apports de la source rive gauche en aval du bassin,
- Un transfert de débit vers le canyon de l'ordre de 5 à 15 l/s en comptant les apports de la galerie AEP.

**Le Fauge en amont de la cascade et donc en sortie de canyon présente un débit permanent de l'ordre de 5 à 20 l/s entre le printemps et le début de l'automne. Ces apports participent aux conditions de débits de donc de maintien des habitats dans la traversée du Parc de St-Pons.**



**Photos 44 et 45: Le Fauge au niveau du canyon en amont de la cascade alimenté par les retours de débit issus des pertes de la source.**

#### 4.3.2.3. Bilan de l'évolution des débits le long du Fauge

La source de St-Pons accompagnée de ses apports latéraux constitue bien la ressource hydrique essentielle voir unique pour le Fauge en étiage. Elle assure le maintien des débits le long du cours d'eau. En effet, en situation d'étiage, l'ensemble du bassin versant (5 km<sup>2</sup>) situé entre les deux prises d'eau du canal n'apporte pas d'eau. On observe même une légère diminution à certaines périodes (de l'ordre de 5 à 8 l/s). Les témoignages locaux mentionnent une perte au niveau du Pont des Tompines. Dans nos reconnaissances de terrain, cette perte n'a pas été directement observée. Il reste possible que des infiltrations ponctuelles soient à l'origine de la légère diminution des débits entre le moulin du Foulon et la prise d'eau des Palettes. Toutefois, ces infiltrations restent limitées.

En aval de la prise d'eau des Palettes, on observe toujours une légère diminution des débits même si celle-ci n'est pas en fonctionnement. Elle reste toutefois limitée (3-5 l/s).

En aval de Gémenos (secteur de part et d'autre du canal de la SEM), les débits se reconstituent comme le montrent les deux campagnes de mesures du printemps (52 à 66 l/s) et de l'automne (de 72 à 94 l/s). Cette reconstitution peut être liée à la fois aux retours de débits du canal et aux apports du bassin versant. Toutefois, en été, en l'absence de prélèvements du canal, le débit a diminué en relation probablement avec des pompages directs dans le Fauge.

Plus en aval, le débit du Fauge peut diminuer assez nettement voir passer en assec. **La présence de trois prises d'eau (hors gestion ASA) avec un système de barrage amovible (tôles) peut conduire à la dérivation totale du débit (observations de la FDAAPPMA 13).**

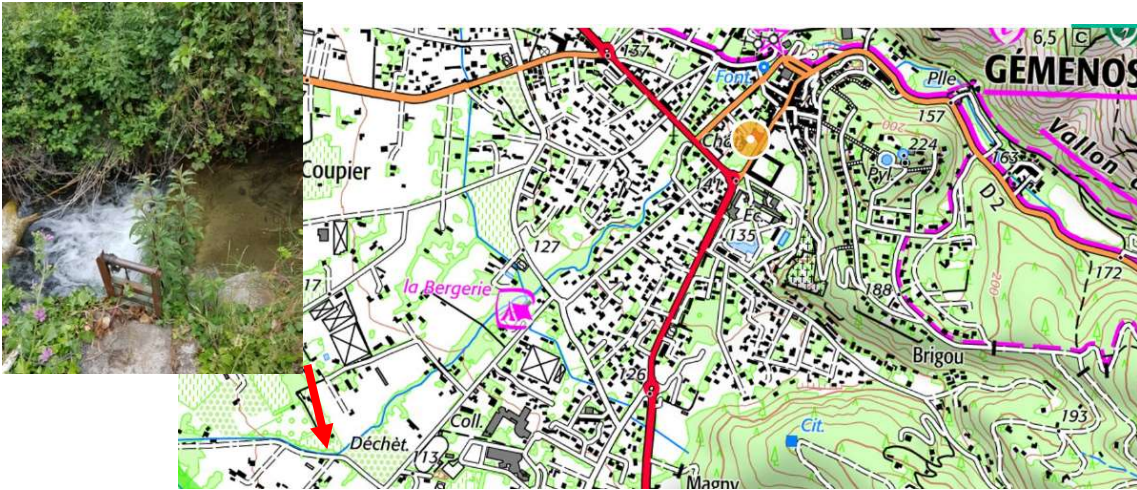


Planche 11 : Prélèvements d'eau sur le Fauge en aval de Gémenos.

#### 4.4. SUIVIS EN CONTINU DES HAUTEURS D'EAU DU FAUGE EN 2021

Le suivi par sonde a permis de réaliser une analyse de l'évolution des variations de hauteur d'eau le long du Fauge de l'amont vers l'aval.

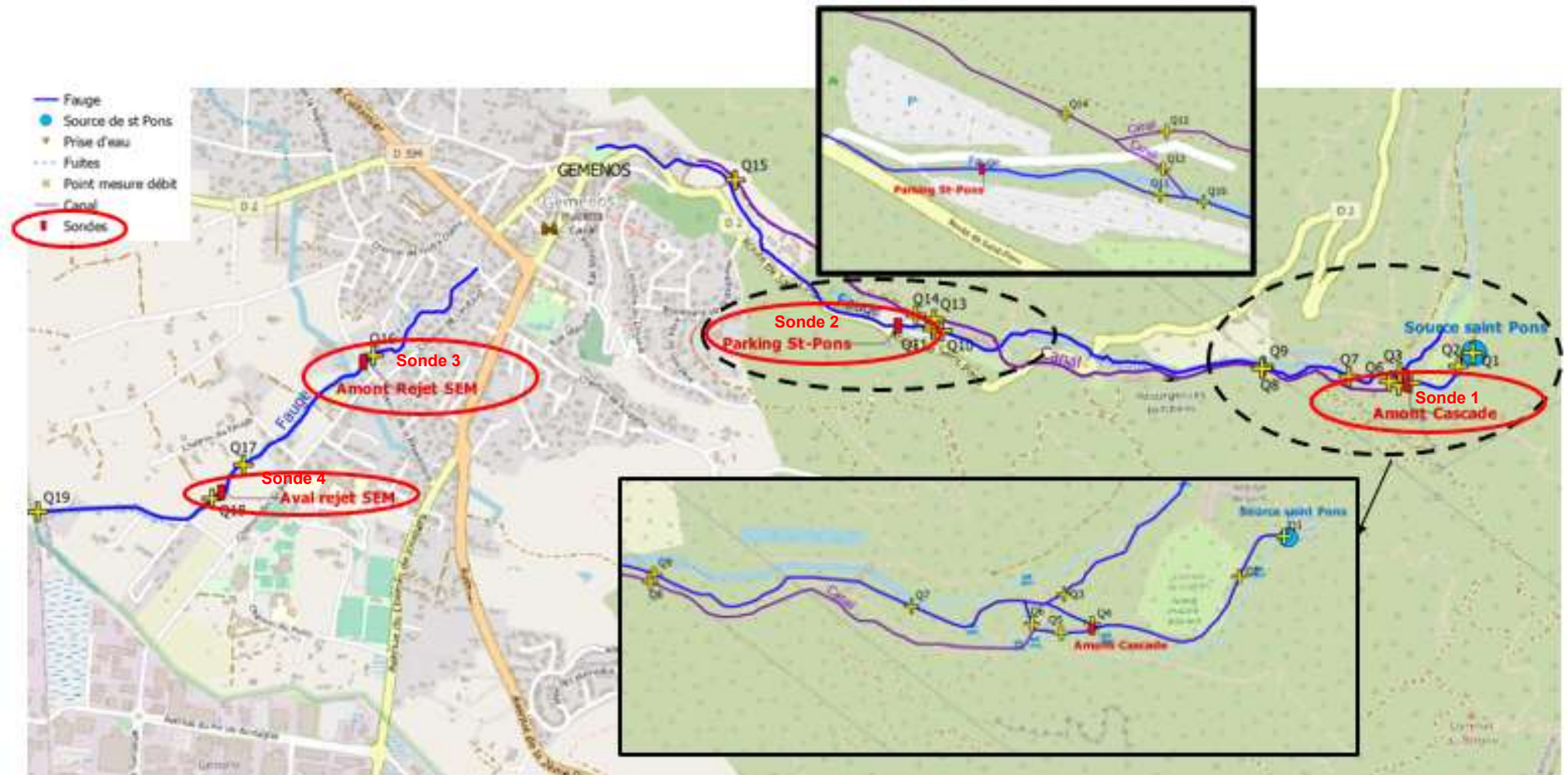


Planche 12 : Vue d'ensemble du site d'étude et de l'emplacement des sondes de niveaux installées.

#### 4.4.1. HAUTEURS D'EAU MOYENNES MENSUELLES

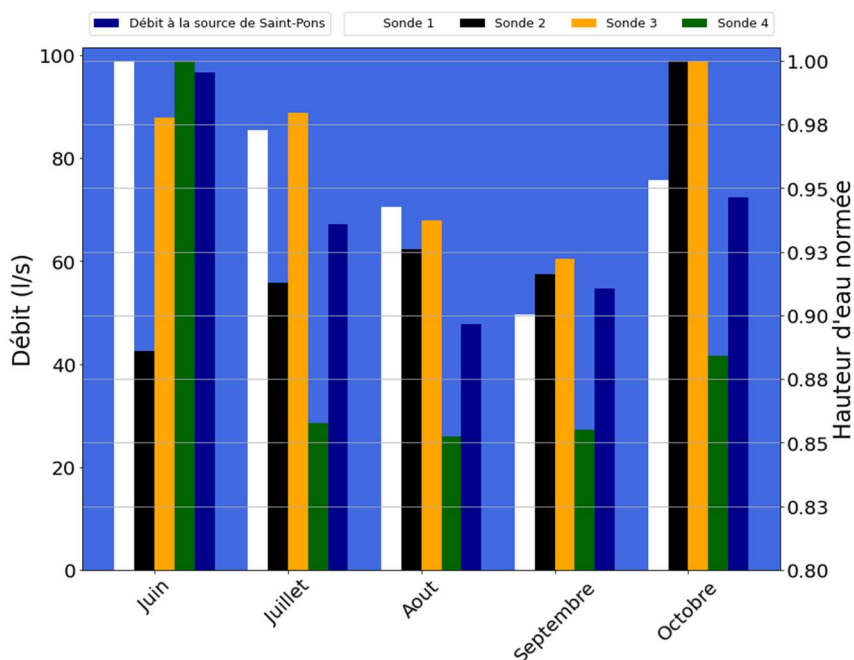


Figure 14 : Hauteur d'eau moyenne mensuelle normée

Les hauteurs d'eau moyennes mensuelles varient pour les 4 stations de suivi au cours des 6 mois. Les variations de hauteurs d'eau de la sonde 1 située au niveau du canal de prise d'eau suivent directement les débits moyens mensuels de la source de St-Pons.

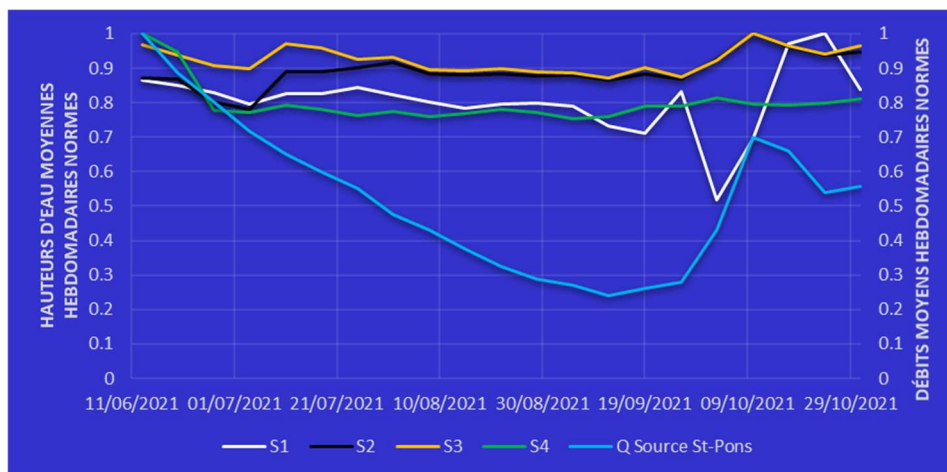
Les hauteurs d'eau moyennes mensuelles de la sonde 2 située en aval de la prise d'eau des Palettes ne suivent pas directement le débit de la source. Son évolution est caractérisée par un minimum en juin puis une tendance à la hausse jusqu'en août ; son maximum est atteint en octobre. Les niveaux d'eau du Fauge sont influencés par les prélèvements du canal puis lorsque ceux-ci s'arrêtent par le débit de la source.

La sonde 3 située en amont du rejet de la SEM présente un comportement différent. Les hauteurs moyennes sont quasi similaires entre juin et juillet alors que le débit de la source du Fauge a baissé. Elles sont directement influencées par les prélèvements et les restitutions du canal des Arrosants. Ensuite, à partir d'août, elle suit le débit de la source.

L'évolution de la hauteur d'eau de la sonde 4 située en aval de Gémenos et du canal de la SEM, est caractérisée par un maximum en juin puis une baisse importante pendant l'étiage suivi par une remontée en octobre. Cette partie du Fauge est influencée à la fois par les prélèvements amont, la pluviométrie et les apports du canal de la SEM.

#### 4.4.2. HAUTEURS D'EAU MOYENNES HEBDOMADAIRES

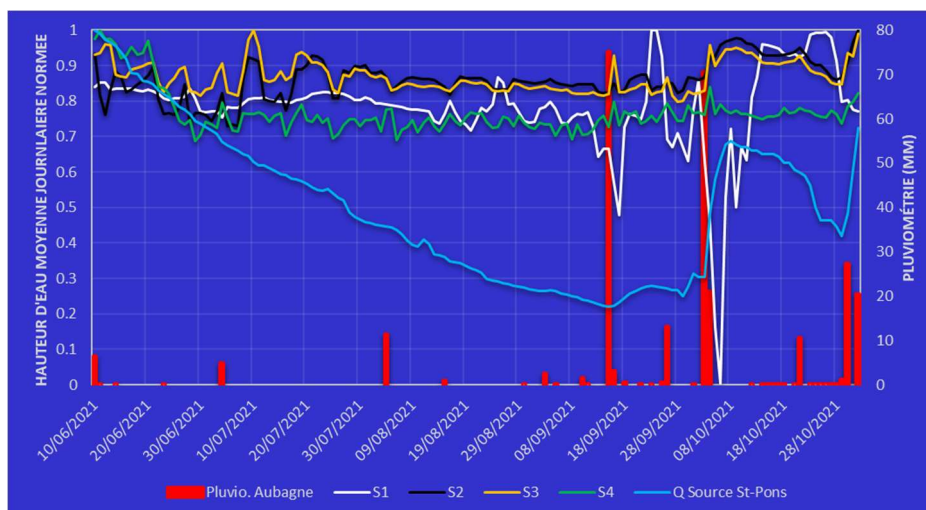
À l'échelle hebdomadaire, les variations de hauteurs d'eau des différents points ne suivent pas directement les débits de la source de St-Pons. Pour la sonde 1 au niveau du canal de prise d'eau, on observe globalement une diminution entre juin et le début du mois de septembre en même temps que la baisse des débits de la source, mais avec des variations pouvant être liées à la gestion du canal. La baisse de début octobre est liée à la fermeture de la prise d'eau Cabrelle pour des travaux au niveau de la cascade du moulin de l'Abbaye.



**Figure 15 : Hauteur d'eau moyenne hebdomadaire normée et débit moyen hebdomadaire à la source de Saint-Pons**

Les sondes 2 et 3 ont des amplitudes de variations différentes jusqu'à mi-juillet c'est-à-dire pendant la période de prélèvement sur le canal. Après cette date, les deux courbes se suivent et leurs évolutions semblent cohérentes avec l'évolution du débit à la source de Saint-Pons. Concernant la sonde 4 en aval de Gémenos, on observe une chute rapide de la hauteur d'eau à la mi-juin puis une baisse régulière suivant les débits de la source.

#### 4.4.3. HAUTEURS D'EAU MOYENNES JOURNALIÈRES



**Figure 16 : Hauteur d'eau moyenne quotidienne normée et pluviométrie quotidienne à Aubagne.**

L'analyse des hauteurs d'eau moyennes à l'échelle journalière montre que les variabilités sont significatives notamment pour les sondes 2, 3 et 4 qui sont situées en aval des deux prises d'eau du canal. Les fortes variations de la sonde 1 à partir de septembre sont directement liées aux coupures induites par les travaux du CD13 sur la cascade du moulin.

On observe surtout des variations journalières aux sondes 2 et 3 de juin à la fin du mois de juillet. Ces variations ne semblent pas liées ni aux débits de la source ni aux précipitations. Elles semblent être dues à des changements de gestion dans les prélèvements avec des manœuvres des différents vannages dans le parc de St-Pons, aux Palettes ainsi que des prélèvements directs dans le Fauge. En août et jusqu'à la mi-septembre, les variations sont très faibles. Ensuite, ce sont surtout les précipitations des orages qui font varier les niveaux d'eau.

Pour la sonde 4 en aval du rejet de la SEM, la situation est très différente. Les hauteurs moyennes journalières évoluent très différemment de celles de la sonde 3 située pourtant 600m en amont même après l'arrêt du prélèvement dans le canal. En effet, les variabilités sur la sonde 4 sont particulièrement significatives. Cette sonde est située en aval du canal dont la gestion par la SEM (*Société des eaux de Marseille*) peut entraîner quotidiennement des déversements d'eau dans le Fauge. Les variations

à cette échelle sont donc dues soit à la gestion des prises d'eau et du canal de Marseille soit à de forts cumuls de pluviométries comme on peut le voir le 15/09/2021 et le 04/10/2021.



Photos 46 et 47 : Vue du canal de la SEM et de sa restitution au Fauge.

Nous n'avons pas pu obtenir d'informations complémentaires sur les modalités de gestion du canal par la SEM.

Sur la base de plusieurs mesures de débits, nous avons pu établir une courbe de tarage de la sonde 3 en aval de Gémenos (amont canal de la SEM) et transformer ainsi les hauteurs d'eau en débit.

La comparaison de ces débits avec ceux de la source et la pluviométrie d'Aubagne confirme :

- Des variations assez importantes entre juin et juillet indépendantes des débits de la source et des précipitations (des hausses de 25 l/s, de 30 l/s le 19/07 et même de 90 l/s le 10/07),
- Une stabilité à partir d'août avec des débits de l'ordre de 20 l/s alors qu'ils diminuent sur la même période de 50 à 25 l/s à la source. À noter que les débits du Fauge à cet endroit sont inférieurs à ceux de la source, et ce malgré l'arrêt de la distribution du canal des Arrosants.
- Une influence directe des précipitations d'orage à partir de septembre et au début du mois octobre,
- Un effet de la hausse des débits de la source à partir du début du mois d'octobre.

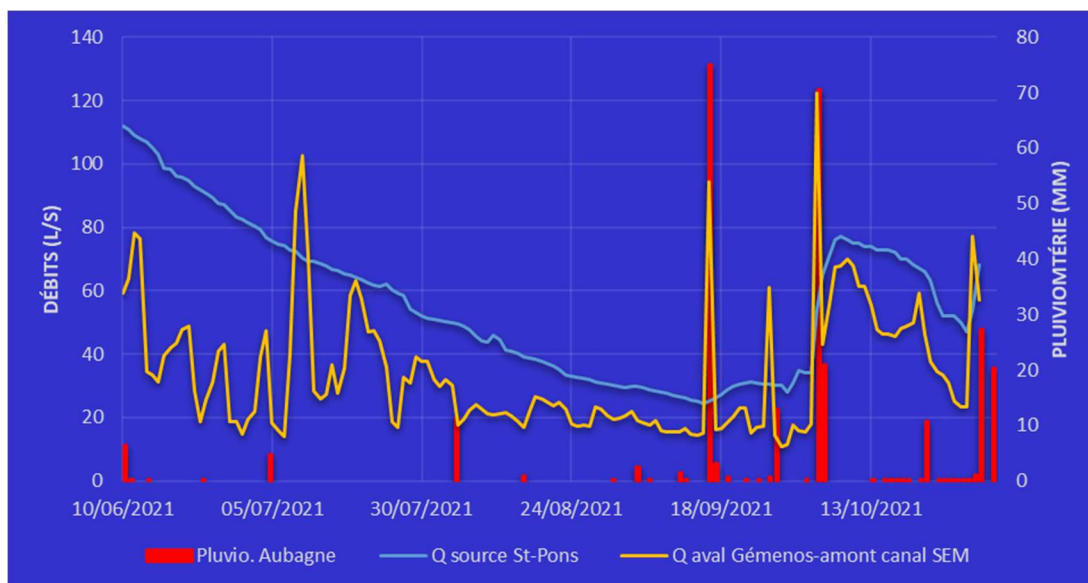


Figure 17 : Débit moyen journalier du Fauge à la source de St-Pons et en aval de Gémenos comparée à la pluviométrie quotidienne à Aubagne.

#### 4.4.4. VARIATIONS HORAIRES DES HAUTEURS D'EAU

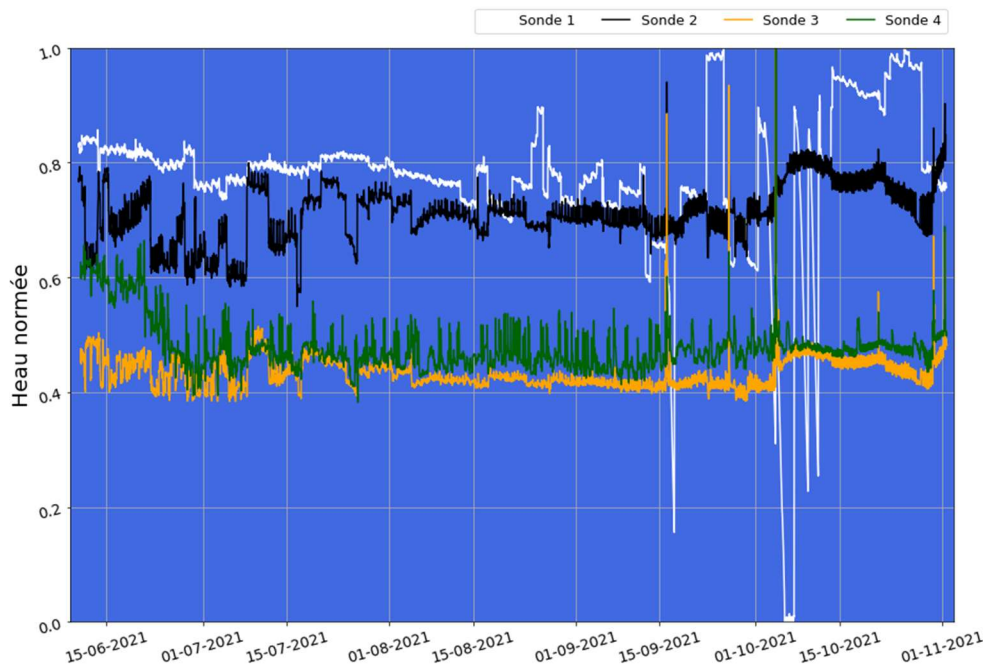


Figure 18 : Hauteur instantanée (30min) normée

Les hauteurs d'eau mesurées toutes les 30 minutes varient sur les sondes 2 et 3 pendant la période de prélèvement et même jusqu'à fin juillet. Les variations infra-journalières de la sonde 4 sont significatives jusqu'au 30 septembre qui correspond à la fin de la gestion du canal de Marseille. À partir de cette date, il n'y a plus de déversement du canal de la SEM au Fauge. Ces variations qui interviennent entre 2 à 3 fois par jour sont à peu près toujours de la même amplitude (8-12 cm) et correspondent donc à un même volume d'eau écoulé.

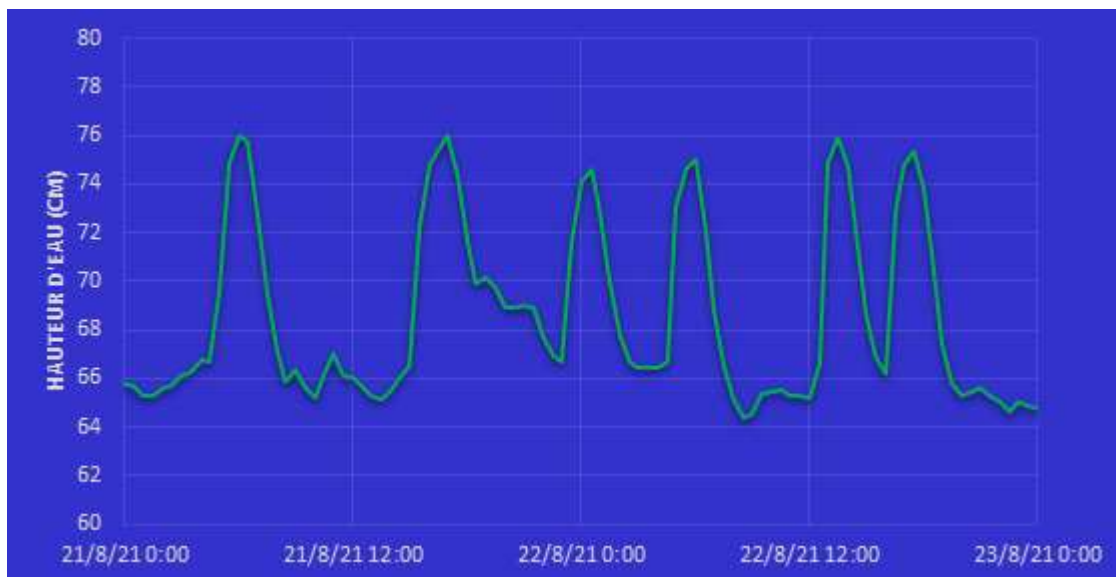


Figure 19 : Hauteur instantanée (30min) à la sonde 4 en aval du canal de la SEM sur une période de 3 jours.

#### 4.4.5. BILAN DES SUIVIS DE HAUTEURS D'EAU DU FAUGE

Les suivis des hauteurs d'eau dans le Fauge ont permis d'observer des variations que ce soit à l'échelle mensuelle, hebdomadaire, journalière ou infra-journalière. Ces variations peuvent être plus ou moins différentes selon les secteurs du Fauge. Elles dépendent :

- Des évolutions des débits de la source de St-Pons,

- Des prélèvements du canal des Arrosants avec des variations qui peuvent être assez importantes à la fois dans la traversée du Parc, sous la prise d'eau des Palettes et en aval immédiat de Gémenos. Ces variations dépendent des volumes prélevés et de la gestion des différentes vannes équipant le canal. En l'absence de prélèvement par le canal des Arrosants, les débits en aval immédiat de Gémenos ont été inférieurs de 30 à 10 l/s à ceux de la source. Cette baisse le long du Fauge confirme les pertes de quelques 8-15 l/s observées en amont et en aval de la prise des Palettes, mais également la poursuite de prélèvements directs dans le cours d'eau,
- De la gestion du canal de la SEM pour la partie aval qui génère des variations quotidiennes des débits qui paraissent assez importantes (de l'ordre de plusieurs dizaines de l/s) entraînant des élévations du niveau d'eau de l'ordre de 10-12cm au niveau de la sonde 4.

#### **4.5. BILAN DE L'ANALYSE DES DÉBITS DU FAUGE**

La source de St-Pons constitue l'unique ressource en eau en étiage du Fauge. Les débits moyens pendant les 3 mois d'été s'établissent à 70 l/s et descendent à 64 l/s en moyenne au mois d'août. Tous les deux ans, ce débit peut atteindre 34 l/s et 22 l/s tous les 5 ans.

L'abondance de la ressource en eau en été du Fauge dépend fortement de la pluviométrie mesurée à Aubagne de janvier au début du mois de juin :

- <260 mm de pluie : la situation en étiage sera critique,
- 260-400 mm : la situation pourra être difficile selon la pluviométrie des mois de juin et juillet, elle devra donc être surveillée régulièrement pour adapter la gestion,
- >400 mm : les étiages resteront soutenus.

En termes d'évolution des débits, quel que soit le tronçon du Fauge et en l'absence de précipitations dans les 48 h, le bassin versant intermédiaire (3.7 km<sup>2</sup> à la prise d'eau des Palettes, 5 km<sup>2</sup> en amont de Gémenos, 8.7 km<sup>2</sup> en aval de Gémenos (déchetterie)) ne produit pas d'eau pour la rivière.

Les seuls apports latéraux non comptabilisés au niveau de la station hydrométrique de St-Pons sont observés sous la source et permettent d'alimenter le bras de la source ainsi que le Fauge dans la partie dénommée canyon du Parc sous l'Abbaye sur 200 m environ. Les débits restitués dans cette partie varient en étiage de 5 à 20 l/s.

Des « pertes » de débits au niveau de la source doivent être mieux appréhendées (ancienne conduite AEP, fontaine de l'Abbaye).

En situation sans prélèvement ou sans variation de prélèvement sur le canal, les débits du Fauge restent stables dans la partie amont du Parc (du pont sous le moulin de l'Abbaye au moulin du Foulon). Dans la partie aval du Parc (du moulin du Foulon à l'amont de la prise d'eau des Palettes), les débits diminuent légèrement (5-10 l/s). Aucune perte importante n'a été observée lors de nos reconnaissances. La diminution des débits est peut-être liée à des infiltrations.

Lorsque le canal des Arrosants est en fonctionnement, les débits du Fauge diminuent immédiatement sous la prise d'eau de Cabrelle de 35 à 60 l/s selon la période. Ils se reconstituent grâce aux apports du canyon et aux retours ponctuels depuis les vannes du canal gérées par le CD13 soit des débits de l'ordre de 10-20 l/s. En aval de la prise d'eau des Palettes, les débits diminuent à nouveau de l'ordre de 20 à 40 l/s selon les périodes. En aval immédiat de Gémenos (amont canal de la SEM), les débits évoluent peu par rapport à l'aval de la prise d'eau des Palettes. Pendant cette période de prélèvements, on note des variations assez importantes d'une journée à l'autre et au sein même d'une journée en relation probablement avec la gestion des différentes vannes du canal. Des débits sont restitués au Fauge à certains moments à l'extrémité des deux branches du canal lorsqu'il n'y a pas de tour d'arrosage.



**Lorsque le canal des Arrosants ne fonctionne plus, les débits diminuent malgré tout le long du Fauge avec des prélèvements directs dans le cours d'eau qui ne sont pas contrôlés par l'ASA (recensement points de pompage par la FDAAPPMA 13).**

**En aval du canal de la SEM, les débits diminuent encore, mais avec des variations journalières importantes liées à des déversements du canal (trop-plein). À noter la présence de trois prises d'eau (hors gestion ASA), environ 200 m en aval de la déchetterie de Gémenos qui peuvent dériver, à certains moments, la totalité du débit du Fauge.**

**Les observations conduites en 2021 ont montré que le Fauge, malgré des débits amont de 30 à 60 l/s en étiage ne contribuait quasiment pas aux débits de l'Huveaune avec des pertes importantes conduisant à des ruptures d'écoulement au niveau de l'aval de la zone des Paluds. Pour l'amont de la zone des Paluds, les assecs dépendent des prélèvements de prises d'eau alimentant en eau les prairies en gravitaire.**

**En conséquence, il n'apparaît pas pertinent de conduire une gestion hydrologique du Fauge avec des objectifs de maintien des étiages de l'Huveaune. La gestion du Fauge doit plutôt être conduite sur la base des besoins d'usage et de maintien des habitats propres à ce bassin hydrographique.**

## 5. CARACTÉRISATION DU RÉGIME DE TEMPÉRATURE DE L'EAU

La température de l'eau est un facteur essentiel pour le fonctionnement écologique des cours d'eau. Elle conditionne les possibilités de développement des espèces, notamment des poissons. Elle est également un bon indicateur des apports d'eau souterraines, des périodes d'assec ou de ruptures d'écoulement.

### 5.1. MÉTHODOLOGIES

#### 5.1.1. INSTRUMENTATION DU COURS D'EAU

La température de l'eau a été suivie en 2021 par les 4 mêmes sondes enregistreuses de niveau d'eau du 10/06/2021 au 01/11/2021 (voir tableau 6).

Des données thermiques supplémentaires ont pu être analysées à partir des sondes installées par la Fédération de pêche du Bouches-du-Rhône le 21/03/2019 et prélevées le 02/11/2021.

		Emplacement	X L93	Y L93
<b>Sonde 1</b>	ECOGEA	Aval de la prise d'eau Cabrelle	916005	6247109
<b>Sonde 2</b>	ECOGEA	Aval de la prise d'eau des palettes	914454	6247287
<b>FAU02</b>	FDAAPPMA	PARKING ST PONS	914397	6247297
<b>Sonde 3</b>	ECOGEA	Aval de Gémenos, station d'étude aval, amont canal de Marseille	912821	6247177
<b>Sonde 4</b>	ECOGEA	Aval de Gémenos, aval canal de Marseille	912391	6246781
<b>FAU01</b>	FDAPPMA	CH LA LAVANDES-AMONT ZONE DES PALUDS	912111	6246732

**Tableau 15 : Tableau récapitulatif des sondes de suivi de la température installées par la FDAAPPMA 13 et par ECOGEA sur le Fauge.**

#### 5.1.2. ANALYSE DES DONNÉES

Les données de températures enregistrées toutes les 30 min ont permis de calculer plusieurs grandeurs :

- Les moyennes sur l'ensemble de la période, pour les mois de juillet et août
- Les températures minimales et maximales journalières,
- La moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds,
- La médiane des amplitudes journalières

Certaines de ces caractéristiques ont été confrontées aux exigences des espèces piscicoles du Fauge.

## 5.2. ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES DU FAUGE

#### 5.2.1. SITUATION EN 2021

De l'amont vers l'aval, on observe un gradient de température important. Pendant la période de juin à novembre, la température dans la partie amont du Fauge est d'environ de 14°C contre 19 °C en aval de Gémenos. Les mois de juillet et août sont particulièrement chauds en aval du Fauge avec une moyenne de 20.5 °C en aval du canal de la SEM et de 18 °C en amont du même canal.

En amont du Fauge, les températures journalières varient entre 12°C au minimum et 18 °C au maximum, enregistré pendant le mois d'août.

De la même façon, en aval du Fauge, dans Gémenos jusqu'à la zone des Paluds, les températures journalières varient entre 12°C au minimum, mais montent jusqu'à 24°C au maximum au mois de juillet-août lorsque le cours d'eau reste en eau.

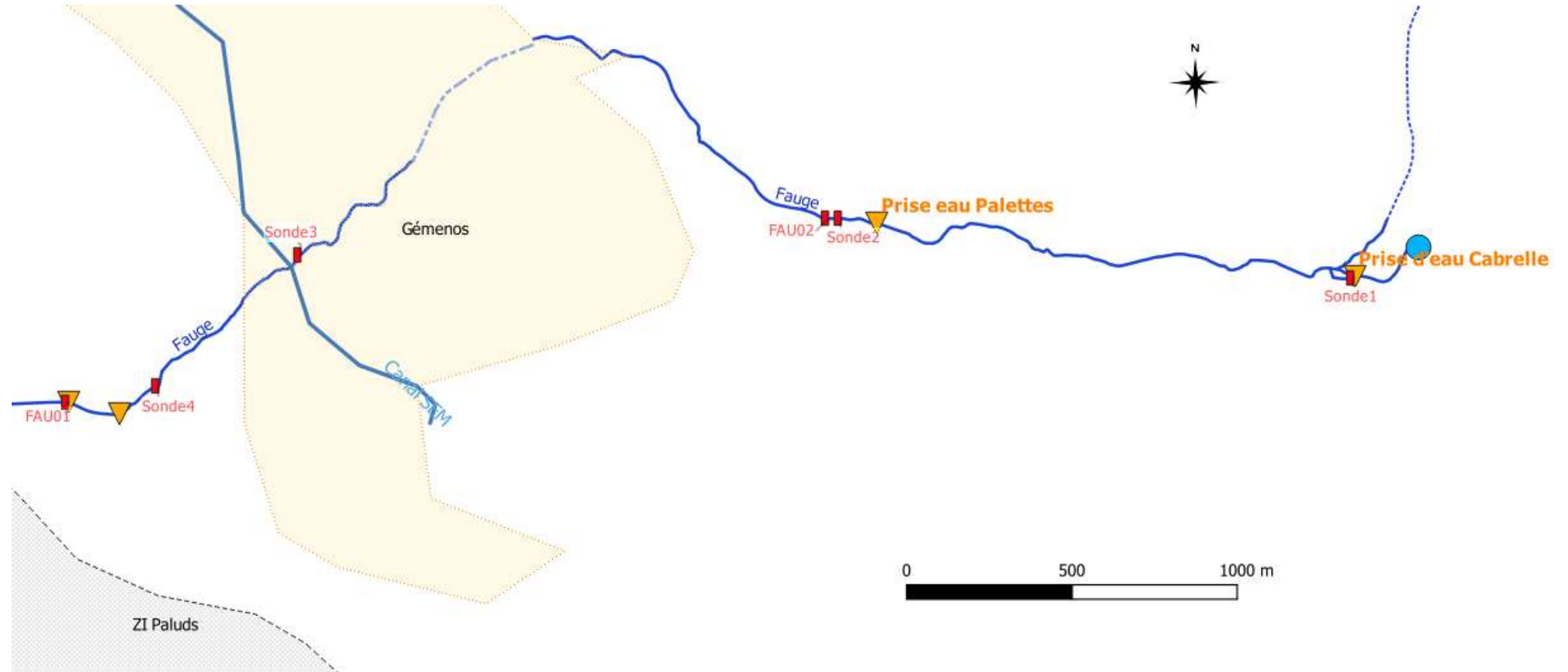
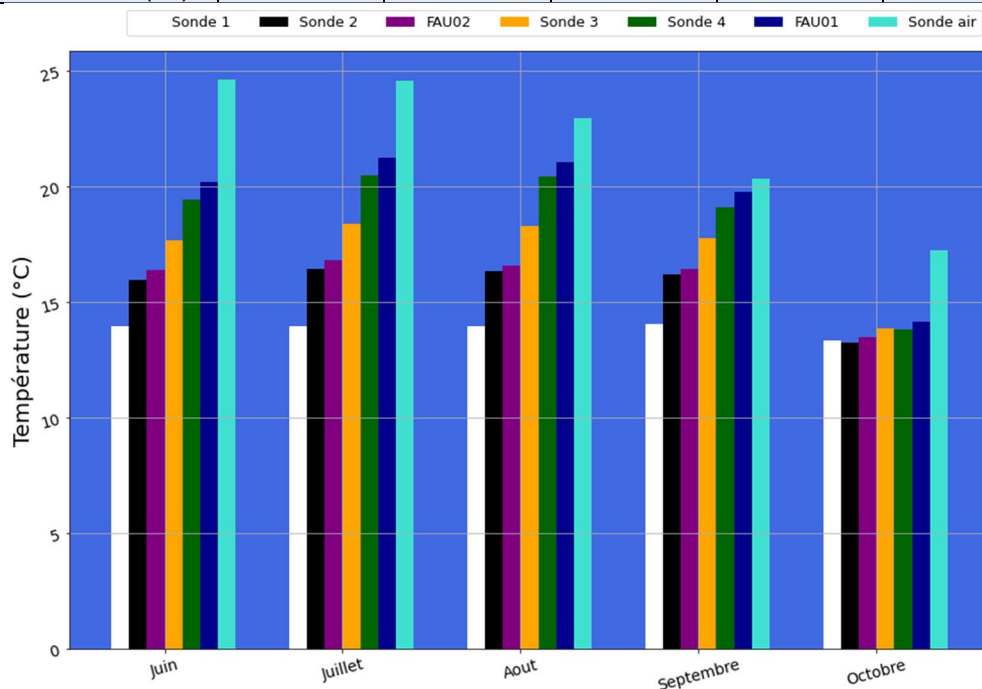


Planche 13 : Vue d'ensemble du site d'étude et de l'emplacement des sondes de température installées.

L'aval est marqué par des amplitudes journalières plus importantes qu'à l'amont avec une médiane d'environ 3.5 °C contre 2.5°C au parking de St-Pons et 0.5°C au canal de prise d'eau.

**Tableau 16 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de températures issues des données des sondes installées le long du Fauge en 2021**

Sondes (Amont vers Aval)	Sonde 1	Sonde 2	FAU02	Sonde 3	Sonde 4	FAU01
<i>Localisation</i>	Aval prise d'eau Cabrelle	Parking de Saint-Pons	Parking de Saint-Pons	Amont canal de la SEM	Aval Canal de la SEM	Amont Zone des Paluds
<i>Moyenne de la période (°C)</i>	13.85	15.61	16.14	17.15	18.57	19.23
<i>Moyenne juillet-août (°C)</i>	13.97	16.41	16.58	18.35	20.46	21.18
<i>Température maximale journalière (°C)</i>	15.10 (17/09)	18.04 (16/08)	18.34 (10/08)	20.28 (25/07)	23.15 (16/08)	24.11 (25/07)
<i>Température minimale journalière (°C)</i>	11.81 (07/10)	11.87 (27/10)	12.95 (29/10)	12.43 (27/10)	12.12 (26/10)	12.39 (27/10)
<i>Médiane des amplitudes journalière (°C)</i>	0.54	2.42	2.13	3.6	3.66	2.13
<i>Moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds (°C)</i>	14.7	18.4	18.4	20	23.2	24



**Figure 20: Température moyenne mensuelle**

Pour chacune des sondes, les températures moyennes mensuelles restent assez stables entre juin et août. Elles sont inférieures à 15°C à la source, comprises entre 16.5 et 17°C au parking de St-Pons, entre 17.5 et 18.5°C en aval immédiat de Gémenos et supérieures à 20°C en aval du canal de la SEM. Les eaux du Fauge se réchauffent de manière assez significative dans la traversée du Parc de St-Pons (+2.4°C par km de rivière en moyenne pour juillet-août) puis de manière moins marquée jusqu'en aval de Gémenos (+0.9°C par km) en raison très probablement de la couverture du ruisseau dans la traversée de la ville. En revanche, dès le passage sous le canal de la SEM, le réchauffement devient très marqué (+3.4°C par km) et se poursuit en aval (+2.5°C par km).

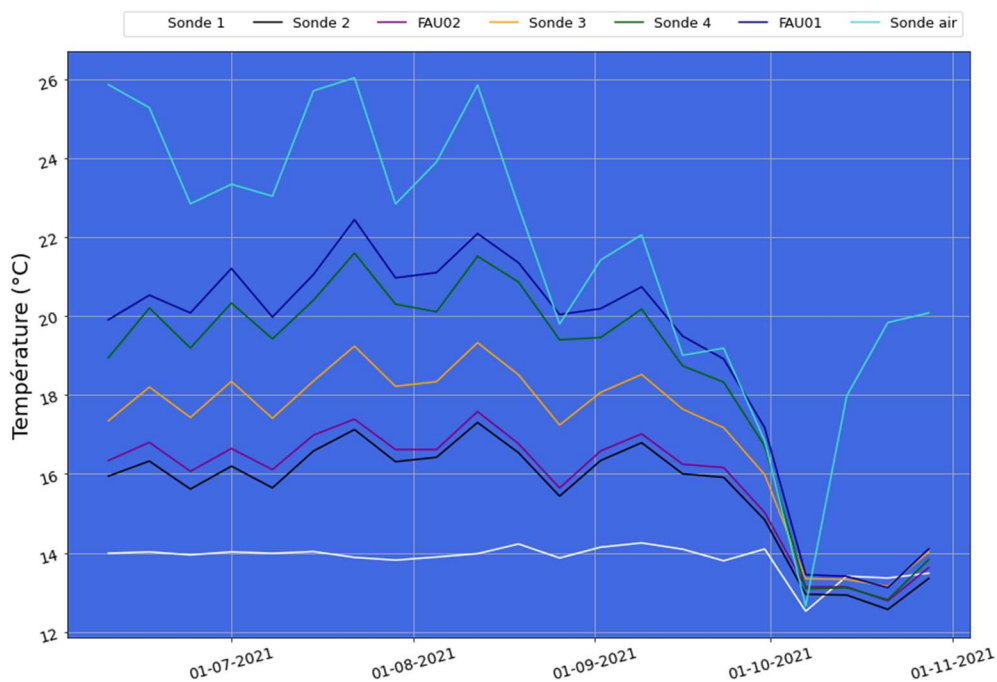


Figure 21 : Température moyenne hebdomadaire

L'analyse de la température moyenne hebdomadaire montre que le gradient de température entre les sondes 2, 3, 4, FAU01 et FAU02 est stable et suit les mêmes évolutions (dépendantes de la température de l'air) entre juillet et septembre. Les intempéries du lundi 4 octobre 2021 ont eu un impact important sur les températures du Fauge. Pendant cet évènement le gradient de température entre l'amont et l'aval n'existe plus. La température de toutes les sondes atteint 13 à 14 °C.

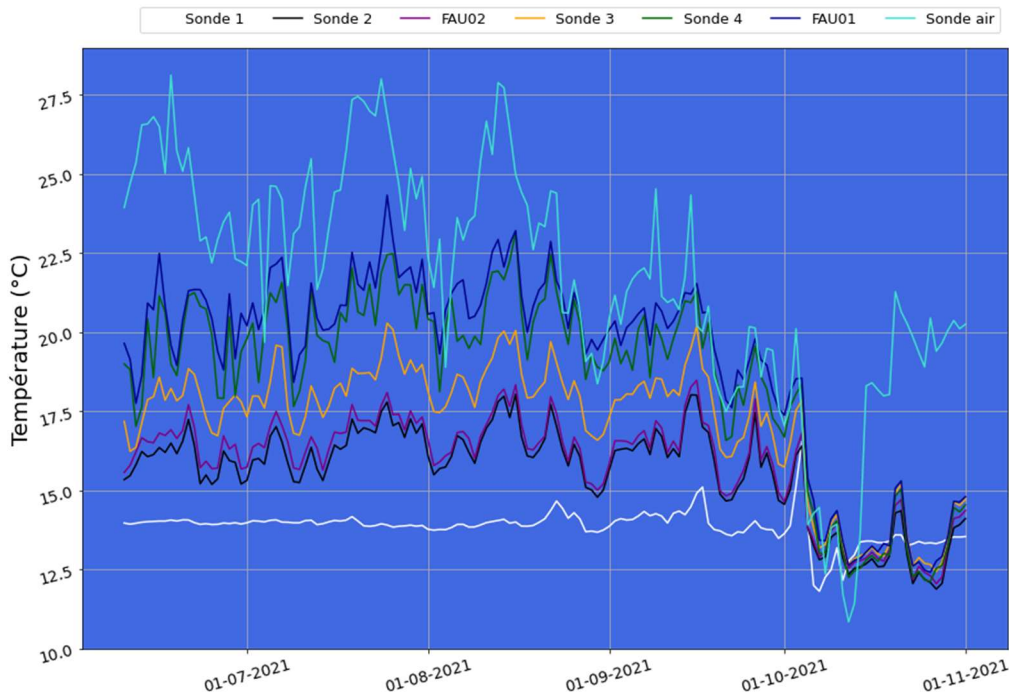
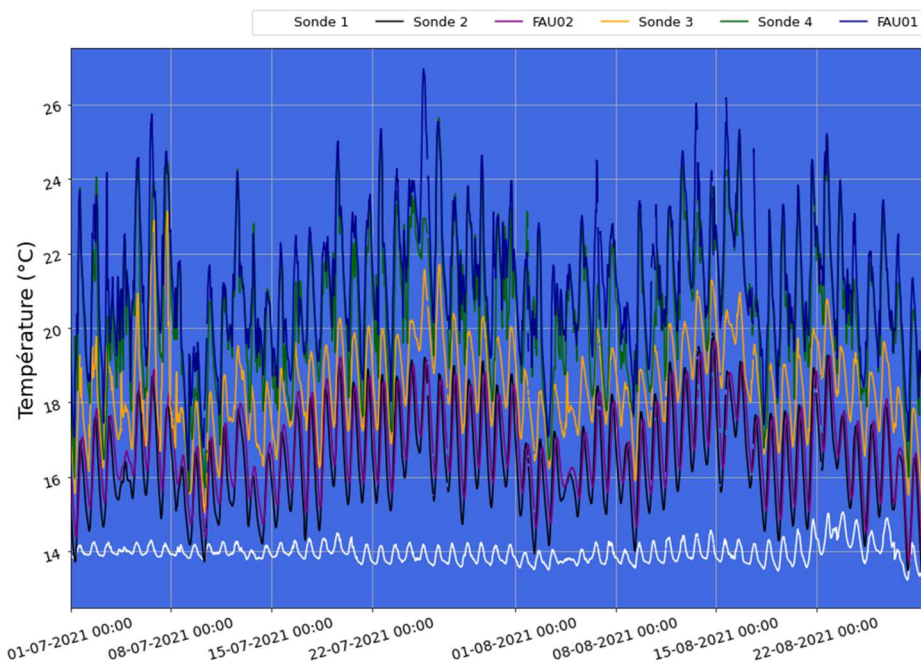


Figure 22 : Température moyenne journalière.

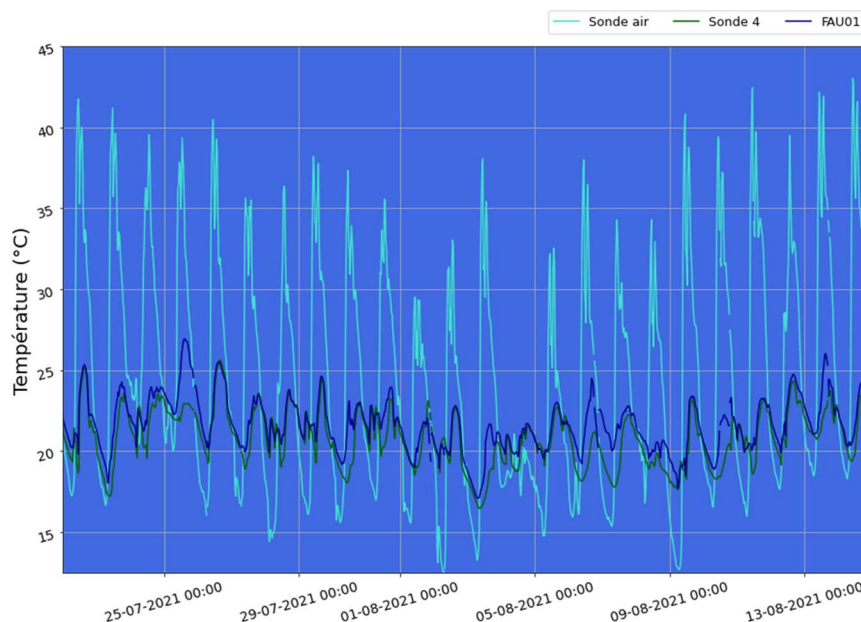
La température de la source est très stable en raison d'un écoulement souterrain. Les variations d'une journée à l'autre deviennent plus significatives après la traversée du Parc de St-Pons et surtout en aval du canal de la SEM. Les maxima journaliers ne dépassent que très peu souvent 17.5°C au parking de St-Pons (sonde 2), 19.5 °C en aval de Gémenos (sonde 3) et plus de 22.5°C en aval du canal de la SEM (sonde 4) voir même 24°C vers le 20/07/2021.



**Figure 23 : Température instantanée (30 min) de début juillet à fin août**

Les variations thermiques au cours des cycles journaliers sont un indicateur de l'effet de la température de l'air sur celle de l'eau. Dans le cas du Fauge, on note que l'eau de la source en amont est peu influencée par les variations nycthémérales. En revanche, dans la traversée du Parc, l'effet des variations atmosphériques se fait très bien sentir avec des températures de l'eau qui varient de 2 à 3°C. Après la traversée de Gémenos, on retrouve des variations journalières de l'ordre de 3 à 3.5°C avec des valeurs pouvant atteindre +5°C début juillet juste avant l'arrêt du canal.

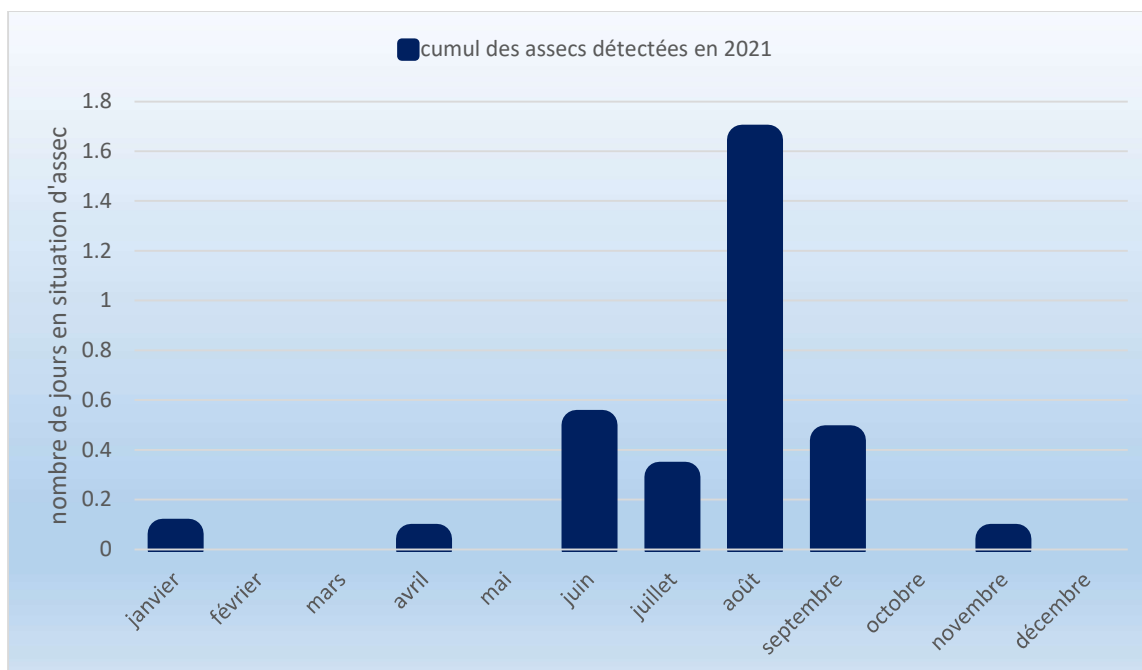
En aval du canal de la SEM, les réchauffements journaliers peuvent atteindre 4-5°C et même plus de 6°C juste en amont de la zone des Paluds avec surtout un effet des apports d'eau du canal de la SEM.



**Figure 24 : Zoom sur les hauteurs d'eau des sondes en aval du canal de la SEM et la sonde de la température de l'air**

La variabilité de la température en aval du canal de la SEM (sonde 4 et FAU01) est donc très importante. Les cycles journaliers semblent perturbés par les déversements ponctuels de l'eau du canal vers le Fauge.

### 5.2.1.1. Identification des assecs en 2021



**Figure 25 : Cumul mensuel des assecs détectés en 2021 en aval du Fauge**

En aval des trois prises d'eau situées en amont de la zone des Paluds, la sonde *FAU01*, a détecté des assecs du Fauge pendant l'année 2021 principalement pendant les mois de juin à septembre avec au maximum en août une période de 10 heures cumulées d'assec et un total d'heures équivalent à 1,6 jour cumulé pendant lequel le Fauge était en situation d'assec.

Ces assecs sont dépendants de l'eau qui est prélevée par les prises d'eau juste en amont.

### 5.2.2. VARIATIONS SUR 3 ANNÉES DE SUIVI (2019-2021)

Le suivi réalisé par la FDAAPPMA permet d'avoir des informations sur 3 années au niveau du Parking de St-Pons et en amont de la zone des Paluds.

Le comportement thermique du Fauge est clairement différent au cours des 3 années, mais également entre les 2 sites de suivi.

L'année 2019 est marquée par des pics de températures élevées sur les 2 sites et des moyennes en juillet de 19.1°C au parking de St-Pons et 21.7°C en amont de la zone des Paluds. Les deux sites présentent des variations très similaires.

L'année 2020 est une année légèrement plus « fraîche » avec une moyenne de 17.1°C et 20.9°C en août sur les deux sites. Les variations sont assez similaires, mais avec des amplitudes moins fortes au parking de St-Pons.

En 2021, les températures aval du Fauge sont à nouveau élevées (21.2°C en juillet), mais par contre, elles restent nettement plus tamponnées au parking de St-Pons (16.8°C en juillet).

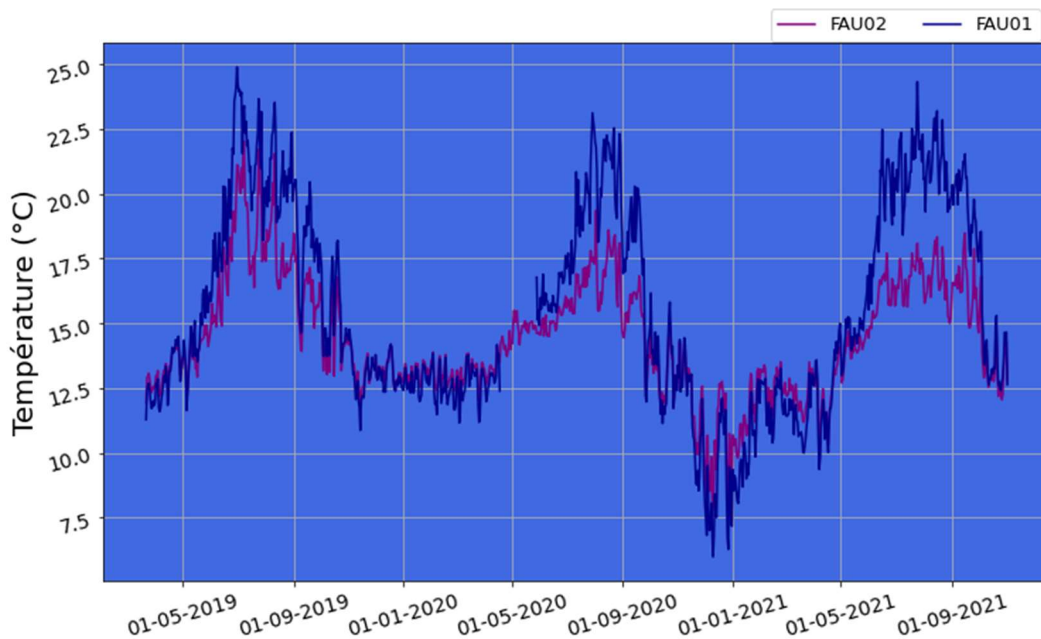


Figure 26 : Évolution des températures quotidiennes depuis 2019 sur la sonde FAU02 situé au parking de St-Pons et la sonde FAU01 situé en aval du canal de la SEM.

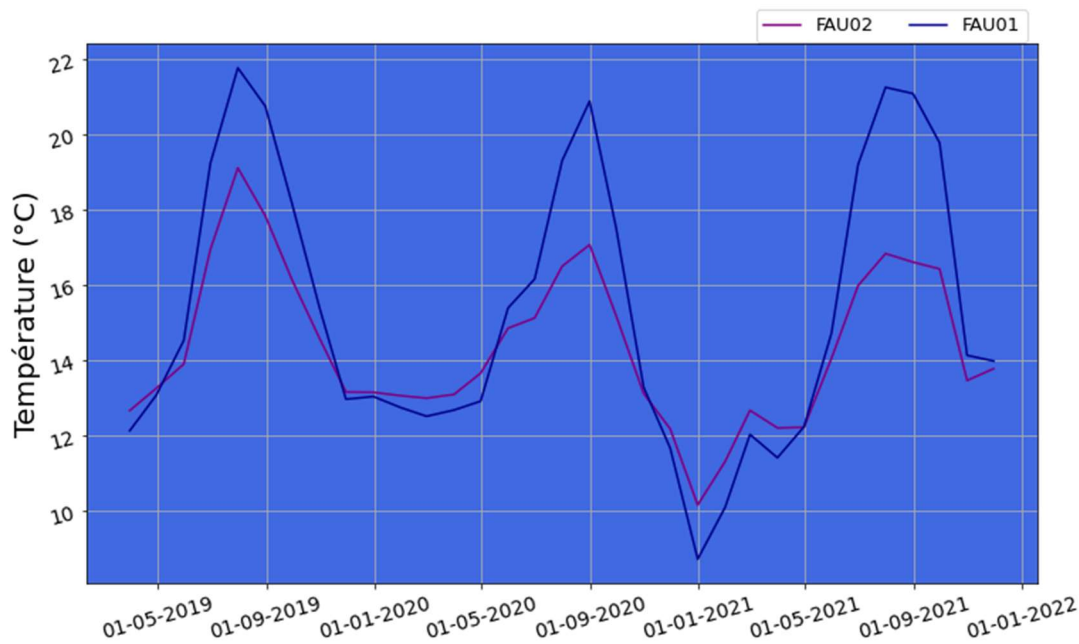


Figure 27 : Évolution des températures mensuelles depuis 2019 sur la sonde FAU02 situé au parking de St-Pons et la sonde FAU01 situé en aval du canal de la SEM.



5.2.2.1. Identification des assecs sur 3 années de suivi

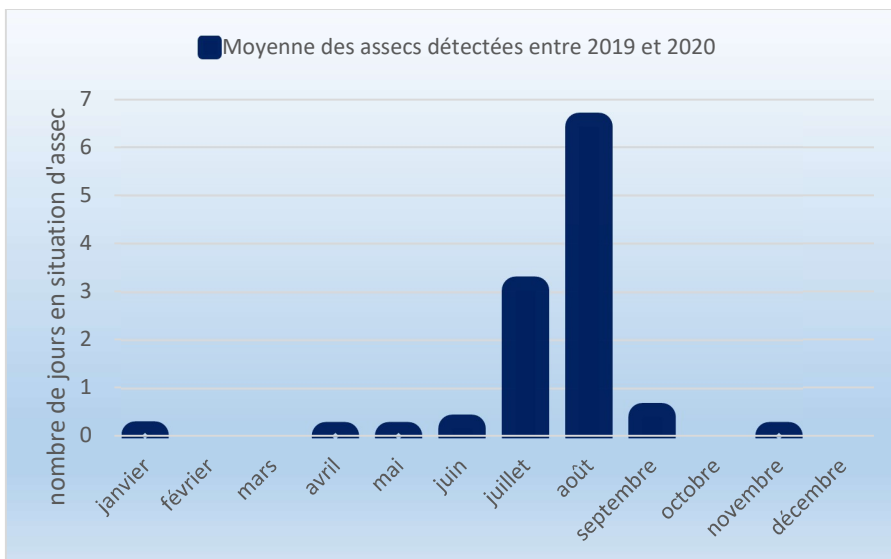


Figure 28 : Moyenne mensuelle des assecs détectée entre 2019 et 2021 en aval du Fauge

Pendant les années 2019 à 2021, la sonde FAU01 a détectée des assecs principalement pendant les mois de juillet et août avec environ 3 et 6.5 jours cumulés pendant lesquels le Fauge était en situation d'assec.

5.2.3. COMPATIBILITÉ DU RÉGIME THERMIQUE AVEC LES EXIGENCES DES ESPÈCES DE POISSONS.

Les différentes espèces de poissons présentent des préférences vis-à-vis des conditions de températures, notamment par rapport aux valeurs maximales.

Tableau 17 : Tolérance thermique au stade adulte de différentes espèces piscicoles.

	Opt. Min	4	4	4	10	14	7	16	10	12	12
	Opt. Max.	26	17	28	18	24	30	25	24	24	25
	Mortal.	27	25	29	27	30	36		32	27	31
Sondes	T <sub>30Jmax</sub>	CHA	TRF	LOF	BLN	CHE	GOU	TOX	BAF	SPI	GAR
Sonde 1	14.7										
Sonde 2	18.4		+		+						
FAU02-2021	18.4		+		+						
FAU02-2020	18.9		+		+						
FAU02-2019	21.1		++		++						
Sonde 3	20		++		++						
Sonde 4	23.2		++		++						
FAU01-2021	24		++		++						
FAU01-2020	24.3		++		++	+					
FAU01-2019	26.1	+	XX		++	++		++	++	++	++

CHA : Chabot ; TRF : Truite fario ; LOF : Loche franche ; BLN : Blageon ; CHE : Chevaine ; GOU : Goujon ; TOX : Toxostome ; BAF : Barbeau ; SPI : Spirilin ; GAR : Gardon.

⊕ : T<sub>30Jmax</sub> > optimum biologique (écart inférieur à 1°C)

⊕⊕ : T<sub>30Jmax</sub> >> optimum biologique (écart supérieur à 1°C)

XX : T<sub>30Jmax</sub> > seuil de mortalité

■ : T<sub>30Jmax</sub> dans l'optimum biologique

Tableau 18 : Tolérance thermique au stade juvénile de différentes espèces piscicoles.

	Opt. Min	5	4	6	13	14	7	?	13	12	7
	Opt. Max.	26	17	25	15	25	27	?	24	24	21
	Mortal.	27	25	29		30		?	32		30
Sondes	T <sub>30Jmax</sub>	CHA	TRF	LOF	BLN	CHE	GOU	TOX	BAF	SPI	GAR
Sonde 1	14.7										
Sonde 2	18.4		++		++						
FAU02-2021	18.4		++		++						
FAU02-2020	18.9		++		++						
FAU02-2019	21.1		++		++						
Sonde 3	20		++		++						
Sonde 4	23.2		++		++						
FAU01-2021	24		++		++						
FAU01-2020	24.3		++		++						
FAU01-2019	26.1	+	XX		++	++		++	++	++	++

CHA : Chabot ; TRF : Truite fario ; LOF : Loche franche ; BLN : Blageon ; CHE : Chevaine ; GOU : Goujon ; TOX : Toxostome ; BAF : Barbeau ; SPI : Spirlin ; GAR : Gardon.

⊕ : T<sub>30Jmax</sub> > optimum biologique (écart inférieur à 1°C)

⊕⊕ : T<sub>30Jmax</sub> >> optimum biologique (écart supérieur à 1°C)

⊕⊕⊕ : T<sub>30Jmax</sub> > seuil de mortalité

□ : T<sub>30Jmax</sub> dans l'optimum biologique

Les températures atteintes par le Fauge dans la partie aval (sondes 4 et FAU01) semblent difficilement viables pour la truite adulte et juvénile. Néanmoins ce résultat est à nuancer, car les températures maximales atteintes sont très élevées en aval en raison des assècs, périodes pendant lesquelles la sonde enregistre la température de l'air.

Elles sont aussi au-dessus de l'optimum des juvéniles et des adultes au niveau du Parking de St-Pons. Pour le blageon au stade adulte et surtout juvénile, la majeure partie du Fauge atteint une température d'un écart supérieur à 1°C de l'optimum biologique maximum. Pour les autres espèces, les difficultés thermiques apparaissent surtout dans la partie la plus aval en relation avec les ruptures d'écoulement et donc la faiblesse des débits ainsi que les apports d'eau chaude du canal de la SEM.

#### 5.2.4. BILAN DES RÉGIMES THERMIQUES DU FAUGE

La source du Fauge confère un régime thermique très tamponné dans la partie amont du cours d'eau avec des températures estivales toujours inférieures à 15°C soit des valeurs favorables à l'espèce truite arc-en-ciel, mais également commune si elle était présente. Ces conditions très fraîches ne sont pas favorables à la reproduction des cyprinidés telles que le barbeau ou le chevaine.

Les températures se réchauffent rapidement dans la traversée du Parc de St-Pons pour atteindre des valeurs limites pour la truite dès le parking de St-Pons.

Après la traversée de Gémenos, les températures deviennent très défavorables à la truite et plus compatibles avec les cyprinidés. Malheureusement avec les rejets du canal de la SEM et les prélèvements qui conduisent à des ruptures d'écoulements, les conditions de température en amont de la zone des Paluds peuvent même devenir défavorables aux cyprinidés (blageon, barbeau).

## 6. USAGES DE LA RESSOURCE EN EAU

---

### 6.1. CONTEXTE DE GESTION

Le Fauge est actuellement inclus dans le périmètre du SIH (« Syndicat du Bassin Versant de l'Huveaune » : [www.syndicat-huveaune.fr](http://www.syndicat-huveaune.fr)). Celui-ci fait l'objet d'un contrat de rivière qui vise à assurer une gestion globale et concertée des milieux aquatiques sur ce bassin versant et à mettre en œuvre les objectifs réglementaires du SDAGE Rhône Méditerranée.

Le contrat de rivière s'articule autour de 5 enjeux en lien avec la gestion des milieux aquatiques :

- Qualité des eaux
- Qualité des milieux naturels et aquatiques
- État des ressources en eau
- Gestion quantitative du ruissellement et des inondations
- Gestion locale concertée et valorisation du bassin versant.

La définition de débit minimum biologique en aval d'ouvrages de prélèvement s'inscrit totalement dans les objectifs et les enjeux du contrat de rivière et notamment ceux de la qualité des milieux naturels, l'état de la ressource et la gestion locale concertée.

Au niveau des usages de la ressource, l'ASA des Arrosants du canal de St-Pons gère le prélèvement et la distribution des eaux issues du canal à l'ensemble des adhérents de la commune de Gémenos.

### 6.2. LES DIFFÉRENTS USAGES DE LA RESSOURCE

L'eau a été l'élément majeur du développement du vallon de St-Pons. Elle a permis l'installation de nombreuses activités, et ce depuis très longtemps. Elle a donc, à ce titre, fortement participé à la construction du patrimoine historique de la vallée.

L'eau du Fauge et plus particulièrement celle de la source de St-Pons est utilisée depuis très longtemps. Dès la fondation de l'Abbaye, les eaux ont été détournées pour servir à l'irrigation et au fonctionnement du moulin de la cascade. Par la suite, d'autres usages de moulins et d'industries se sont implantés soit directement sur le canal des Arrosants soit sur le Fauge.

Le canal des Arrosants dérive les eaux du Fauge à partir de la prise d'eau historique du moulin de la cascade : prise d'eau de Cabrelle. Il longe le Fauge en rive gauche puis rive droite sur 2.6 km avant de se séparer en deux branches en amont immédiat de Gémenos. Une seconde prise d'eau implantée au niveau du parking de St-Pons appelée prise d'eau des Palettes permet une réalimentation du canal.

Au niveau de la source, comme indiqué précédemment, un ancien captage d'eau potable pour Gémenos est encore présent. Ce captage ne semble plus utilisé, mais malgré la fermeture du vannage, il semble que la conduite soit en charge. Un captage pour alimenter la fontaine de l'Abbaye est également installé dans le bassin de la source.

En aval, sur le canal, une vannette est gérée par le CD13 pour alimenter régulièrement la réserve à incendie du Parc.

À partir de l'amont de Gémenos, le parcours du cours d'eau a révélé la présence de plusieurs pompages non gérés par l'ASA de petites dimensions alimentant de l'arrosage de jardins.

De la même façon, en aval de la déchèterie de Gémenos, l'installation ponctuelle d'un système de barrage à base de tôles permet une dérivation parfois complète du débit du Fauge.

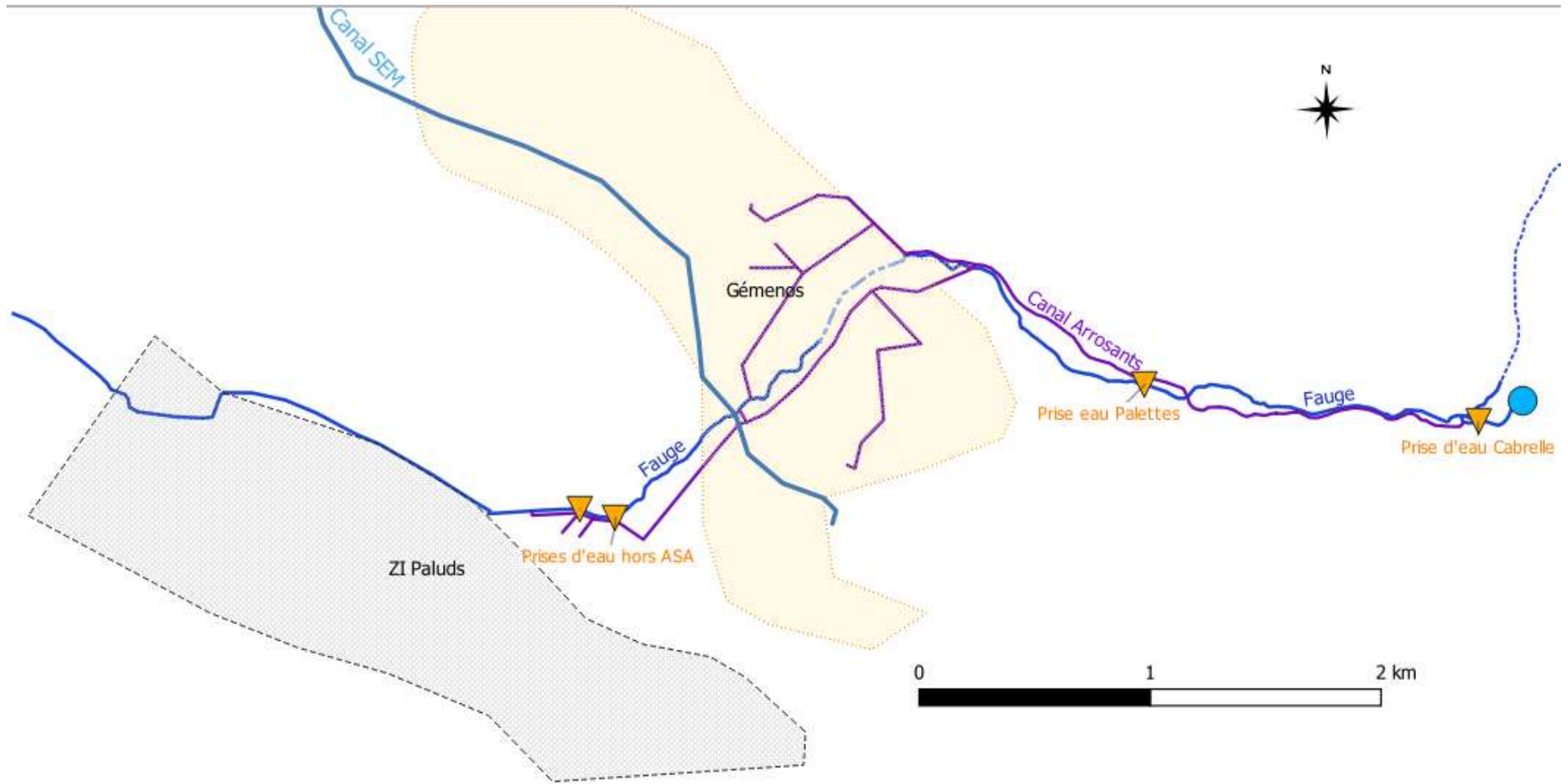


Planche 14 : Vue d'ensemble du canal des Arrosants et des prises d'eau

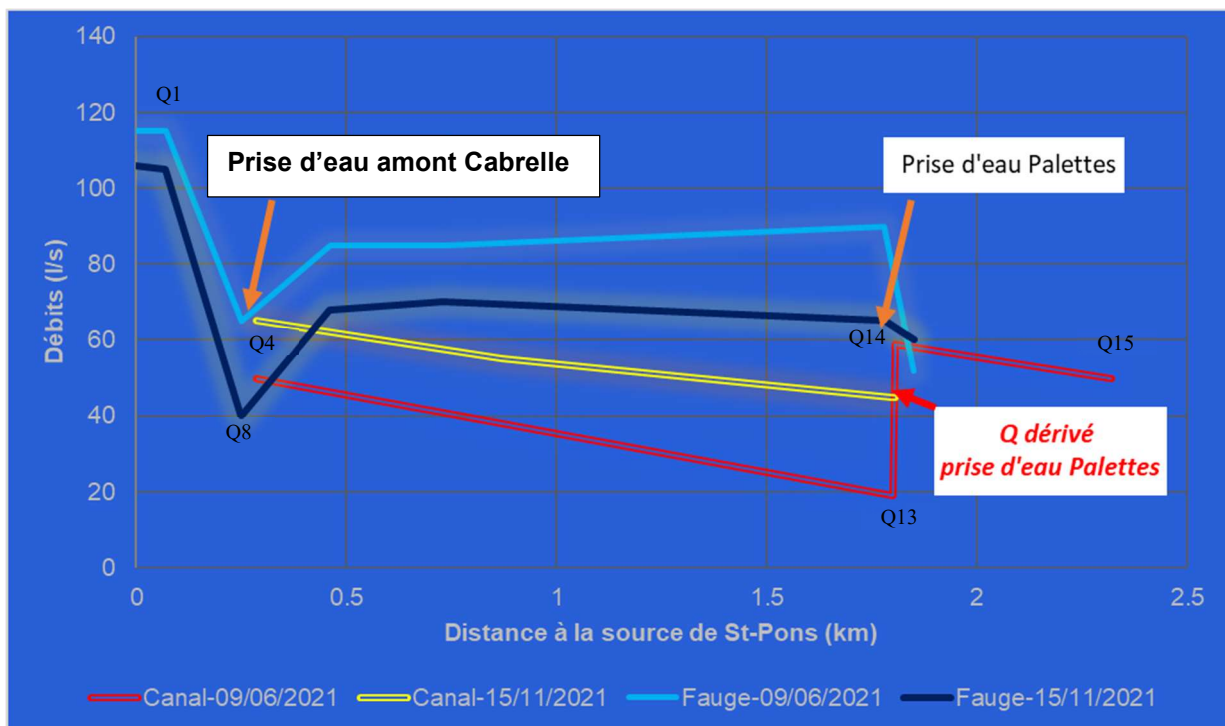
### 6.3. LE CANAL DES ARROSANTS

Actuellement, les capacités de dérivation du canal en amont sont limitées à un débit proche de 55 l/s. En effet, à l'aval du moulin Foulon le canal est caractérisé par un point de débitance maximale conditionné par la pente et le gabarit de l'ouvrage.

Deux campagnes de mesures des débits du canal ont été réalisées le 09/06/2021 et le 15/11/2021.

**Tableau 19 : Tableau récapitulatif des débits mesurés dans le canal aux différentes campagnes de mesure.**

Points de mesures	Stations	Débit (l/s)	
		09/06/2021	15/11/2021
Q1	Source St-Pons	115	106
Q4	Aval PE vers Canal	50	65
Q6	Vanne CD13	5	2
Q8	Canal Moulin du Foulon	38	55
Q12	Canal – Branche Prise d'eau des Palettes	40	0
Q13	Canal – Branche Parc St-Pons	19	45
Q14	Canal – Aval Y	59	45
Q15	Canal – Théâtre de verdure	50	



**Figure 29 : Évolution des débits dans le canal des Arrosants et dans le Fauge le 09/06/2021 et le 15/11/2021.**

Le 09/06/2021, les deux prises d'eau du canal étaient en fonctionnement. En amont de la cascade du Moulin, le canal dérivait 50 l/s. Dès l'aval de la cascade, la vannette du CD13 restituait 5 l/s au Fauge. En amont du Moulin du Foulon, le débit n'était plus que de 38 l/s et il atteignait seulement 19 l/s à l'arrivée des buses Y effectuant le raccordement avec la prise d'eau des Palettes. À cette date, le canal dans sa traversée du Parc de St-Pons perdait donc jusqu'à 26 l/s. Son débit était réalimenté par la prise d'eau des Palettes. Au théâtre de Verdure, le canal avait à nouveau perdu du débit (9 l/s).

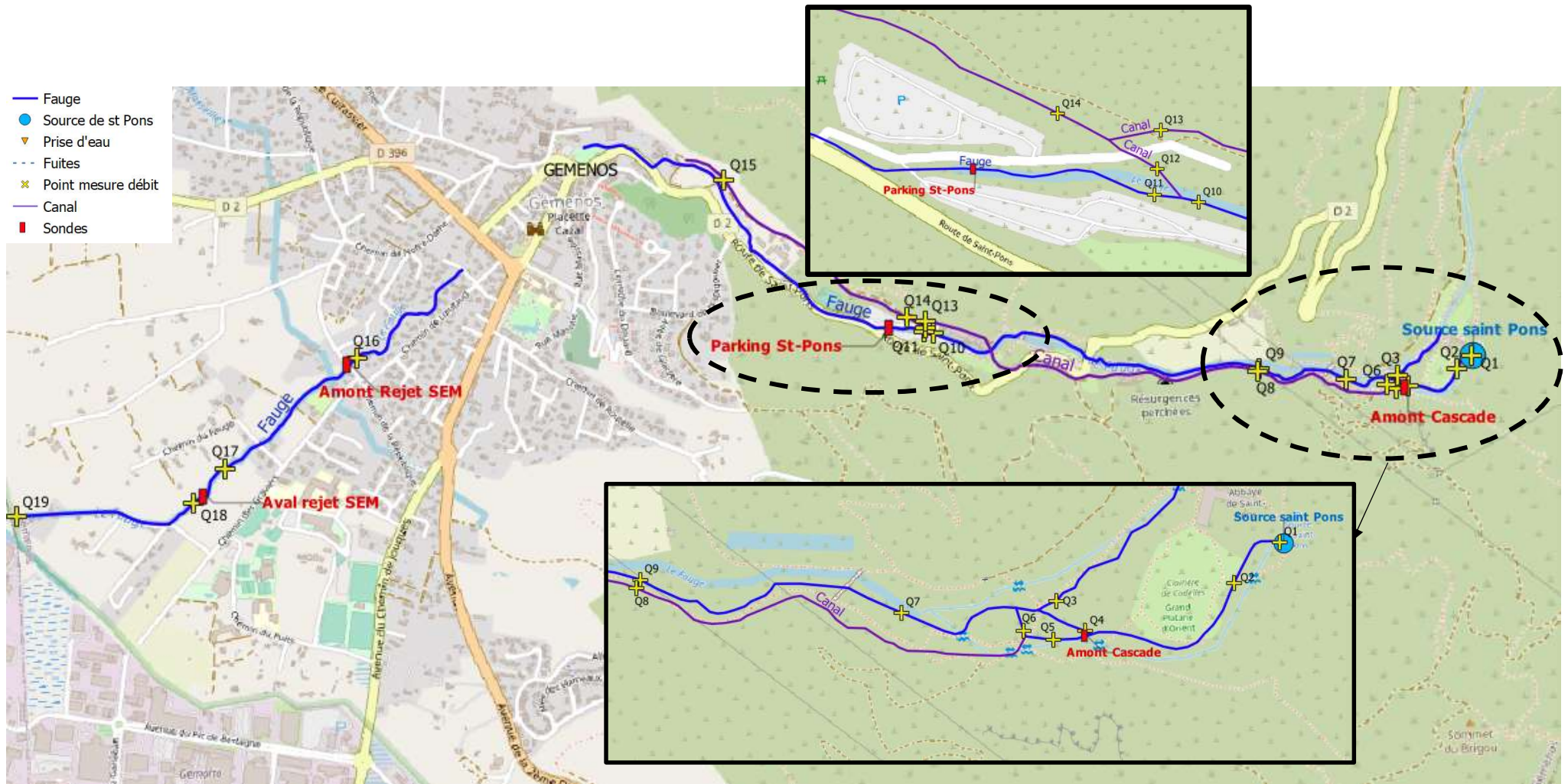


Planche 15 : Vue d'ensemble du site d'étude, de l'emplacement des mesures de débit effectuées.



Photos 48, 49, 50 et 51 : Vues le 09/06/2021 du canal en amont de la cascade, de la vanne du CD13 sous la cascade, du Y raccordant la branche des Palettes et de la prise d'eau des Palettes.

Le 15/11/2021, seule la prise d'eau Cabrelle était ouverte. Le canal dérivait 65 l/s. La vannette du CD13 sous la cascade dérivait 2 l/s. Plus en aval, une autre vannette restituait également du débit depuis le canal amenant le débit du canal en amont du moulin du Foulon à 55 l/s. Au Y de la prise d'eau des Palettes, le débit du canal était de 45 l/s soit une diminution de 10 l/s. En parcourant plus attentivement le tracé du canal, des fuites ont été observées notamment au niveau de la traversée du Fauge.

Les fuites du canal réalimentent-elles le Fauge? Le 09/06/2021, si les 26 l/s s'étaient ajoutés au débit amont du Fauge soit 85 l/s (65 l/s sous la prise d'eau + 15 l/s canyon + 5 l/s vannette CD13), le débit à la prise d'eau des Palettes aurait dû être de 111 l/s. Il n'était que de 90 l/s. Le 15/11/2021, si les 10 l/s perdus par rapport au moulin du Foulon s'étaient ajoutés au débit du Fauge, on aurait dû avoir 80 l/s à la prise d'eau des Palettes. Or le débit n'était que de 65 l/s.

En l'absence de dérivation par le canal, nous avons pu évaluer des pertes le long du Fauge de l'ordre 5 à 10 l/s. En tenant compte de ces pertes, il semble qu'une partie des débits perdus dans le canal soient bien restitués au Fauge, mais probablement pas en totalité notamment pendant les périodes chaudes.

#### 6.4. BILAN DU FONCTIONNEMENT DU CANAL DES ARROSANTS

Nous n'avons pu observer le canal en fonctionnement que sur une courte période d'un mois (09 juin au 08 juillet). Il est donc difficile d'établir un véritable bilan de ce fonctionnement. **Toutefois, nous avons pu observer que des fuites le long de l'aménagement et plus particulièrement entre le moulin du Foulon et le Y de la prise d'eau des Palettes qui pouvaient conduire à une réduction des débits avec un retour partiel de l'eau vers le Fauge,**

#### 6.5. L'EAU AU CŒUR DES PAYSAGES DU VALLON

Le parc départemental constitue un lieu très important dans le territoire pour l'accueil des personnes dans un espace préservé. L'eau et plus particulièrement le torrent du Fauge et ses cascades joue un rôle essentiel tant du point de vue de l'attractivité visuelle que sonore.

## 7. DÉTERMINATION DU DÉBIT MINIMUM BIOLOGIQUE DU FAUGE

### 7.1. RAPPELS DES ENJEUX ASSOCIÉS AU DÉBIT MINIMUM BIOLOGIQUE DU FAUGE

#### 7.1.1. ENJEUX DU VALLON

Le ruisseau du Fauge dispose d'une ressource en eau pérenne à partir de la source de Saint-Pons. Il constitue un ensemble d'habitats remarquables du fait de la dynamique du concrétionnement calcaire et de la qualité des eaux. Le maintien de son régime hydrologique est essentiel à la préservation de ses habitats et notamment le maintien de débits minimums en conditions d'étiage.

#### 7.1.2. RAPPELS DES CHOIX DES ESPÈCES CIBLES

Le choix d'un « débit minimum biologique » n'a de sens que vis-à-vis d'une espèce voire d'un stade de développement. Il est donc indispensable au vu des informations issues du contexte écologique d'effectuer un choix quant à la ou les espèces cibles des tronçons de rivières à étudier. Le choix des cibles biologiques doit s'appuyer sur :

- une présence avérée des espèces sur les tronçons,
- des exigences reconnues des espèces vis-à-vis des habitats et la sensibilité de ceux-ci par rapport aux valeurs de débits.

En amont, on note la présence d'invertébrés rhéophiles qui constitue la faune aquatique caractéristiques de ce type de milieu. La courbe de préférenda de l'espèce *Dinocras cephalos* est disponible. Celle-ci est issue d'une étude de réanalyse des données Doledec *et al.* (2007) et Merigoux *et al.* (2009) avec ajouts de données issues du suivi RHONECO et Lignon du Forez. (Référence: Forcellini *et al.* (2019, in prep)). Cette espèce est donc utilisée comme espèce cible pour laquelle les débits minimums biologiques doivent être analysés.

En complément, l'espèce truite arc-en-ciel a également été retenue comme représentative des habitats de la truite commune. En aval, le blageon a été choisi.

**Au vu des enjeux écologiques précédemment cités, le plécoptère *Dinocras cephalos*, la truite arc-en-ciel et le blageon constituent les deux espèces cibles pour lesquelles les débits minimums biologiques doivent être analysés.**

Les stades alevins, juvéniles et adultes de la truite seront considérés. Mais une attention particulière sera portée au stade adulte qui, en matière de capacité d'accueil physique, est généralement le stade limitant à l'étiage, sur ce type de cours d'eau (Baran, 1995, Souchon *et al.*, 1989). Nous examinerons notamment les conditions estivales pendant la période de plus fortes activités biologiques des poissons se traduisant par une croissance plus marquée (Lagarrigue, 2000). De même, les stades adultes et juvéniles du blageon seront considérés.

**Tableau 20 : Périodes du cycle biologique de la truite (blanc : non concerné, rouge : sensible, bleu : très sensible).**

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Truite Adulte												
Truite Juvénile												
Truite Alevin												
Migration des adultes avant reproduction												
Reproduction, incubation et vie sous gravier												



### 7.1.3. RAPPELS DES ENJEUX PAR TRONÇONS

Les enjeux associés au débit minimum biologique s'appuient à la fois sur les espèces et sur les caractéristiques morphologiques des tronçons.

**Tableau 21 : Bilan de la sensibilité potentielle des différents tronçons du Fauge vis-à-vis du débit d'étiage.**

Tronçon	Longueur	Espèce cible	Niveau d'anthropisation de la morphologie
Source-amont prise d'eau	250 m	Plécoptère-Truite	Moyen
Cascade-Chapelle St-Martin	790 m	Plécoptère-Truite	Faible
Chapelle St-Martin-Prise d'eau Palettes	520 m	Plécoptère-Truite	Faible
Prise d'eau Palettes-Amont Gémenos	675 m	Plécoptère-Truite	Moyen
Sortie Fauge couvert-Pont Ch. du Fauge	860 m	Blageon	Moyen à Fort
Pont Ch. du Fauge-Ch. des Lavandes	360 m	Blageon	Faible à moyen
Ch. des Lavandes-Amont ZI Paluds	550 m	Blageon	Fort
ZI Paluds-A52	1770 m	Blageon	Très Fort
A52-confluence Huveaune	780 m	Blageon	Fort

## 7.2. MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DE LA SENSIBILITÉ DES HABITATS AQUATIQUES AU DÉBIT

Les méthodologies de caractérisation des habitats aquatiques préconisées pour des études de débit minimum biologique appartiennent à la famille dite des « microhabitats » (Baran *et al.*, 2015).

Il s'agit en fait d'une **famille de méthodes** qui ont pour but d'analyser la relation dynamique entre le débit et les variations des paramètres de l'habitat physique (Hauteur, Vitesse, Granulométrie) des cours d'eau. À ce titre, elles constituent de bons supports d'aide à la décision pour le choix d'un débit ou d'un régime réservé, **bien que l'information qu'elles produisent ne constitue qu'une partie de l'ensemble des éléments à acquérir pour établir une véritable analyse de situation d'un cours d'eau.**

Le principe de ces méthodes est de coupler la description physique d'un cours d'eau (mesure par points représentatifs des paramètres, hauteur d'eau, vitesse de l'écoulement et qualité du substrat) avec des modèles biologiques de préférences de différentes espèces ou stades de développement d'espèces aquatiques. Au final, on aboutit à des surfaces d'habitat favorable à telle ou telle espèce (sur la base de critères de profondeur d'eau, de vitesse du courant et de nature du substrat, surfaces d'habitat favorable appelées Surfaces Pondérées Utiles - dites SPU – exprimées en m<sup>2</sup>), surfaces qui évoluent en fonction du débit.

Trois protocoles différents sont disponibles :

- **le protocole EVHA (Évaluation de l'Habitat)** développé par le Cemagref (Ginot, 1998), repose sur une seule campagne de mesures sur le terrain (topographie et

hydraulique). À partir de ces mesures, un modèle hydraulique est calé pour calculer les différentes valeurs de vitesses et de hauteur d'eau à plusieurs débits. Ces valeurs sont ensuite croisées avec les préférences des poissons (Ginot, 1998 ; Ginot *et al.*, 1998). La modélisation hydraulique physique utilisée est de type mono-dimensionnel et fluvial (calcul de la ligne d'eau de l'aval vers l'amont intégrant la topographie, la rugosité et la côte de ligne d'eau de la section précédente). Elle est basée sur les formules de pertes de charge linéaire de Limérimos (1970) ;

- **le protocole ESTIMHAB (ESTIMATION de l'HABITAT)** développé également par le Cemagref (Lamouroux, 2008) est un modèle basé sur des relations statistiques entre Surface d'Habitat Favorable = f(débit) et des grandeurs caractéristiques de la géométrie hydraulique du cours d'eau (lois hauteur (H) – débit (Q), largeur (L) - débit (Q); module / débit médian ; taille moyenne des particules). La relation hauteur-débit est estimée à partir de données mesurées à deux débits différents (Q1, Q2). Les variables à mesurer sur le terrain à deux débits différents sont une largeur moyenne de la station et au moins une centaine de couples "taille granulométrie/hauteur d'eau" ;
- **le protocole LAMMI (Logiciel d'Application de la Méthode des Microhabitats)** (Tissot *et al.*, 2011) extrapole directement les conditions de hauteurs d'eau et de vitesses à un débit choisi d'après des mesures effectuées aux mêmes points à différents débits. Les valeurs sont ensuite croisées avec les préférences des espèces piscicoles. Cette méthode offre la possibilité de recalculer les grandeurs hydrauliques pour des débits compris entre 2 valeurs mesurées sur la base d'un modèle statistique simplifié de type :  $V = a Q^b$  et  $H = a Q^b$  avec  $a$  et  $b$  estimés statistiquement à partir des mesures disponibles aux différents débits (V : vitesse de courant, H : hauteur d'eau et Q : débit du cours d'eau).

### 7.2.1. CHOIX DES MÉTHODOLOGIES DE CARACTÉRISATION DES HABITATS

Dans le cas du Fauge, le débit n'étant pas artificiellement manipulable, des mesures aux mêmes points à différents débits, comme le réclame le protocole LAMMI, n'étaient guère envisageables.

De plus, l'étude de certains habitats particuliers (zones de vitesses favorables aux invertébrés rhéophiles et aux espèces piscicoles) nécessite l'utilisation d'un modèle hydraulique, ce qui exclut l'utilisation du protocole ESTIMHAB. Le protocole EVHA s'applique sur les rivières de pente comprise entre 2 et 50 ‰, d'une largeur inférieure à 20 m, de module inférieur à 30 m<sup>3</sup>/s ce qui correspond parfaitement au Fauge.

Nous avons décidé de retenir le principe de l'outil EVHA (croisement des données hydrauliques modélisées à plusieurs débits avec des préférences biologiques), mais en utilisant un outil hydraulique plus approprié notamment dans sa capacité à restituer l'hétérogénéité latérale des vitesses. Il s'agit du modèle TELEMAC2D.

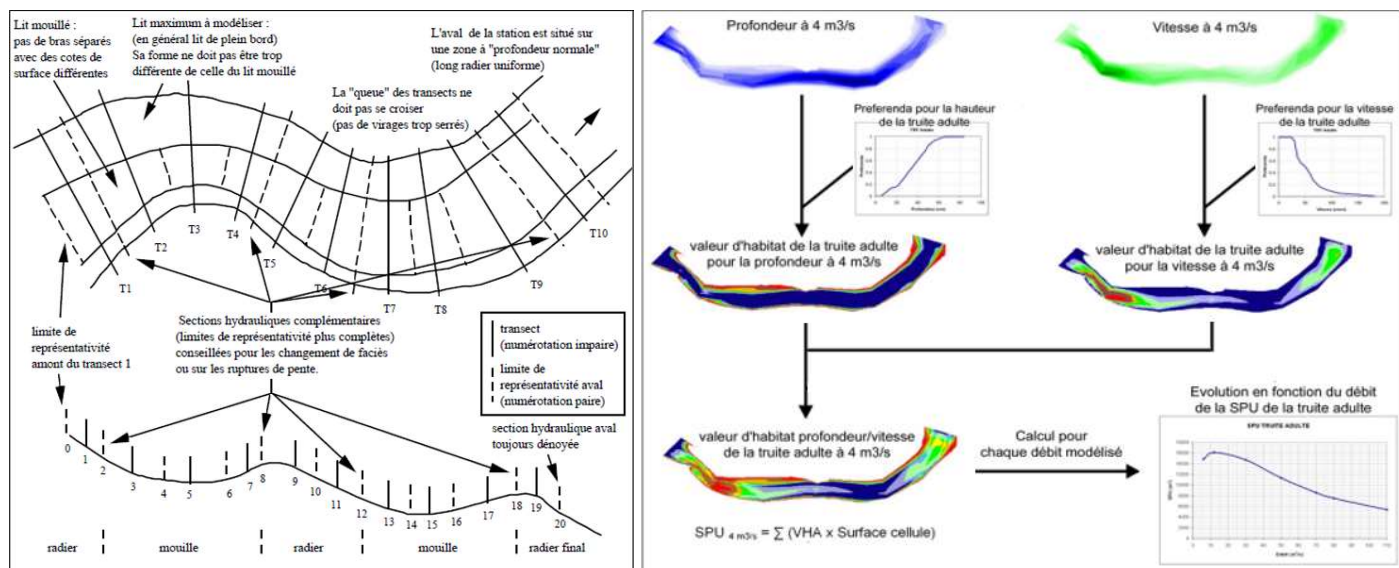
Ce logiciel a été développé par le laboratoire national d'hydraulique environnementale de la division recherche et développement d'EDF. C'est un outil de modélisation des écoulements à surface libre, aussi bien dans le domaine fluvial que maritime. Il résout les équations de Saint-Venant à deux dimensions. La résolution numérique est basée sur la méthode des éléments finis. D'autre part, l'espace est discrétisé sous forme de maillage non structuré à éléments triangulaires, ce qui permet de raffiner le maillage dans les zones présentant un intérêt particulier.

### 7.2.2. APPLICATION DU PROTOCOLE EVHA-TELEMAC2D

#### 7.2.2.1. Les différentes étapes du protocole

La mise en œuvre du protocole EVHA s'appuie sur 3 étapes successives :

- les mesures topographiques et hydrauliques sur le terrain,
- la saisie des données et les calculs hydrauliques et biologiques,
- l'interprétation des résultats.



**Planche 16 : Schéma de mise en œuvre et d'application de l'outil EVHA sur une station d'étude pour évaluer la sensibilité du potentiel d'habitat piscicole à la valeur de débit d'une station d'étude**

### 7.2.3. MESURES SUR LE TERRAIN

Les mesures ont été réalisées les 10/06/2021 et 20/07/2021. Il s'agit d'une topographie du lit mouillé et des berges et de deux relevés de ligne d'eau (2 débits pour le calage du modèle).

Les relevés ont été effectués à l'aide d'un tachéomètre laser LEICA afin de décrire au mieux les variations topologiques du lit du Fauge. Pour ce faire des transects sont effectués entre les différents faciès d'écoulement et un semi de point supplémentaire est effectué entre les transects pour décrire les variations topologiques de la station. Pour chaque point de mesure, la côte du fond est enregistrée ainsi que la composition du substrat (selon l'échelle de Cailleux [1954]).

**Tableau 22 : Caractéristiques de la station d'étude**

	ST1 : Station Amont	ST2 : Station Aval
Nombre de faciès	4	6
Longueur	40 m	42 m
Nombre de points topographiques	455	223
Débit de calage (Q)	66 l/s	66 l/s
Nombre de point ligne d'eau Q1	71 l/s	33 l/s
Linéaire du tronçon représenté	790 m	1220m

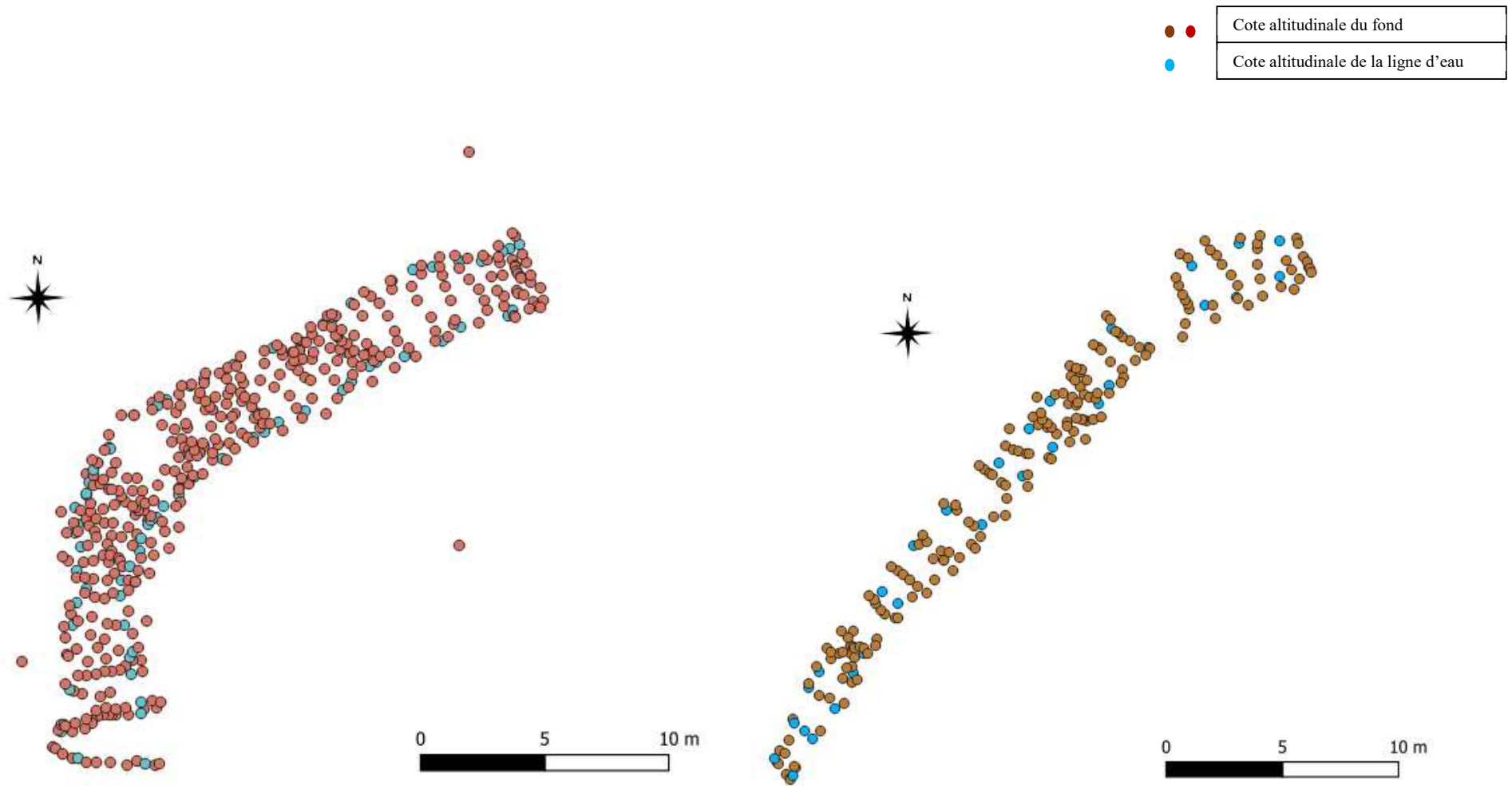


Planche 17 : Vue en plan des relevés de points topographiques et de ligne d'eau aux deux stations (ST1 amont et ST2 aval).

## 7.2.4. MODÉLISATION NUMÉRIQUE 2D

### 7.2.4.1. Création de la géométrie et du maillage

A partir des relevés de terrain, l'utilisation d'un outil d'interpolation (logiciel open source BlueKenue 3.3.4) permet de reconstituer une topographie précise de chaque station. Chacune est ainsi découpée en maille de 10 cm à 20 cm de côté dans le lit mouillé et 40 et 50 cm sur les berges.

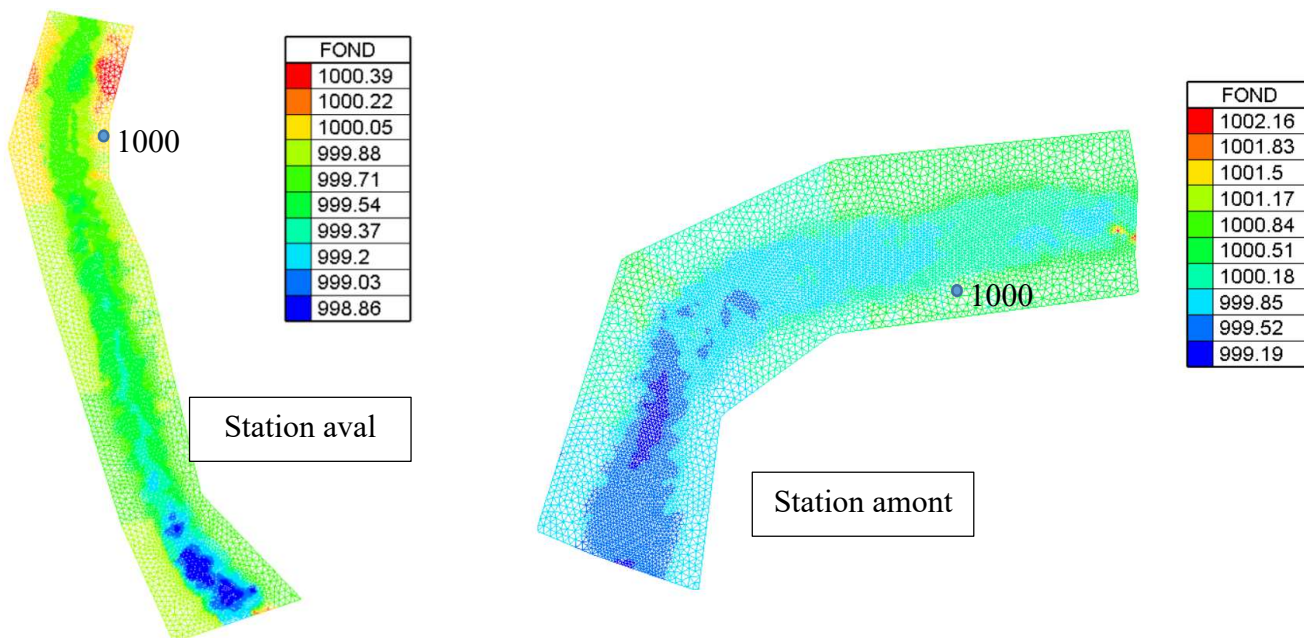
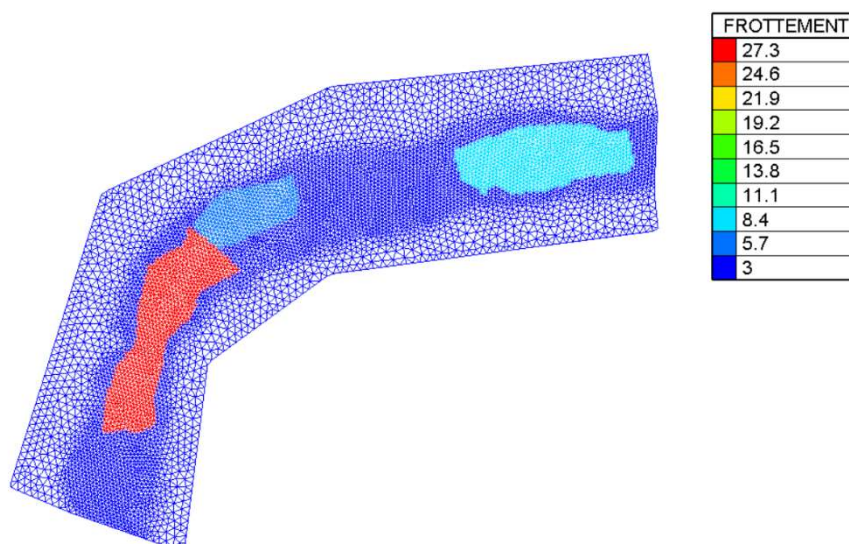


Planche 18 : Maillage utilisé pour la station aval et la station amont (référentiel altitudinal fictif établi à 1000 pour chaque station)

### 7.2.4.2. Réglage des paramètres physiques

Plusieurs paramètres physiques ont besoin d'être ajustés avant la simulation :

- **Conditions aux limites** : un débit est imposé sur la frontière amont et une hauteur d'eau est fixée sur la frontière aval. Ces valeurs sont déterminées grâce aux mesures de lignes d'eau sur le terrain.
- **Conditions initiales** : plusieurs options s'offrent à nous avec le code TELEMAC2D. Le choix est fait d'imposer à temps = 0 une hauteur d'eau uniforme de 20 cm. Cela permet de mettre en eau le lit mineur de la rivière au temps initial.
- **Coefficient de Strickler** : ce coefficient représente la rugosité du fond. Il est différent pour chaque station ainsi que pour des débits très différents. Il intervient dans la relation reliant le débit à la hauteur d'eau. L'ajustement de ce paramètre est donc primordial pour obtenir des résultats cohérents. Ce calage est réalisé à l'aide des mesures de lignes d'eau et de débits réalisées sur le terrain. Il se fait par essais successifs jusqu'à ce que les lignes d'eau mesurées et simulées concordent. En théorie, le coefficient de Strickler dépend du type de fond (par exemple, un coefficient de Strickler de 20 correspond à une surface rugueuse et un coefficient de 80 correspond à un béton lisse). La vitesse d'écoulement est donc influencée par ce coefficient selon la formule de Manning Strickler :  $V = K_s R_h^{2/3} i^{1/2}$  avec  $V$  la vitesse d'écoulement,  $K_s$  le coefficient de frottement,  $R_h$  le rayon hydraulique lié à la section de la rivière et  $i$  la pente de la rivière. Afin de caler au mieux le comportement hydraulique de la station, plusieurs coefficients ont été utilisés selon les faciès hydrauliques de la station.



**Planche 19 : Zonage du coefficient de frottement pour le modèle du Fauge station amont**

- **Modèle de turbulence** : 2 modèles de turbulences sont disponibles avec TELEMAC2D pour notre configuration :
- Le modèle à viscosité constante. C'est le plus simple et donc le moins gourmand en temps de calcul. Il considère une viscosité globale sur l'ensemble de la station englobant les viscosités moléculaire et turbulente. Cette valeur est fixée par l'utilisateur et influence la taille des recirculations et l'échelle de dissipation.
  - Le modèle k- ε est plus complexe. C'est le plus utilisé au niveau industriel. Il a donné des résultats très probants dans la modélisation des écoulements en passe à poissons (Tarrade, 2007). Il ajoute 2 équations au modèle : une pour calculer l'énergie cinématique turbulente (k) et l'autre sa dissipation (ε). Contrairement au modèle précédent, il distingue les différents types de viscosité qu'il calcule lui-même. Il représente donc mieux les effets de la turbulence, notamment à proximité des obstacles. Il nécessite cependant un temps de calcul bien plus important.

La différence entre ces deux modèles se voit essentiellement à fort débit ou à proximité des obstacles. Les résultats présentés dans la suite de cette étude utilisent le modèle k- ε.

#### 7.2.4.3. Réglages des paramètres numériques.

Des paramètres numériques ont besoin d'être ajustés afin d'assurer la stabilité du calcul. La seule condition que nous vérifions est celle du nombre de Courant :

$$CFL = v \frac{dt}{dx} < 1$$

Avec :  $v$  : vitesse  $dx$  : pas d'espace  $dt$  : pas de temps

Si cette condition n'est pas respectée, le calcul n'est pas stable et les résultats sont faux. La vitesse est déterminée par le débit imposé en entrée et  $dx$  par la taille des cellules. L'unique levier d'action se situe au niveau du pas de temps  $dt$ . Cette condition impose donc de devoir diminuer le pas de temps lorsque le débit augmente ou que l'on raffine le maillage. Un maillage très fin augmente donc doublement le temps de calcul : par l'ajout de nouveaux points de calculs, mais aussi par la diminution du pas de temps. Par souci d'optimisation il est préférable d'avoir un nombre de Courants proche de 1 sans pour autant le dépasser.

**La modélisation hydraulique a été appliquée dans une gamme de débit ne dépassant pas les capacités du modèle à restituer des valeurs de vitesses et de hauteurs d'eau où les risques d'erreur sont beaucoup plus forts.**

## 7.2.5. CALCUL DES QUANTITÉS D'HABITATS DISPONIBLES

### 7.2.5.1. Principes du calcul

Les quantités d'habitats disponibles pour l'espèce cible et le stade de développement sélectionné sont calculées pour une valeur de débit donné à différentes échelles :

- de la cellule
- de la station d'étude

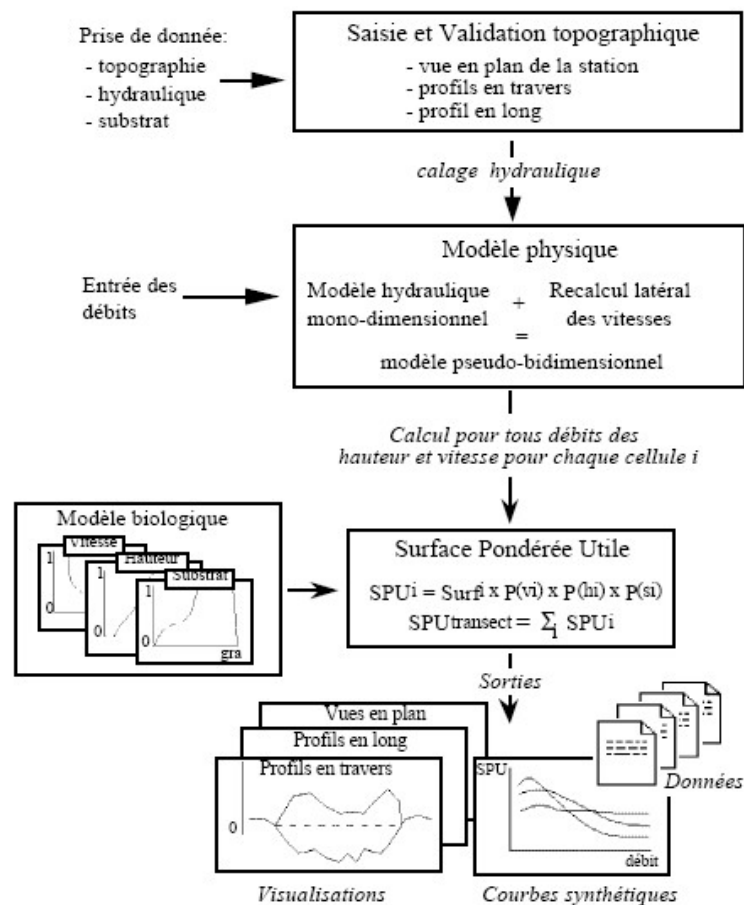
Le calcul est basé sur la multiplication, pour chaque cellule, des 2 valeurs de préférences biologiques (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement) obtenues à partir des valeurs calculées par le modèle hydraulique. Dans le cas du Fauge, la granulométrie n'est pas prise en compte dans les valeurs de préférences biologiques de par la nature presque exclusivement de dalle sur l'ensemble des deux stations.

À chaque cellule du maillage, la valeur de l'habitat correspondant à la multiplication des préférences (Pref) des deux paramètres profondeur (Prf) et vitesse d'écoulement (Vit) a été calculée :

$$VH_{Cellule_i} = (Vit_{Cellule_i} \times Pref_{Cellule_i}) \times (Prf_{Cellule_i} \times Pref_{Cellule_i})$$

La **Surface pondérée utile (SPU)** exprimée en m<sup>2</sup> correspond au produit de la valeur d'habitat avec la surface de la cellule (Surf). La **surface d'habitat favorable** (Surf. Favo.) :

$$Surf. Favo. = \int_1^n VH \times Surf_{Cellule_i}$$



**Planche 20 : Principe de calculs de la méthode des microhabitats, figure extraite du guide méthodologique d'EVHA (Ginot et al., 1998) avec  $SPU_i = Surf(i) \times P(vi) \times P(hi) \times P(si)$ , c'est-à-dire Surface Pondérée Utile de la cellule  $i$  égale Surface de la cellule  $i$  multipliée par la Préférence de**

***l'espèce cible pour la Vitesse, multipliée par la Préférence de l'espèce cible pour la Hauteur, multipliée par la Préférence de l'espèce cible pour le Substrat.***

7.2.5.2. Choix d'un modèle biologique adapté

Les courbes de préférence<sup>2</sup> pour chacune des espèces cibles sont celles implantées dans le logiciel HABBY (1.4.0) qui est un logiciel libre gratuit développé par l'OFB, l'INRAE et EDF (Von Guten *et al.*, 2018).

Les courbes choisies pour la truite sont issues des travaux de Fragnoud (1987) et de Souchon *et al.* (1989), dérivées des courbes globales de Bovee *et al.* (1978). Elles concernent des truites adultes de taille comprise entre 14 et 28 cm. Les alevins sont des sujets de moins d'un an, mais de plus de 5 cm et les juvéniles sont des sujets de plus d'un an (10 à 16cm).

Les courbes choisies pour le blageon sont issues des travaux Capra *et al.* (1998). Enfin, la courbe choisie pour le *Dinocras cephalotes* est issue des travaux de Forcellini *et al.* (2019).

7.2.5.3. Expression des résultats

La surface d'habitat physique favorable à un stade de développement donné ou SPU (pour Surface Pondérée Utile, exprimée en m<sup>2</sup>) est évaluée par station et par stade de développement de l'espèce considérée. En divisant la SPU par son maximum obtenu sur la gamme de modélisation, on obtient une SPU dite « normée ».

Enfin, en rapportant la SPU à la surface mouillée totale de la station, les résultats peuvent également être exprimés en Valeur d'Habitat (VHA, exprimée en %) par station et par stade de développement de l'espèce considérée. La VHA est donc une valeur sans dimension comprise entre 0 et 1 (ou exprimée en pourcentage). Elle ne rend pas compte de l'évolution de la surface mouillée en fonction du débit. Contrairement à la SPU, elle ne quantifie donc pas l'habitat, mais elle en évalue sa qualité.

7.2.5.4. Lame d'eau minimale pour la migration

Les poissons, et notamment la truite, effectuent des déplacements dans le cours d'eau notamment au moment de la reproduction. Il est important de valider que les tirants d'eau observés à différents débits permettent au poisson de se déplacer. Pour cela, on vérifie, sur le transect le moins profond de la station, que la lame d'eau moyenne et maximale est bien supérieure à la valeur de référence pour la truite adulte à savoir 5 cm conformément aux préconisations du guide ICE (Baudoin *et al.*, 2014).

7.2.5.5. « La notion de risque en termes d'habitat piscicole »

*La réaction des organismes aquatiques aux modifications de leurs habitats et notamment leurs habitats physiques ne s'organise pas sous forme de seuils comme cela peut être observé pour les paramètres physico-chimiques. Il n'existera jamais de quantité ou de qualité d'habitat physique, seuil à partir de laquelle on observera une mortalité massive des individus. Les réactions à l'évolution des habitats ne seront donc ni binaires ni linéaires. Très souvent, on dégagera des plages de débits à partir desquelles les pertes d'habitat seront plus significatives.*

*Face aux changements pénalisants d'habitat, les espèces et notamment les poissons vont adopter une succession de comportements qui se traduiront d'abord par une réduction de l'activité alimentaire conduisant à un ralentissement voire un arrêt de la croissance (Poff et Allan, 1995). Ces changements physiologiques peuvent affecter la maturité des gonades et conduire à des mortalités. Toutefois, selon le contexte de compétition entre les individus et/ou les espèces, des comportements d'émigration pourront être observés afin de s'adapter aux nouvelles conditions.*

---

<sup>2</sup> Les courbes de préférence donne la note d'affinité (entre 0 et 1) du stade et de l'espèce considérés pour chaque valeur des trois paramètres (hauteur, vitesse et substrat) retenus dans la méthode des microhabitats.



Donc, en fonction de l'intensité des événements et de leur durée, c'est la dynamique des populations piscicoles qui sera affectée et donc le nombre d'individus d'une ou plusieurs générations. À l'échelle des peuplements, ce sont essentiellement les structures qui seront modifiées avec des changements dans les occurrences des différentes espèces. »

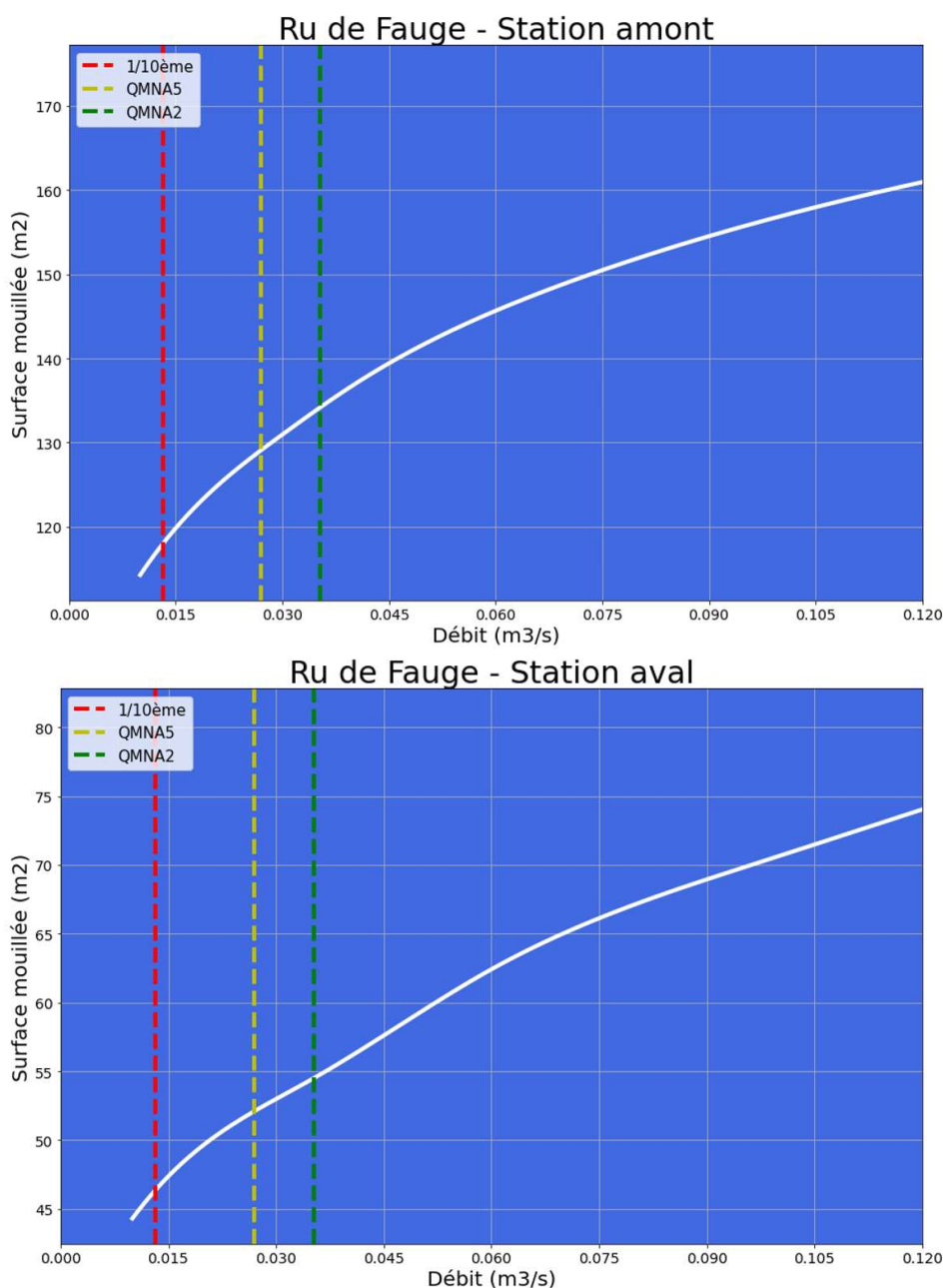
(Extrait de Baran et al., 2015)

## 7.3. SENSIBILITÉ DES HABITATS AQUATIQUES AU DÉBIT DU FAUGE

### 7.3.1. ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES HYDRAULIQUES

#### 7.3.1.1. Surface mouillée

Dans un 1<sup>er</sup> temps, nous avons examiné l'évolution de la surface en eau en fonction du débit transitant dans le tronçon.



**Figures 30 et 31 : Évolution de la surface mouillée en fonction du débit transitant dans les 2 stations**  
La surface en eau du Fauge amont et aval évolue dans la gamme de débit étudié.

À la station amont, les pertes de surfaces s'accroissent lorsque le débit devient inférieur à 30 l/s. À l'échelle des 790 m du tronçon représenté par la station ST1, les pertes de surfaces sont de 316 m<sup>2</sup> entre 30 et 15 l/s (soit 12% de perte). Entre 45 et 30 l/s, les pertes sont de 210 m<sup>2</sup> (8% de perte) et entre 45 et 60 l/s, les pertes sont de 158 m<sup>2</sup> (5% de perte).

À la station aval, les pertes de surfaces s'accroissent fortement lorsque le débit devient inférieur à 30 l/s. À l'échelle des 1220 m du tronçon représenté par la station ST2, les pertes de surfaces sont de 419 m<sup>2</sup> entre 30 et 15 l/s (27% de perte). Entre 45 et 30 l/s, les pertes sont de 343 m<sup>2</sup> (20% de perte) et entre 45 et 60 l/s, les pertes sont de 210 m<sup>2</sup> (11% de perte). Dans cette partie du Fauge, le gabarit du lit a été modifié avec une réduction artificielle de la largeur ce qui conditionne en partie les évolutions de surface mouillée en fonction du débit.

### 7.3.2. HAUTEUR D'EAU ET VITESSE MOYENNE

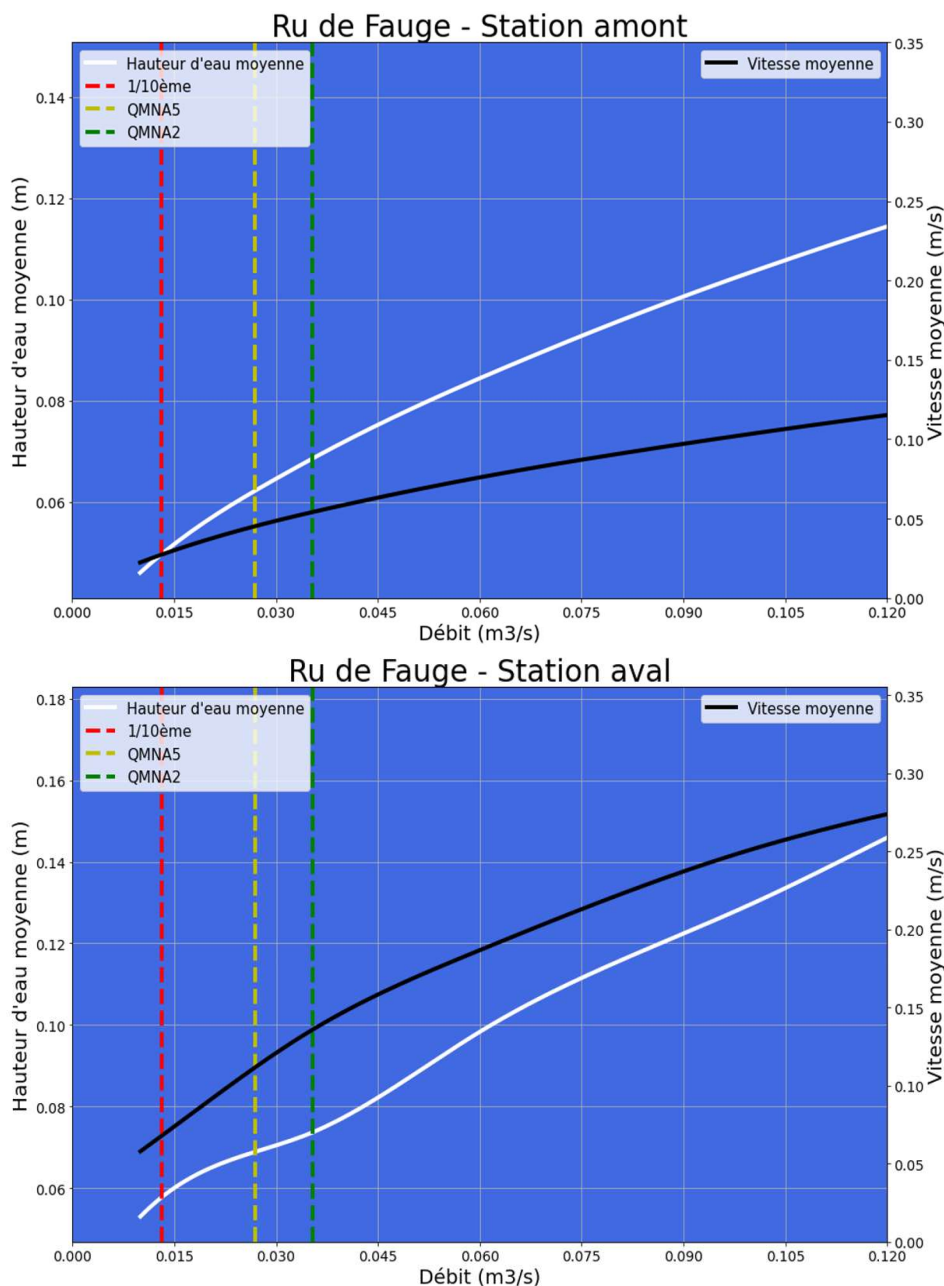


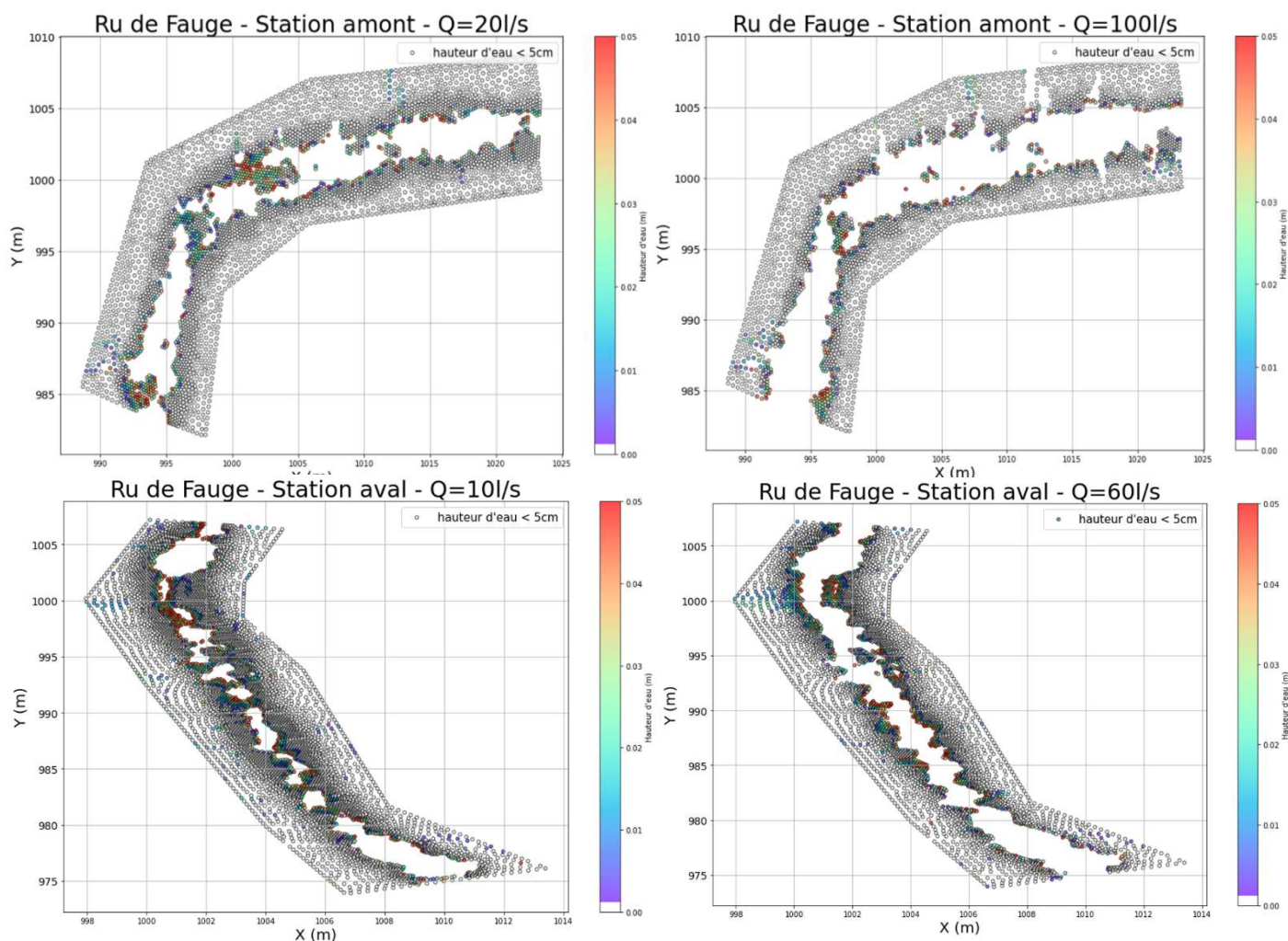
Figure 32 et 33 : Évolution de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne en fonction du débit transitant dans le Fauge sur les stations amont et aval

Les hauteurs d'eau moyennes restent faibles en situation d'étiage sur le Fauge amont. Il faut des débits supérieurs à 90 l/s pour atteindre des valeurs supérieures à 10 cm. En aval, cette valeur de

10 cm est atteinte pour débit supérieur à l'étiage moyen mensuel (60 l/s). Concernant les vitesses moyennes, les pertes sont linéaires et de l'ordre de 1 cm/s tous les 10 l/s.

### 7.3.3. LAME D'EAU MINIMALE POUR LA MIGRATION DES POISSONS

La migration des poissons peut être impactée par des lames d'eau trop faibles ne permettant pas le franchissement de certains faciès (radiers). Nous avons recherché les valeurs de débit à partir desquelles il existait des surfaces continues dont la profondeur était supérieure à la valeur critique de franchissement piscicole (5 cm).



Figures 34, 35, 36 et 37: Hauteur d'eau < seuil ICE de 5 cm sur les 2 stations d'étude.

À 20 l/s, la station amont présente 3 zones de lames d'eau inférieures à 5 cm sur toute la largeur. Il faut atteindre des débits proches de 45 l/s pour qu'il existe des voies de passage de profondeur >5 cm sur toute la largeur. Il n'existe plus aucune profondeur limitante < 5 cm à partir de 100 l/s.

À 10 l/s, dans la station aval, on compte près de 10 zones de lames d'eau inférieures à 5 cm. Il faut atteindre des débits de plus 40 l/s pour avoir des voies de passage continu et de 60 l/s pour que la totalité de ces zones disparaisse.

### 7.3.4. ÉVOLUTION DE L'HABITAT PISCICOLE DISPONIBLE EN FONCTION DU DÉBIT

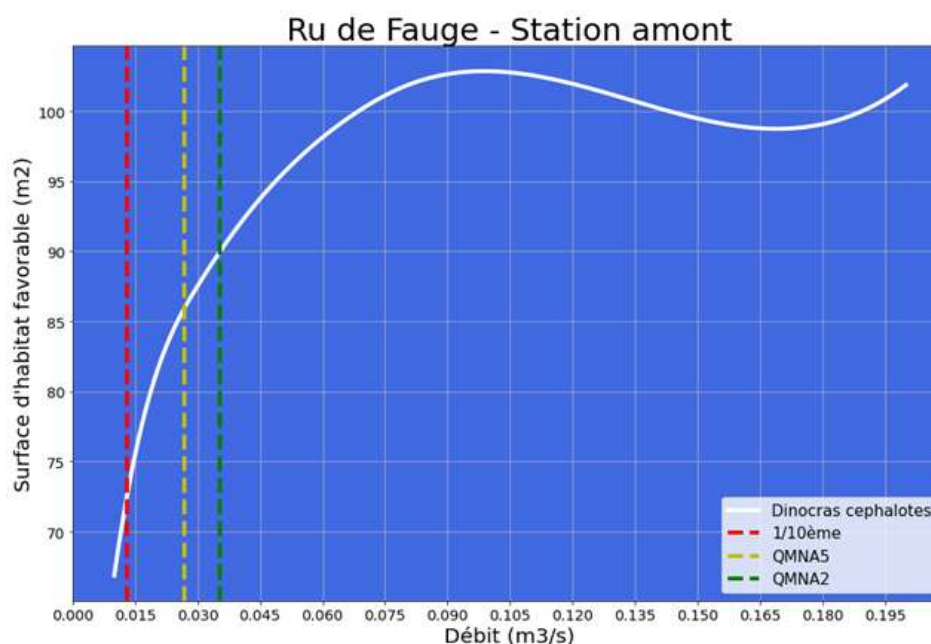
7.3.4.1. Valeur d'Habitat (VHA)

En situation d'étiage, la station amont est globalement assez favorable au plécoptère (VHA comprise entre 0.67 et 0.60 respectivement pour des débits proches du QMNA<sub>2</sub> et du 1/10<sup>ème</sup> du module de la source de St-Pons). Elle est par contre défavorable aux truites adultes (VHA comprise entre 0.11 et 0.07 respectivement pour des débits proches du QMNA<sub>2</sub> et du 1/10<sup>ème</sup> du module de la source de St-Pons). La station est plus favorable pour les juvéniles et les alevins avec des valeurs d'habitat qui varient entre 0.52 et 0.38 pour les juvéniles et entre 0.49 et 0.33 pour les alevins.

Concernant la station aval, la situation du blageon adulte est globalement bonne pendant l'étiage. (VHA comprise entre 0.33 et 0.26 respectivement pour des débits proches du QMNA<sub>2</sub> et du 1/10<sup>ème</sup> du module de la source de St-Pons.) La station est encore plus favorable pour les juvéniles avec des valeurs d'habitats qui restent stable autour de 0.55 pendant l'étiage.

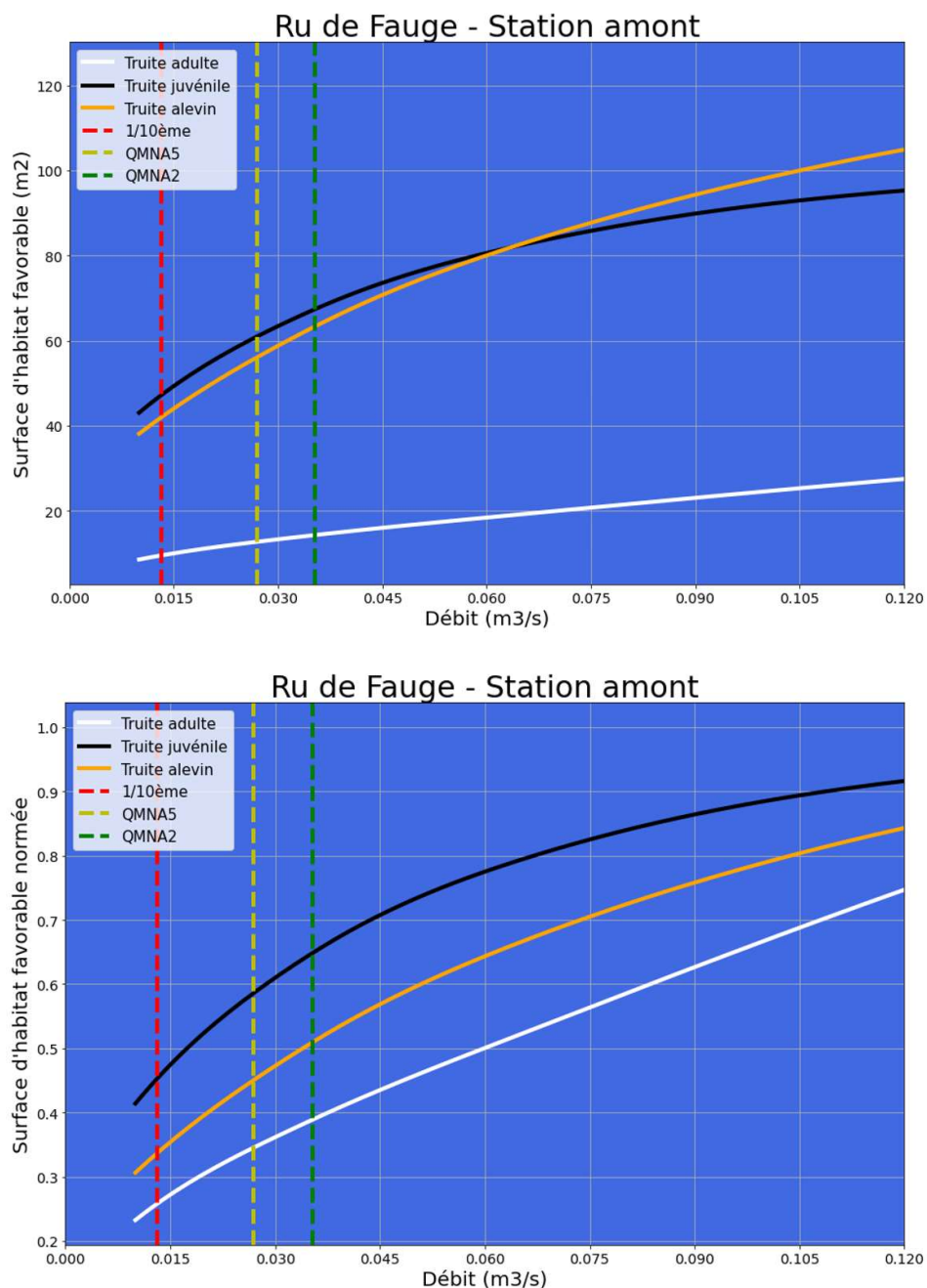
**Tableau 23 et 24 : VHA de la station amont aux débits caractéristiques.**

	10 l/s $\approx$ M/10 source (13 l/s)	20 l/s $\approx$ QMNA <sub>5</sub> source (22 l/s)	40 l/s $\approx$ QMNA <sub>2</sub> source (36 l/s)
Plécoptère Dinocras	0.60	0.65	0.67
TRF ADU	0.07	0.09	0.11
TRF JUV	0.38	0.44	0.52
TRF ALE	0.33	0.40	0.49
BLN ADU	0.26	0.32	0.33
BLN JUV	0.57	0.56	0.55

7.3.4.2. Évolution de la Surface Pondérée Utile (SPU)➤ Station amont – Habitat des invertébrés aquatiques de type plécoptères

**Figure 38 : Évolution des surfaces d'habitat favorable aux plécoptères sur la station amont (*Dinocras cephalotes*).**

L'habitat favorable aux plécoptères du genre *Dinocras* évolue très fortement avec les débits du Fauge. Les pertes sur les 790 m de tronçon sont de l'ordre de 105 m<sup>2</sup> entre 60 et 45 l/s (5% de perte), de 184 m<sup>2</sup> entre 45 l/s et 30 l/s (10% de perte) et de 342 m<sup>2</sup> entre 30 l/s et 15 l/s (20% de perte). En dessous du QMNA<sub>5</sub>, l'habitat favorable à cette espèce se dégrade fortement.

➤ Station amont – Habitat de la truite

**Figure 39 et 40 : Évolution de la SPU totale et normée de la truite à la station d'étude amont en fonction du débit.**

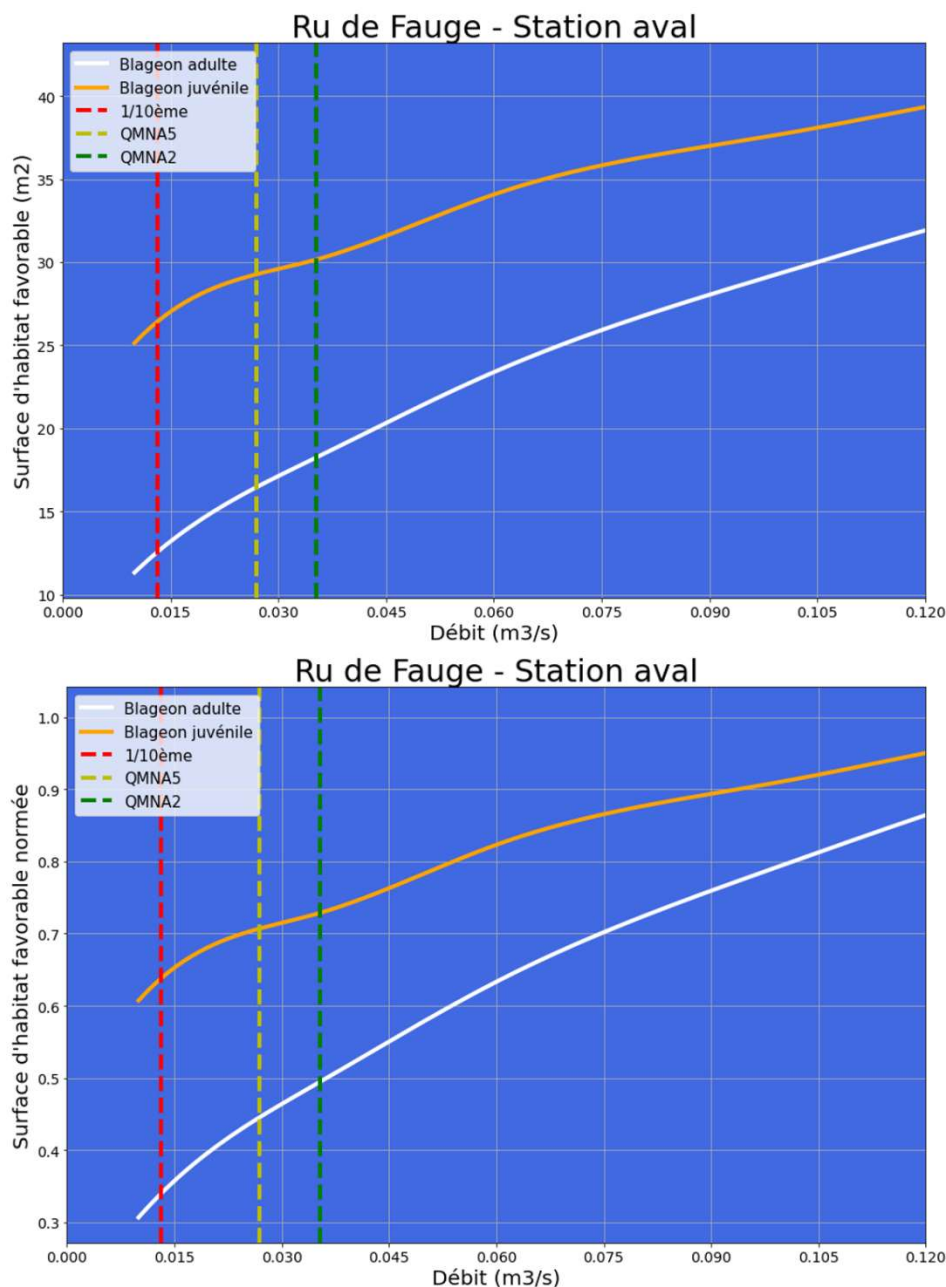
Les surfaces d'habitat favorable aux différents stades de développement de la truite (SPU) évoluent avec le débit du cours d'eau. Les évolutions diffèrent entre les stades de juvéniles/alevins et le stade adulte. Il est possible de dégager plusieurs plages de débits correspondant à différents scénarios de pertes d'habitats pour les stades de développement juvéniles et alevins :

- De 60 à 45 l/s, les pertes de surfaces sur les 790 m de tronçon sont de 210 m<sup>2</sup> (-13%),
- De 45 l/s à 30 l/s, les pertes s'accroissent avec 316 m<sup>2</sup> en moins (-23%),
- De 30 à 15 l/s, les surfaces perdues atteignent 395 m<sup>2</sup> sur le tronçon (-37%).

Pour le stade adulte, les évolutions de surface favorable sont nettement moins marquées avec des pertes de l'ordre de 40 m<sup>2</sup> entre 60 et 45 l/s, de 105 m<sup>2</sup> entre 45 l/s et 30 l/s et 160 m<sup>2</sup> entre 30 l/s et 15 l/s.

➤ Station aval – Habitat du blageon

Les évolutions de surface d'habitat favorable aux poissons (espèce blageon) sont moins marquées que pour la partie amont du Fauge et pour la truite.



**Figures 41 et 42 : Évolution de la SPU totale et normée du blageon à la station d'étude amont en fonction du débit.**

Les surfaces d'habitat favorable aux différents stades de développement du blageon (SPU) évoluent avec le débit du cours d'eau. Les évolutions diffèrent entre les stades juvénile et adulte. Il est possible de dégager plusieurs plages de débits correspondant à différents scénarios de pertes d'habitats pour le stade de développement juvénile:

- De 60 à 30 l/s, les pertes de surfaces sur les 1220 m de tronçon sont constantes de 150 m² (14% de perte),
- De 30 l/s à 15 l/s, les pertes s'accroissent avec 125 m² en moins (15% de perte),

Pour le stade adulte, les pertes sont de l'ordre de 132 m<sup>2</sup> entre 60 et 45 l/s (19% de perte), de 140 m<sup>2</sup> entre 45 l/s et 30 l/s (24% de perte) et de 190 m<sup>2</sup> entre 30 l/s et 15 l/s (38% de perte).

## 8. ANALYSE DES RISQUES, DÉFINITION DE DÉBIT MINIMUM BIOLOGIQUE ET SCÉNARIO DE DÉBIT RÉSERVÉ

Dans cette partie il s'agit successivement :

- de récapituler les risques associés aux valeurs de débit réservé pour différentes périodes de l'année vis-à-vis de fonctionnement écologique du Fauge et d'en déduire une valeur de débit minimum biologique,
- de projeter cette valeur par rapport à l'usage de l'eau sur le tronçon de rivière concernée,
- d'établir des préconisations de débit réservé en aval des prises d'eau permettant de limiter les risques tout en assurant l'usage de la ressource dans les meilleures conditions.

Nous rappellerons que la station amont représente la situation morphologique du Fauge dans toute la traversée du Parc de St-Pons et en aval du parking du même nom ainsi que les enjeux écologiques de l'ensemble de l'amont de Gémenos. **Cette station caractérise les tronçons où les plus forts enjeux biologiques concernent la conservation de la faune d'invertébrés et notamment les espèces rhéophiles.**

La station aval représente la situation morphologique du Fauge en aval du village jusqu'à la zone des Paluds et les enjeux écologiques de ce même tronçon qui se concentrent surtout **sur l'espèce blageon naturellement présente dans le cours d'eau.**

### 8.1. ANALYSES DES RISQUES

L'analyse de l'ensemble des éléments présentés précédemment permet de définir des plages de débits associés à des risques écologiques et de dégager une gamme de valeur pouvant constituer un débit minimum biologique susceptible de garantir le maintien du bon état des tronçons de cours d'eau concernés.

#### ➤ *Éléments morphologiques et hydrauliques*

Les pertes de surfaces mouillées et de hauteurs d'eau conduisent à définir 3 niveaux de risques.

**Tableau 25 : Niveaux de risques relatifs aux pertes de surfaces mouillées**

	Risque faible	Risque modéré	Risque fort
Station amont	[>45 l/s]	[30-45 l/s]	<30 l/s
Station aval	[>45 l/s]	[20-45 l/s]	<20 l/s

En dessous d'un débit de l'ordre de 30 l/s, valeur comprise entre le QMNA<sub>2</sub> et la QMNA<sub>5</sub>, les pertes de surfaces mouillées du Fauge deviennent importantes.

**Tableau 26 : Niveaux de risques relatifs à la perte de hauteur d'eau.**

	Risque faible	Risque modéré	Risque fort
Station amont	[>100 l/s]	[45-100 l/s]	<45 l/s
Station aval	[>60 l/s]	[30-60 l/s]	<30 l/s

En période automnale (novembre-décembre) et printanière (mai), un débit inférieur à 45 l/s devient très pénalisant pour la migration des poissons en sachant qu'en amont les déplacements restent limités par des obstacles infranchissables (canyon du pont des Tompines).

#### ➤ *Habitats aquatiques (truite-blageon-plécoptère)*

L'analyse des évolutions de Surfaces Pondérées Utiles pour les invertébrés, les différents stades de développement de la truite, du blageon conduit à définir des niveaux de risques associés à



différentes plages. L'analyse du risque tient compte à la fois des pertes d'habitats aquatiques associés au débit ainsi que des conditions hydrologiques du cours d'eau pendant cette période.

L'analyse des risques montre qu'un débit inférieur à 30 l/s constitue un risque fort pour les habitats aquatiques du cours d'eau. Le seuil de réduction des risques se situe à **un débit proche de 45 l/s**.

**Tableau 27 : Niveaux de risques relatifs aux habitats aquatiques en fonction du débit**

	Risque faible	Risque modéré	Risque fort
Station amont	[>45 l/s]	[30-45 l/s]	<30 l/s
Station aval	[>45 l/s]	[30-45 l/s]	<30 l/s

**Un débit de l'ordre de 45 l/s constituerait donc pour le Fauge une valeur de débit minimum pertinente pour garantir le bon fonctionnement des communautés biologiques du cours d'eau.**

## 8.2. DÉFINITION DU DÉBIT MINIMUM BIOLOGIQUE

L'ensemble des analyses montrent :

- des risques faibles pour les habitats aquatiques et notamment ceux des invertébrés rhéophiles avec un débit minimal > 45 l/s,
- des risques modérés pour les habitats aquatiques avec un débit minimal compris entre 30 et 45 l/s en amont et 25-45 l/s en aval,
- des risques forts pour des débits <30 l/s.

**Le débit minimum biologique du Fauge pourrait donc s'établir à 45 l/s soit 34% du module. A noter que le régime hydrologique du cours d'eau peut être qualifié d'atypique et qu'une valeur de 10% du module (13 l/s) n'est pas adaptée à ce cours d'eau à débit relativement stable et étiage soutenu.**

Il est important de rappeler que cette évaluation ne se base que sur une notion de risque et non des impacts avérés sur la biologie du cours d'eau. La traduction d'un risque en impact avéré pourra dépendre d'autres facteurs (régime thermique, qualité des eaux, connectivité...).

Il est également important de souligner que le cours d'eau peut présenter naturellement un débit inférieur à 30 l/s (seuil des risques forts) environ 6% du temps soit 22 jours par an et inférieur à 45 l/s pendant 13% du temps soit 47 jours par an.

**Dans ces conditions, le débit réservé du Fauge en aval des prises d'eau ne peut être le débit minimum biologique sur une année complète. Il convient, pour respecter l'hydrologie naturelle et le maintien des usages, d'adapter le débit réservé.**

## 8.3. PROPOSITION DE SCÉNARIO DE DÉBIT RÉSERVÉ

### 8.3.1. IDENTIFICATION DES PÉRIODES DE FORTES TENSIONS HYDROLOGIQUES

#### 8.3.1.1. Fauge en aval de la prise d'eau de Cabrelle

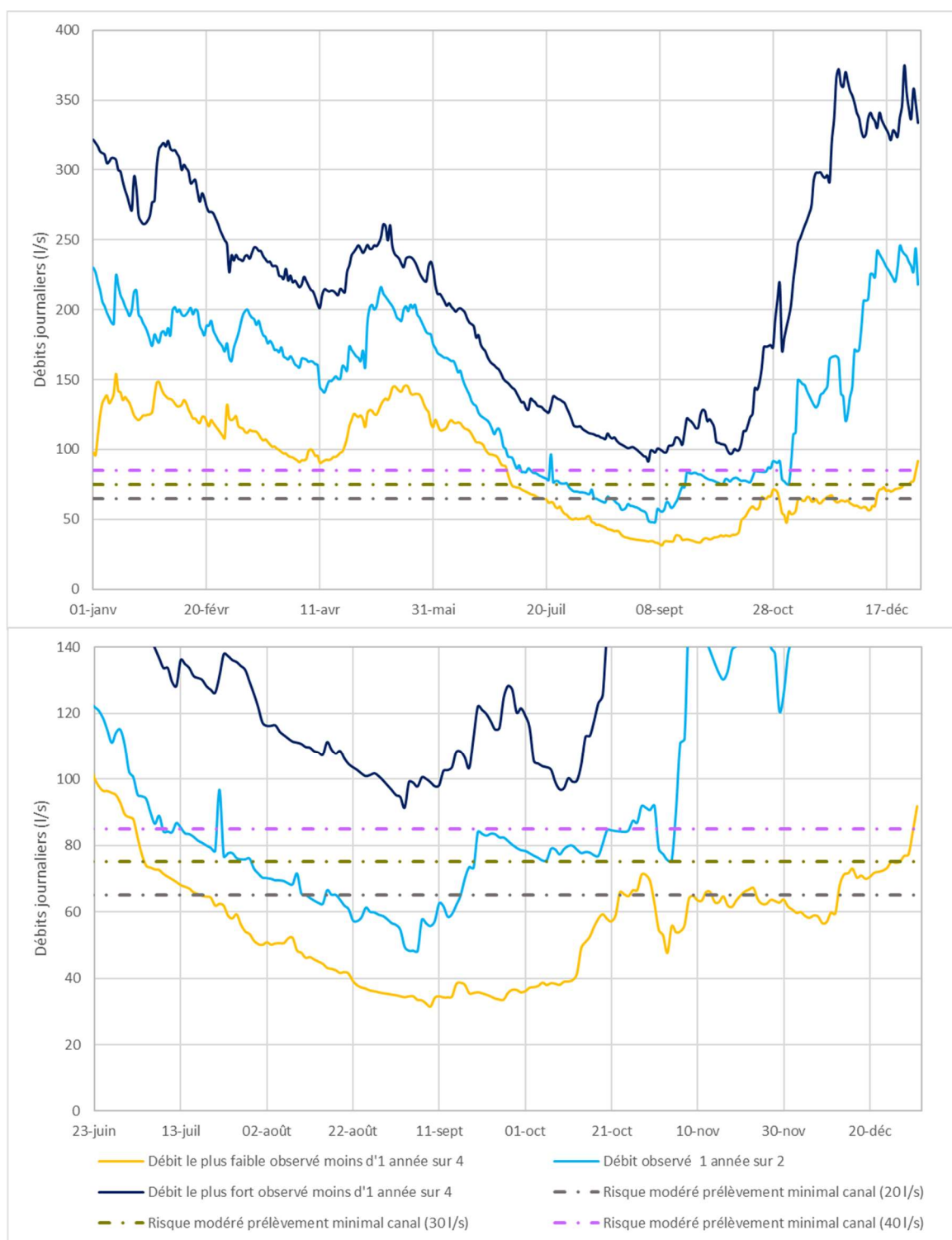
Les périodes de tension hydrologique correspondent aux périodes où les débits transitant dans le Fauge sous la cascade de l'Abbaye sont inférieurs aux valeurs assurant un risque modéré pour les habitats et le maintien d'un prélèvement minimal par le canal. Nous avons projeté différents scénarios de débit minimal prélevable par le canal (20, 30 et 40 l/s).

Nous avons pris en référence l'hydrologie du Fauge sous la cascade à savoir des débits correspondant à ceux de la source de St-Pons additionnés de ceux venant du canyon. A partir de nos mesures ponctuelles sur le canal, nous avons estimé que les débits venant de cette partie du Fauge étaient proportionnels à ceux de la source :

- 10% du débit de la source pour les périodes les plus sévères observées moins de 25% du temps,
- 15% pour les situations médianes observées la moitié du temps,
- 20% pour les situations d'hydrologie soutenue observées au moins 75% du temps.

Nous avons analysé 3 situations hydrologiques :

- Une situation représentant les débits minimaux journaliers observés 1 année sur 4,
- Une situation représentant les débits minimaux journaliers observés 1 année sur 2
- Une situation représentant les débits maximaux observés 1 année sur 4.

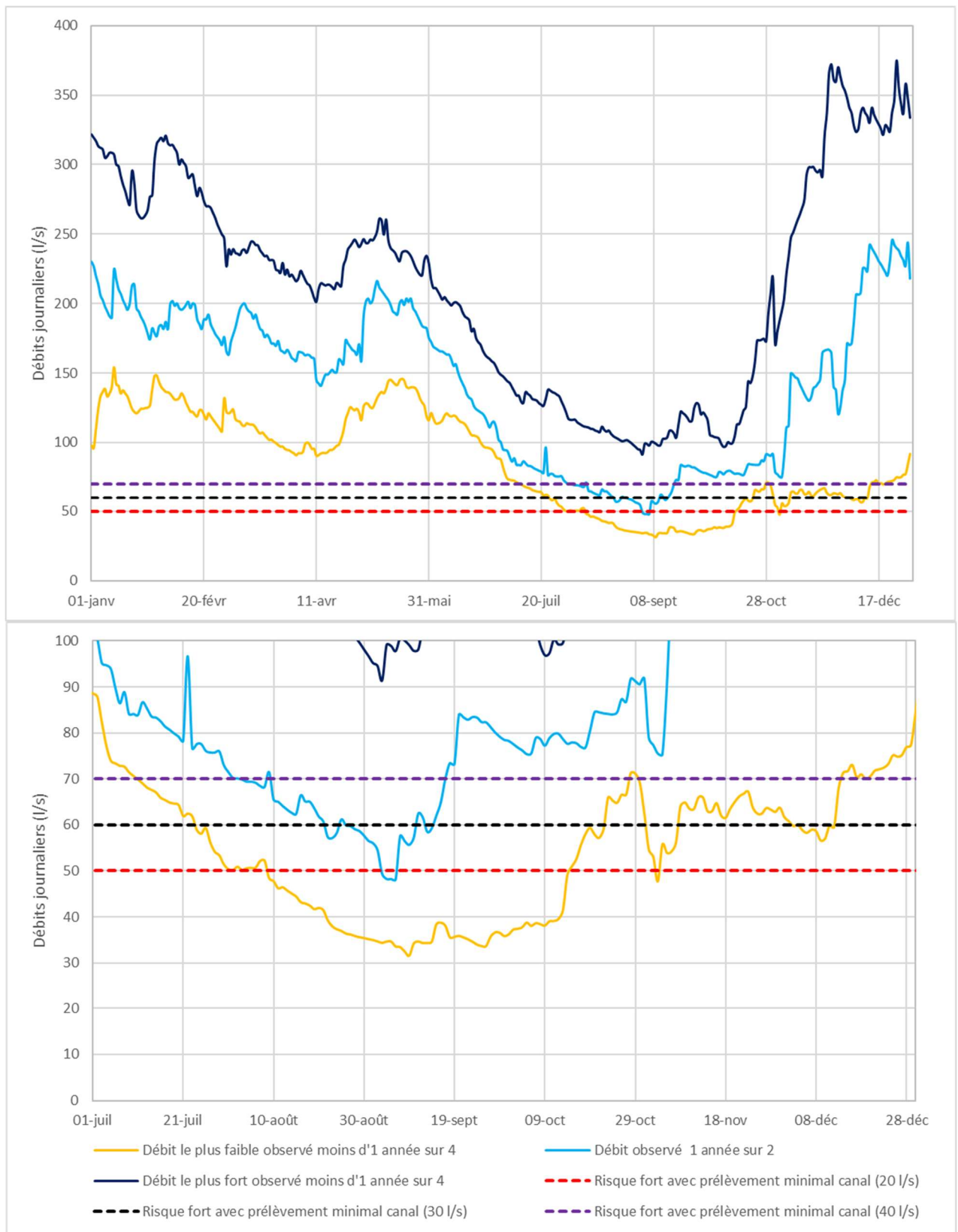


**Figure 43 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques modérés (DMB non respecté) en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.**

En croisant les chroniques de débits avec les seuils de débits correspondant à différents scénarios (valeurs) de prélèvement par le canal des Arrosants, il est possible d'identifier des périodes où le débit du cours d'eau serait inférieur au débit minimum biologique de 45 l/s.

**Tableau 28 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera <DMB selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s.**

Situation hydrologique du Fauge	Nombre de jours où le QFauge <DMB (45 l/s)		
	Capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à:		
	20 l/s	30 l/s	40 l/s
1 année sur 4	95	171	179
1 année sur 2	30	53	98



**Figure 44 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques forts en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.**

Situation hydrologique du Fauge	Nombre de jours où le QFauge < seuil de risque fort (30 l/s)		
	Capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à:		
	20 l/s	30 l/s	40 l/s
1 année sur 4	67	97	154
1 année sur 2	3	20	44

**Tableau 29 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera < au seuil de risque fort (30 l/s) selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s.**

Une année sur 4, le débit réservé du Fauge peut être supérieur ou égal au DMB de 45 l/s et les prélèvements peuvent être maintenus dans le canal avec des valeurs de 40 l/s au minimum.

- Garantie du DMB

Une année sur 2, il n'est pas possible de garantir le débit minimal de 30 l/s associé à un seuil de risque fort de dégradation des habitats entre 30 et 98 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

Une année sur 4, il n'est pas possible de garantir le débit minimal de 30 l/s associé à un seuil de risque fort de dégradation des habitats entre 95 et 179 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

- Garantie du débit minimal associé à une risque fort

Une année sur 2, il n'est pas possible de garantir le DMB entre 3 et 44 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

Une année sur 4, il n'est pas possible de garantir le DMB entre 67 et 154 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

#### 8.3.1.2. Fauge aval prise d'eau des Palettes

Le même travail que celui conduit pour le Fauge amont a été réalisé pour la partie aval du cours d'eau. Les débits ont été estimés en amont de la prise d'eau des Palettes sur la base des débits de la source auxquels ont été ajoutés des apports du bassin versant en hiver et au début du printemps et soustraits environ 10 l/s en été.

Des scénarios de prélèvements de 20, 30 et 40 l/s à la prise d'eau des Palettes ont été appliqués.

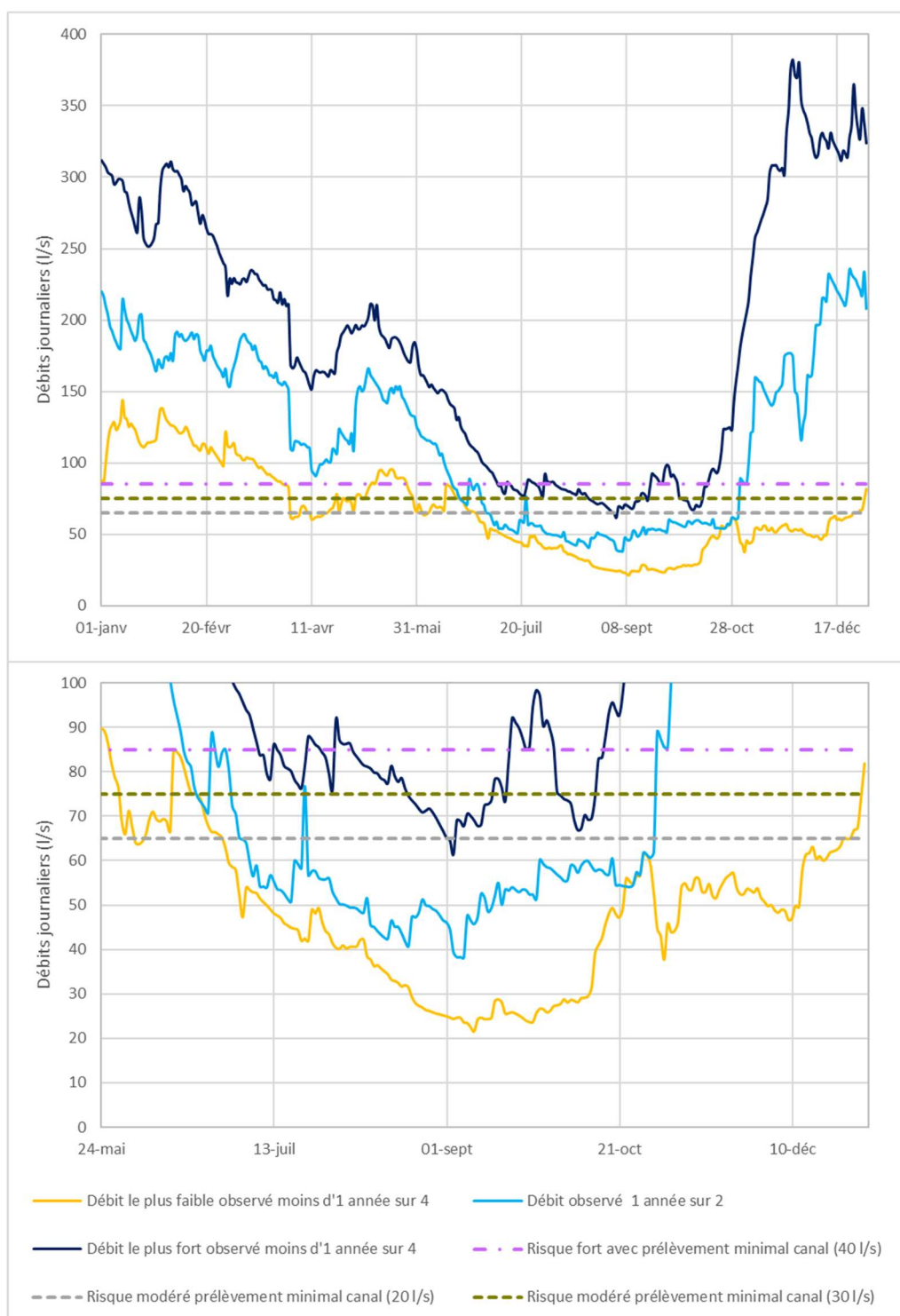


Figure 45 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques modérés (DMB non respecté) en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.

Tableau 30 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera < au DMB selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s.

Situation hydrologique du Fauge	Nombre de jours où le QFauge < DMB (45 l/s)		
	Capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à:		
	20 l/s	30 l/s	40 l/s
1 année sur 4	99	134	189
1 année sur 2	33	82	121

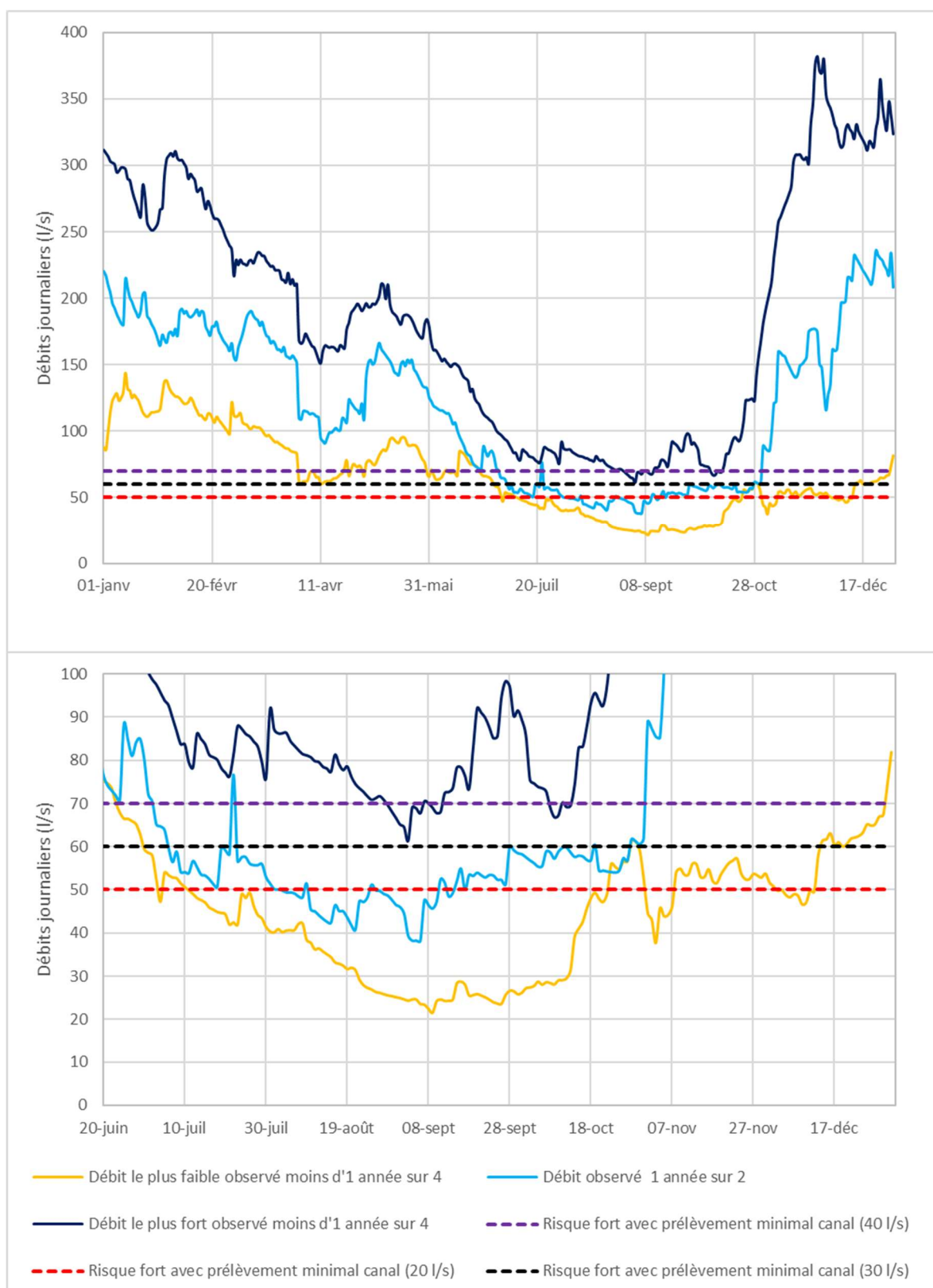


Figure 46 : Débits journaliers du Fauge avec identification des différents seuils de risques forts en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement à 20, 30 ou 40 l/s.

**Tableau 31 : Nombre de jours où le débit du Fauge sera <seuil de risque fort (30 l/s) selon 2 situations hydrologiques et en fonction de la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à 20, 30 ou 40 l/s.**

Situation hydrologique du Fauge	Nombre de jours où le QFauge <seuil de risque fort (30 l/s)		
	Capacité du canal à réduire son prélèvement minimum à:		
	20 l/s	30 l/s	40 l/s
1 année sur 4	88	109	149
1 année sur 2	14	69	116

Une année sur 4, le débit réservé du Fauge aval peut être supérieur ou égal au DMB de 45 l/s et les prélèvements peuvent être maintenus dans le canal avec des valeurs de 40 l/s au minimum.

- Garantie du DMB

Une année sur 2, il n'est pas possible de garantir le débit minimal de 30 l/s associé à un seuil de risque fort de dégradation des habitats entre 33 et 121 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

Une année sur 4, il n'est pas possible de garantir le débit minimal de 30 l/s associé à un seuil de risque fort de dégradation des habitats entre 99 et 189 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

- Garantie du débit minimal associé à une risque fort

Une année sur 2, il n'est pas possible de garantir le DMB entre 14 et 116 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

Une année sur 4, il n'est pas possible de garantir le DMB entre 88 et 149 jours selon la capacité du canal à réduire son prélèvement minimum.

Ces analyses montrent qu'il **convient donc de construire des scénarios de gestion basés à la fois sur une adaptation des prélèvements et sur une modulation du débit réservé.**

## 8.4. PROPOSITIONS DE SCÉNARIO DE DÉBIT RÉSERVÉ

Nous rappelons ici que les observations conduites en 2021 et même avant par la FDAAPPMA des Bouches-du-Rhône ont montré que la contribution du Fauge aux débits d'étiage de l'Huveaune était faible voire nulle du fait de pertes de débits et de prélèvements individuels et a priori illégaux.

**Nous proposons donc une gestion des débits du Fauge qui soit basée sur des indicateurs propres à ce bassin versant.**

### 8.4.1. DÉFINITION DE POINTS « NODAUX » DE CONTRÔLE DU DÉBIT RÉSERVÉ

Un débit réservé est une valeur normalement affectée directement à un dispositif de prise d'eau implanté en rivière. Dans le cas du Fauge, les débits réservés devraient donc être affectés aux deux prises d'eau du canal. Toutefois, en amont, les circulations d'eau sont complexes depuis la source avec des départs et retours de débit. Le secteur à enjeux pour le maintien du débit minimum biologique se situe en aval de la cascade du Fauge. Nous proposons d'établir deux points de contrôle des débits réservés le 1<sup>er</sup> correspondant à la prise d'eau Cabrelle et le second pour la prise d'eau des Palettes.

En amont le point de contrôle se situerait sur une section déterminée au niveau du pont des Soupis situé 250 m sous le pont de Cuges (aval de la cascade). Ce point intégrerait à la fois les débits issus de la prise d'eau, des restitutions depuis la vanne du CD13 et du canyon du Fauge.





En aval à la prise d'eau des Palettes, le débit réservé peut être fixé directement au seuil de prise d'eau. Un point de contrôle pourrait également être installé en aval de Gémenos au pont du Chemin de la République qui dispose d'un seuil déversant.

#### 8.4.2. DÉFINITION DE PÉRIODES DE VIGILANCE DE GESTION

Pour conduire une gestion adaptée et surtout anticipée des prélèvements, il paraît pertinent de pouvoir bénéficier d'indicateurs.

La pluviométrie enregistrée à Aubagne constitue un bon indicateur de la situation des étiages du Fauge. Nous proposons de définir 3 situations de vigilance à partir du mois de juin.

Cumul de pluviométrie à Aubagne (janvier-fin mai)	Situation des étiages du Fauge
<210 mm	Le risque d'un étiage critique est très fort. La probabilité de restrictions des prélèvements est forte – <b>Très forte vigilance</b>
210-360 mm	Le risque d'un étiage critique est fort, une vigilance doit être apportée aux prélèvements en anticipant des périodes probables de restriction selon la pluviométrie du mois de juillet – <b>Vigilance Renforcée</b>
>360 mm	Le risque d'un étiage critique est faible. Les prélèvements pourront probablement être garantis sans restriction particulière – <b>Vigilance faible</b>

Dans les périodes de très forte vigilance et de vigilance renforcée, d'autres indicateurs complémentaires doivent être utilisés pour adapter la gestion. Il s'agit du débit de la source de St-Pons, de repères de niveau dans le Fauge et de la pluviométrie.

#### 8.4.3. PROPOSITIONS DE DÉBIT RÉSERVÉ

Afin de pouvoir concilier les usages et les objectifs de qualité écologique du Fauge amont, nous proposons une modulation du débit réservé.

Tableau 32 : Propositions de modulation de débit réservé.

	01/10 au 14/07	15/07 au 31/10
Fauge amont – Aval prise d'eau Cabrelle – Pont des Soupirs	45 l/s	30 l/s
	01/10 au 14/07	15/07 au 31/10
Fauge aval PE Palettes	45 l/s	30 l/s

## 8.5. BILAN DES PROPOSITIONS

- Gestion des débits du Fauge basée sur des indicateurs propres à ce bassin,
- Mise en place d'un indicateur basé sur la pluviométrie cumulée à Aubagne de janvier à fin mai,
- Points de contrôle des débits réservés :
  - o En amont 250 m sous les cascades au pont des Soupirs,
  - o En aval à la prise d'eau des Palettes et en aval de Gémenos (pont chemin de la République)
- Modulation des débits réservés :
  - o Valeur du débit minimum biologique (45 l/s) du 01/10 au 14/07 puis 30 l/s du 15/07 au 31/10,

Les propositions formulées constituent un compromis entre le maintien des habitats aquatiques du Fauge et les usages liés au canal. La modulation du débit réservé conduit cependant à une aggravation du risque pour les habitats aquatiques du Fauge avec des périodes prolongées où le risque sera de niveau modéré et non plus faible.

## 8.6. PRÉCONISATIONS POUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA GESTION ET DES DÉBITS RÉSERVÉS

La mise en œuvre des propositions de gestion hydrologiques du Fauge nécessite plusieurs moyens de suivi et de contrôle.

### 8.6.1. FAUGE AMONT

Pour la partie amont du cours d'eau (traversée du Parc de St-Pons), les moyens sont :

- Le suivi des débits et des hauteurs d'eau à la source (données DREAL – Banque Hydro)



Débit	Hauteur
>105 l/s	39 cm
>75 l/s	35 cm
>55 l/s	32 cm
30 l/s	26 cm

- L'implantation d'une section de contrôle au niveau de la 2<sup>ème</sup> passerelle depuis les cascades (pont des Soupirs) avec une échelle limnimétrique disposant de 2 repères (rouge : débit =30 l/s; vert : débit = 45 l/s)



- L'implantation d'une échelle couplée à un abaque permettant de connaître les débits prélevés au niveau de la vanne de la prise d'eau Cabrelle.

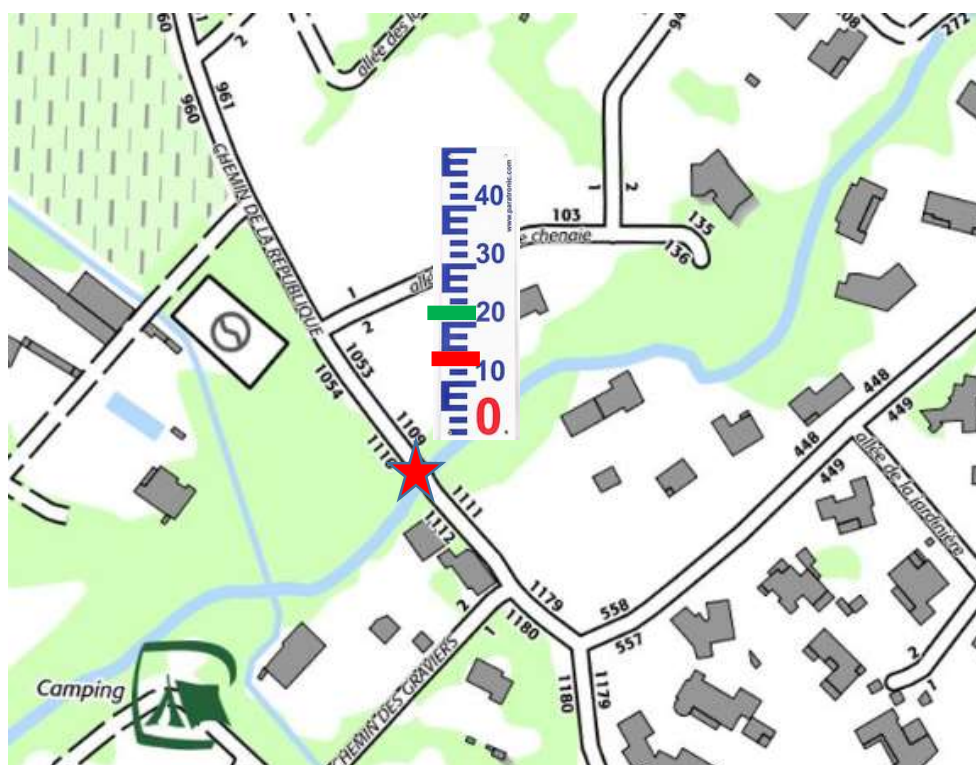
### 8.6.2. FAUGE AVAL – PRISE D'EAU DES PALETTES

Le dispositif de restitution des débits réservés de 45 et 30 l/s (si choix de la modulation retenu) doit équiper directement la prise d'eau des Palettes. Ces dispositifs peuvent être implantés au niveau de l'échancrure centrale.



### 8.6.3. EN AVAL DE GÉMENOS

Nous préconisons à titre de suivi et de vérification l'implantation d'une section de contrôle au niveau du pont du chemin de la République avec une échelle limnimétrique disposant de 2 repères (rouge : débit = 30 l/s; vert : débit = 45 l/s) si le choix de la modulation du débit réservé est retenu.



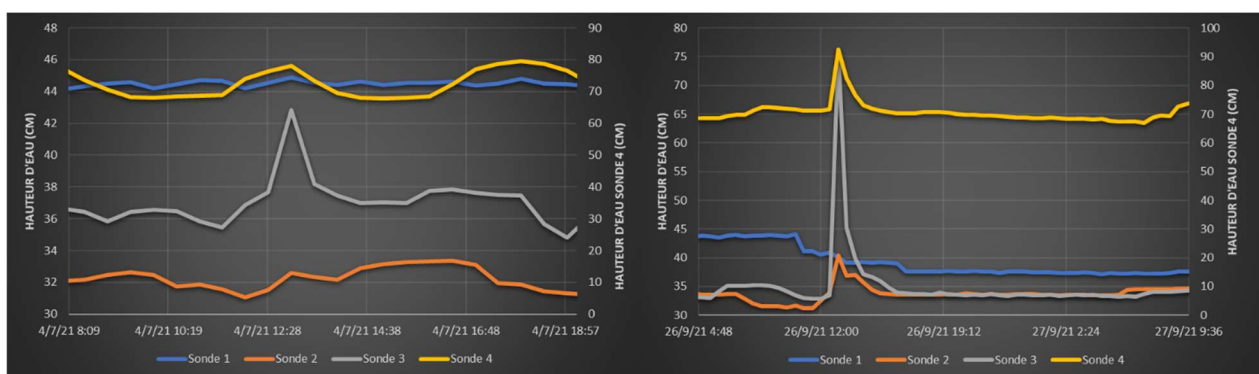
### 8.6.4. DANS LE CANAL

Il pourrait être pertinent d'implanter 2 ou 3 sondes de suivi des niveaux d'eau du canal avec un abaque permettant de transcrire les niveaux en valeur de débit. Une sonde pourrait être implantée dans le Parc de St-Pons et une autre en aval du Y des Palettes. Ces dispositifs permettraient de mieux connaître les prélèvements.

## 8.7. POINTS DE SURVEILLANCE ET D'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRES

Des points spécifiques doivent être mieux appréhendés, quantifiés ou résolus.

- 1) Les prélèvements situés en aval de Gémenos au niveau du chemin des Lavandes doivent être mieux encadrés afin qu'il n'aboutisse pas à une mise en assec du ruisseau en aval,
- 2) Les pompages directs dans le Fauge doivent être mieux appréhendés et encadrés. Il est possible de s'appuyer sur le recensement déjà réalisé par la FDAAPPMA.
- 3) Les retours de débit issus du canal de la SEM. Leur variabilité journalière est plus perturbante que bénéfique au cours d'eau,
- 4) Les apports des précipitations orageuses issues des zones imperméabilisées de Gémenos qui peuvent provoquer des hausses de débit brutales avec des eaux de qualité très dégradée comme le montre les évolutions des hauteurs d'eau suivies lors de 2 événements orageux (hausse nettement plus forte à la sonde 3 à l'aval immédiat de Gémenos)



**Figures 47 et 48 : Évolution des hauteurs d'eau au 4 sondes de niveau lors de 2 événements orageux (5 mm le 04/07/2021 et 13 mm le 26/09/2021).**

- La ripisylve en bord de cours d'eau est un élément indispensable à la stabilité morphologique de la rivière, à l'ombrage, à l'accueil de la biodiversité. Elle doit être préservée et faire l'objet d'une gestion très mesurée.
- Mesures spécifiques du débit de la source et validation des lois de seuils pour les valeurs basses (<40 l/s) (observation de fuites au niveau du seuil de mesure),
- Renouvellement de campagnes de mesures le long du Fauge entre l'amont et la prise d'eau des Palettes afin de mieux caractériser les éventuelles réductions de débit liés à des pertes,
- Renouvellement de campagnes de mesures le long du canal pour mieux caractériser et résorber les fuites.

## 9. BIBLIOGRAPHIE

---

- Baran, P., 1995. Analyse de la variabilité des abondances de truites communes (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées Centrales Françaises – Influence des échelles d'hétérogénéité de l'habitat. INP-ENSAT, Toulouse.
- Baran P., 2010. Les Méthodes d'aide à la détermination de valeur de débit Minimum. *Note de synthèse*. Annexes - *Circulaire* du 05/07/11 relative à l'application de l'article L. 214-18 du code de l'environnement sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau NOR : DEVL1117584C.
- Baran, P., Longuevergne, L., Ombredane, D., Dufour, S., Dupont, N., 2015. Débit Minimum Biologique (DMB) et gestion quantitative de la ressource en eau. Comment définir une gestion quantitative équilibrée de la ressource en eau dans les bassins bretons en intégrant la préservation des milieux aquatiques et la vie piscicole ? (No. GUIDE version 0). Creseb.
- Baudoin, J.-M., Burgun, V., Chanseau, M., Larinier, M., Ovidio, M., Sremski, W., Steinbach, P., Voegtle, B., 2014. Informations sur la Continuité Ecologique. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. ONEMA - Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie.
- Bravard J.P., Gilvera.J., 1993. Structure hydro - géomorphologique des hydrosystèmes. In AMOROS C , PETTS G.E., Hydrosystèmes fluviaux, 83-103,Masson, Paris
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J., Henriksen, J., 1978. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey.
- Bravard, J.P., Gilvear, J., 1993. Structure hydrologique et géomorphologiques des hydrosystèmes, in: Amoros C., Petts G.E., Hydrosystèmes Fluviaux. Paris, pp. 83–103.
- Delacoste, M., 1995. Analyse de la variabilité spatiale de la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta* L.). Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse.
- Delacoste, M., Baran, P., Lek, S., Lascaux, J.M., 1995. Classification et clé de détermination des faciès d'écoulements en rivières de montagne. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 149–156.
- Delacoste, M., Baran, P., Lascaux, J.M., 1999. A methodology to evaluate physical habitat for reproduction of brown trout (*Salmo trutta* L.) and the relation with fry recruitment, Blackwell Science. ed, River Fisheries. I.G. Cowx, Oxford.
- ECOGEA, 2020. Débit minimum biologique pour le Desman des Pyrénées : première approche pour la caractérisation de préférences hydrauliques et de sensibilité des habitats de l'espèce aux débits. Programme LIFE Desman, Action C4 – Sites FR7300827 et FR9101473 / FR9112026, 85 p et annexes.
- Fragnaud, E., 1987. Préférences d'habitat de la truite fario (*Salmo trutta fario* L. , 1758) en rivière : quelques cours d'eau du Sud-Est de la France. Cemagref DQEPP-LHQ, Université C. Bernard Lyon I, Lyon.
- Guinot, V., 1998. Logiciel EVHA. Evaluation De L'habitat Physique Des Poissons En Rivière (Version 2.0.). Guide de l'utilisateur. Cemagref Lyon BEA/LHQ et Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement, Dir. de l'Eau.
- Guinot, V., Souchon, Y., Capra, H., Breil, P., Valentin, S., 1998. EVHA version 2.0 - Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière - Guide Méthodologique. Cemagref Lyon BEA/LHQ et Ministère de l'environnement.
- Lagarrigue, T., 2000. Croissance de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées françaises - Analyse régionale et locale des principaux facteurs de variabilité en rivière de montagne. INP-ENSAT, Toulouse.
- Lamouroux, N., 2008. Estimhab - Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique de la gestion hydraulique des cours d'eau. Cemagref Lyon.

LAMOUREUX N., AUGÉARD B., BARAN P., CAPRA H., LECOARER Y., GIRARD V., GOURAUD V., NAVARRO L., PROST O., SAGNES P., SAUQUET E., TISSOT L.. 2018. Débits écologiques: la place des modèles d'habitat hydraulique dans une démarche intégrée. *Hydroécol. Appl.* (2018) Tome 20, pp. 1–27.

Limérinos, J.T., 1970. Determination of the manning coefficient from measured bed roughness in natural channels. U.S.Geol. Survey Water Supply paper. <https://doi.org/10.3133/wsp1898B>

Poff, N.L., Allan, J.D., 1995. Functional Organization of Stream Fish Assemblages in Relation to Hydrological Variability. *Ecology* 76, 606–627. <https://doi.org/10.2307/1941217>

Souchon, Y., Trocherie, F., Fragnoud, E., Lacombe, C., 1989. Les modèles numériques des microhabitats des poissons: application et nouveaux développements. *rseau* 2, 807–830. <https://doi.org/10.7202/705056ar>

Tissot, L., Gouraud, V., Sabaton, C., 2011. Logiciel d'Application de la Méthode des Microhabitats Lammi – Guide méthodologique. EDF R&D.

Verneaux, J., 1977. Biotypologie de l'écosystème « eau courante ». Déterminisme approché de la structure biotypologique. *C.R Acad. Sc Paris t 284*, 77–79.

Von Gunten D., Y. Le Coarer, F. Zaoui, 2018. Développement d'une plate-forme de modèles d'habitats numériques : HABBY. INRAE., pp.11.