

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude.

Rapport technique Décembre 2022



Table des matières

1.	Définition du périmètre d'étude :.....	4
1.1	Contexte général	4
1.2	Contexte hydrologique et données hydrométriques	6
2.	Présentation de l'espèce et identification des menaces :	8
2.1	Systématique :	8
2.2	Caractéristiques morphologiques et comportementales :	9
2.3	Régime alimentaire et cycle de vie :	10
2.4	Exigences habitationnelles appliquées au contexte du fleuve Aude :	11
3.	Détermination de la zone d'étude :	13
3.1	Contexte règlementaire :	13
3.2	Synthèse des données générales sur l'espèce dans la haute vallée de l'Aude :	15
4.	Matériel et méthode :	18
4.1	Mesure du compartiment physique	18
4.2	Mesure du compartiment chimique.....	21
4.3	Mesure du compartiment biologique :	22
4.4	Détermination des habitats de référence	23
6.	Résultats et interprétation par tronçons :	29
6.1	Présentation des tronçons homogènes.....	29
	.....	34
6.2	Description de la qualité de l'habitat	35
6.3	Analyse de la qualité physico-chimique	38
6.3	Analyse de la population de chabot	65
6.4	Recherche d'ADN environnemental	67
6.4	Synthèse :	72
7	Détermination et étude sur des habitats de référence :	76
7.1	Détermination des stations d'études :	76
7.2	Station de référence sur l'Aude à Belvianes et Cavirac	77
7.2.1	Inventaire piscicole par pêche complète à plusieurs passages successifs.....	78
7.2.2	Bioévaluation basée sur le compartiment des macroinvertébrés benthiques : I2M2	88
7.2.3	Caractérisation de la qualité des habitats aquatiques.....	90

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022

7.3 Station de référence sur le Rebenty à Cailla	104
7.3.1 Inventaire piscicole par pêche complète à plusieurs passages successifs.....	105
7.3.2 Caractérisation de la qualité des habitats aquatiques	114
8. Analyse diachronique de l'évolution du compartiment biologique à l'échelle de l'aire de répartition du Chabot :	121
8.1 Evolution des peuplements piscicoles sur le périmètre d'étude :	121
8.1.1 L'aude à Le Clat « Saint Georges » (06175620) :.....	122
8.1.2 Le Rebenty à Cailla (06175645) :.....	123
8.2 Bioévaluation basée sur le compartiment des macroinvertébrés benthiques : l2M2	125
9 Amélioration des connaissances sur l'écologie de l'espèce et de l'impact des activités humaines :	138
9.1 Analyse génétique sur l'ensemble de l'aire de répartition :	138
9.1.1 Protocole d'échantillonnage et localisation	138
9.1.2 Méthodologie pour l'identification génétique et résultats :	139
9.2 Quantification génétique de l'impact des ouvrages hydrauliques sur la connectivité écologique :.....	139
9.2.1 Éléments de contexte :	139
9.2.2 Diagnostics de franchissabilité appliqués au seuil de la Scierie sur l'Aude à Belvianes et Cavirac : protocole d'Information sur la Continuité Ecologique (I.C.E.).....	141
9.2.2. Le F-index.....	143
10. Synthèse et conclusion générale :.....	145
Synthèse des éléments bibliographique :.....	152
Liste des annexes :	155

1. Définition du périmètre d'étude :

1.1 Contexte général

Les nombreux travaux menés sur le réseau hydrographique de la Haute Vallée de l'Aude ont contribué à mettre en évidence l'importante richesse spécifique présente sur cette unité géographique. Souvent considérés comme de précieux indicateurs de qualité du milieu naturel, certaines de ces espèces parmi les plus emblématiques (Desman des Pyrénées, Calotriton des Pyrénées) ont bénéficié de programmes visant à l'amélioration de leur prise en compte dans les politiques d'aménagement et de gestion de l'eau.

Dans ce contexte, les populations piscicoles présentes dans les cours d'eau n'ont jusqu'alors que peu attiré l'attention des gestionnaires des milieux aquatiques. L'espèce figure cependant en Annexe II de la directive 92/43/CEE et est identifiée comme d'intérêt communautaire au sein de deux sites Natura 2000 de la haute vallée de l'Aude :

- FR9101470 - HAUTE VALLÉE DE L'AUDE ET BASSIN DE L'AIGUETTE
- FR9101468 - BASSIN DU REBENTY

La réactualisation récente du Plan Départemental de l'Aude pour la Protection des milieux aquatiques et Gestion de ressources piscicoles (PDPG11) a contribué à mettre en évidence la présence d'une espèce protégée relevant d'un fort intérêt patrimonial. De par sa vulnérabilité, ce discret poisson est désormais élevé au rang d'espèce cible et peut, dès lors, bénéficier d'actions et de mesures de gestion spécifiques. À ce titre, les préconisations du PDPG11 priorisent les actions visant à la restauration de la continuité écologique et à la gestion concertée et ichtyocompatible des régimes hydrologiques artificialisés. La mise en œuvre de ces dernières pourra ainsi être bénéfique pour l'ensemble des écosystèmes aquatiques de la haute vallée de l'Aude et favorisera l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau concernées.

Au sein de contextes piscicoles à large dominance salmonicole et sur une aire de répartition restreinte, la population de Chabot de l'Aude alimente les plus anciennes chroniques de données piscicoles recueillies par le Conseil Supérieur de la Pêche (première mention en 1986 sur le bas Rebenty). Plus récemment, avec le développement du réseau des stations de suivi des peuplements piscicoles réalisés par la Fédération Départementale de pêche de l'Aude (FD 11), la connaissance de l'espèce s'est encore un peu affinée avec la capture inédite de plusieurs individus à hauteur de Campagne sur Aude (2019).

Parallèlement à cela, de récentes études ont largement contribué à améliorer la connaissance générale de l'espèce démontrant ainsi sa forte sensibilité aux variations thermiques (notamment au réchauffement), au colmatage du substrat et à l'aménagement des cours d'eau (obstacles transversaux à l'écoulement). Dans le même temps, les progrès réalisés en termes d'identification des marqueurs génétiques ont mis en évidence le formidable endémisme de cette espèce qui contribue désormais à la richesse patrimoniale de nos cours d'eau.

Dans un contexte de changement climatique et de fort déficit de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant, les enjeux relatifs à la conservation de cette espèce sont forts sur la haute vallée

de l'Aude. En effet, la multitude des usages associés à ce cours d'eau et les fortes pressions anthropiques qui y sont exercées se révèlent être des menaces sérieuses.

Cette étude a donc pour objectifs :

- L'amélioration des connaissances sur l'espèce et de sa distribution au sein de son aire de répartition ;
- L'évaluation de la qualité des habitats favorables à cette espèce ;
- L'identification des pressions anthropiques portant atteinte aux milieux naturels ;
- La définition de mesures nécessaires à la préservation des milieux et de l'espèce en concertation avec l'ensemble des partenaires.

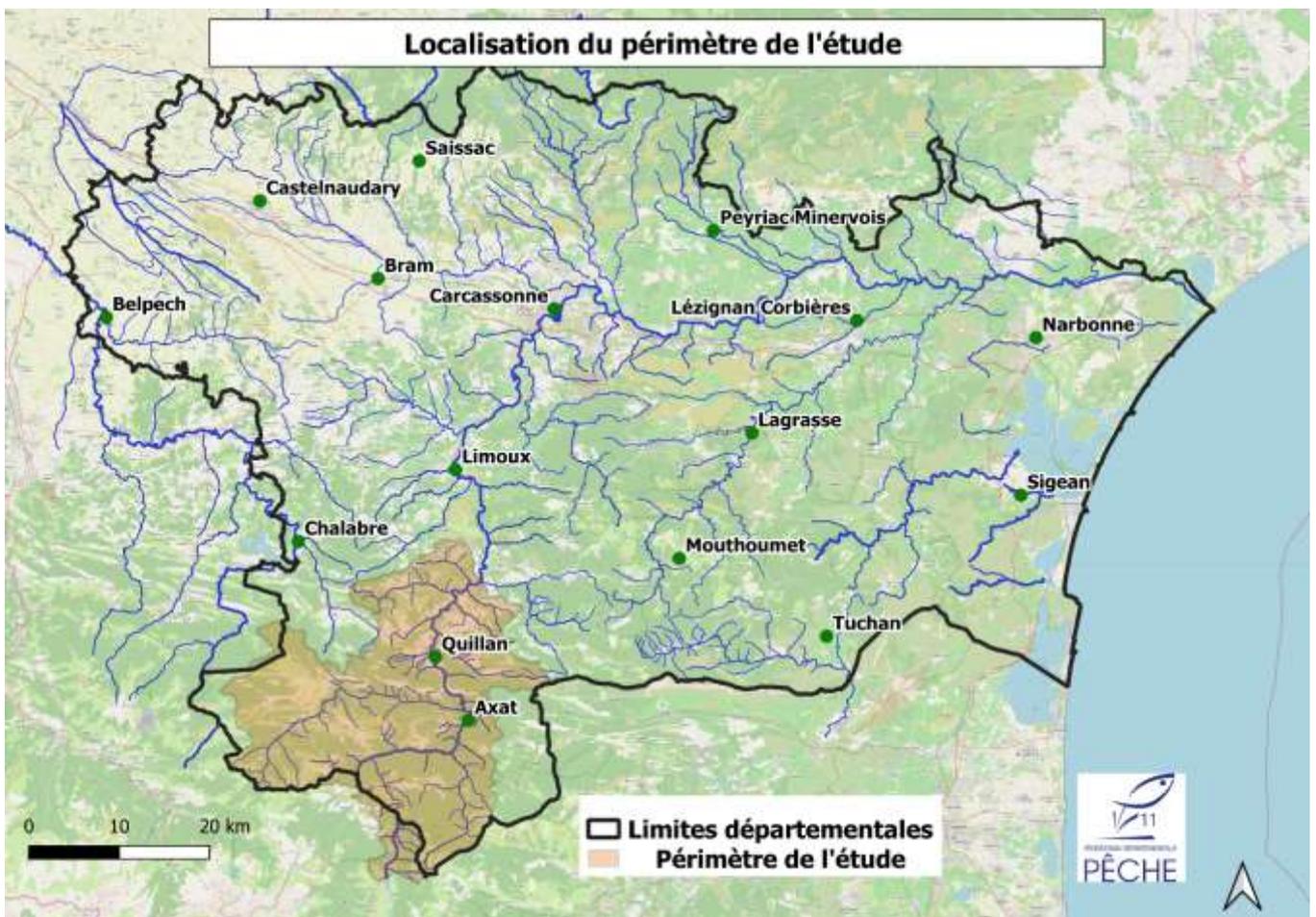


Figure n°1 : périmètre de l'étude.

1.2 Contexte hydrologique et données hydrométriques

En raison de sa position géographique, la haute vallée de l'Aude est influencée par 3 types de climats : montagnard, atlantique et méditerranéen. D'une manière naturelle, le régime hydrologique peut être qualifié de pluvio-nival dégradé à influence méditerranéenne. Cela se traduit par des périodes de hautes eaux, potentiellement propices aux crues et inondations, au printemps et en automne. Les périodes de basses eaux se concentrent sur les périodes estivales et peuvent s'étendre aux mois d'Octobre / Novembre.

En termes d'effet sur la reproduction, les épisodes de crues peuvent induire à la fois :

- Des perturbations dans le comportement de reproduction des adultes en déstructurant leur organisation spatiale se traduisant par une interruption de la période de ponte (BEAUDOU et al., 2002) ;
- Une dérive vers l'aval des juvéniles de l'année (LUSK et al., 1998) ;

Cependant, les crues génèrent également une remobilisation bénéfique des sédiments, notamment dans le contexte de déficit de l'Aude, avec de potentiels apports et renouvellement des substrats minéraux meubles (classes grossières : Cailloux à Blocs) recherchés par les chabots pour se reproduire, se cacher et se nourrir. Elles sont donc par définition, et en particulier pour cette espèce, indispensables au maintien d'un habitat favorable et fonctionnel à la condition du respect du transport solide et de la connectivité latérale de l'espace fluvial.

En plus de la variabilité naturelle, le régime hydrologique du fleuve Aude est largement artificialisé depuis la tête de bassin versant en lien avec la multiplication, et parfois la superposition des usages associés aux ressources du fleuve (hydroélectricité, irrigation, sports d'eaux vives).

En aval de l'usine de Nentilla, l'hydrologie de l'Aude est caractérisée par un fonctionnement par éclusées générant d'importantes fluctuations des débits instantanées en lien avec des lâchers d'eau limités dans le temps qui se superposent au débit naturel. Les études menées dans le cadre du SAGE de la Haute vallée de l'Aude mettent ainsi en évidence un impact hydrologique des restitutions de l'usine de Nentilla dont l'extension est perceptible jusqu'à la mer avec un très faible amortissement en période estivale. Les effets sur la faune piscicole associés à ce type de phénomène ont été décrits précédemment (piégeage, exondation de frayère et dérive forcée). Une étude spécifique visant l'évaluation des impacts sur les milieux aquatiques portée par le SMMAR est actuellement en cours de réalisation par le bureau d'étude Eaucéa.

Dès lors, dans le cadre de cette étude, il sera fait une distinction entre les phénomènes cycliques, potentiellement morphogènes, d'origine naturelle (crues) et les fluctuations journalières de plus faibles amplitudes d'origine anthropique impactantes vis-à-vis de l'espèce.

Plusieurs entités peuvent être individualisées du fait de leurs régimes hydrologiques distincts :

- L'Aude du Hameau de Gesse à l'usine de Nentilla (tronçon court-circuité de 6200 mètres) dont les débits moyens tendent à être homogénéisés et les crues tamponnées. Ce secteur est dépourvu de station hydrométrique.
- L'Aude de l'usine de Nentilla à la confluence de Salz soumis aux éclusées dont les effets tendent à s'amortir sur les secteurs les plus bas. Deux stations hydrologiques (Belviane et Quillan) sont référencées sur ce tronçon, parmi celles-ci, la station de Belvianes-et-Cavirac (Y1112010) apparaît comme la plus représentative et la plus fiable.
- Sur les bassins deux affluents de l'Aude pris en compte dans cette étude (Rebenty et Aiguette), seul le Rebenty bénéficie d'un suivi hydrologique au niveau de Saint Martin Lys (station Y1105010).

- **Les régimes hydrologiques de crues :**

Dans les écosystèmes naturels, la fréquence de retour de ce type de crues est généralement biennale (Navratil et al., 2006, Malavoi et Souchon, 2010). Dans les systèmes contraints (latéralement et par incision) les crues morphogènes ont des fréquences de retour plus élevées (quinquennale à vicennale selon le niveau de perturbations subies). Dans ce type système, les crues de fréquence de retour intermédiaires peuvent au mieux modifier les méso-habitats du « lit mineur » sans affecter le « lit majeur ».

Afin d'évaluer la récurrence des crues sur les deux stations représentatives sélectionnées sur les bassins de l'Aude et du Rebenty, il a été analysé le régime hydraulique sur la période contemporaine 2010 /2021. Les chroniques disponibles ont été exportées depuis le site Hydro Portail à un pas de temps de deux heures, certains débits de pointe peuvent ne pas avoir été considérés.

- ✓ **Le Rebenty à Saint-Martin-Lys (Y1105010) :**

Données hydrologiques générales :

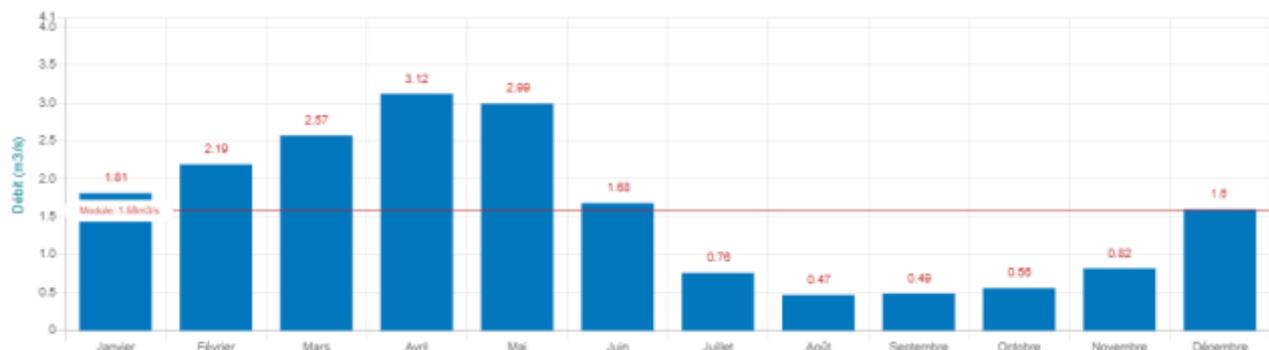
Débit moyen annuel (Module) : 1.58m³/s

Débit mensuel minimal quinquennal (Qmna5) : 0.19m³/s

Débit de la crue biennale : 14.00m³/s

Débit de la crue décennale : 26.00m³/s

Régime hydrologique : nivo-pluvial pyrénéen



Le Rebenty à Saint-Martin-Lys ; Débits mensuels moyens pluriannuels (1934 /2021)

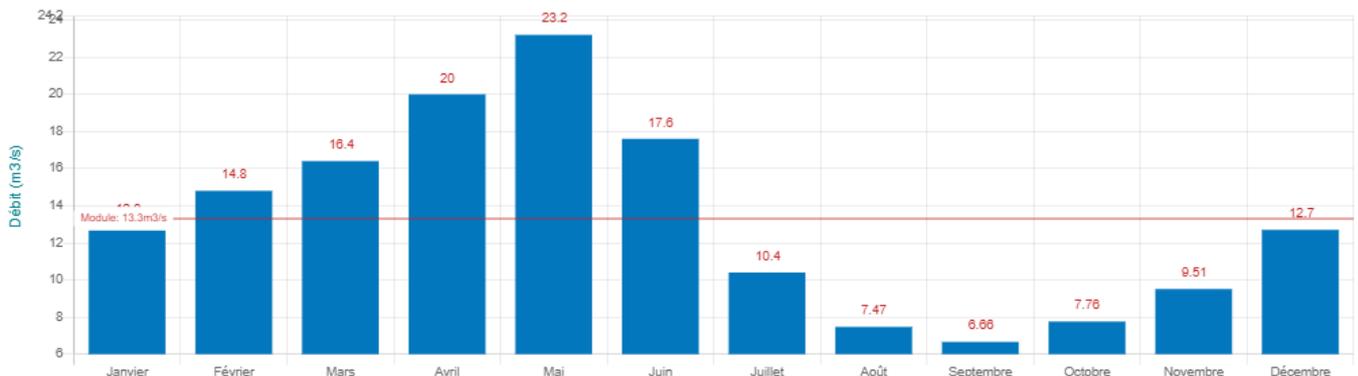
Les données disponibles pour le bassin du Rebenty mettent en évidence des valeurs de 14 m³/s pour les crues biennales et 57 m³/s pour les crues vicennales. Sur la période considérée, la récurrence biennale est atteinte ou approchée 6 fois. La crue du 22/01/2020 a atteint un niveau décennal.

Ce graphique ainsi que les informations générales de la station confirment des périodes estivales d'étiages prononcés en été / Automne, et des périodes de hautes eaux préférentiellement hivernales mais surtout printanières. Un pic de débit moyen est ainsi observé sur les mois de Mars / Avril et Mai. Les épisodes de crues interviennent vraisemblablement à cette époque ce qui peut être de nature à affecter le recrutement des populations de Chabot certaines années.

✓ **L'Aude à Belvianes et Cavirac (Y1112010) :**

Données hydrologiques générales :

Débit moyen annuel (Module) : 13.3 m³/s
Débit mensuel minimal quinquennal (Qmna5) : 3.7 m³/s
Débit de la crue biennale : 59.00m³/s
Débit de la crue décennale : 110.00m³/s
Régime hydrologique : nivo-pluvial pyrénéen



L'Aude à Belvianes-et-Cavirac ; Débits mensuels moyens pluriannuels (1914 /2021)

2. Présentation de l'espèce et identification des menaces :

2.1 Systématique :

Sur le bassin versant de l'Aude, le chabot ne semble présent que sur une portion réduite du réseau hydrographique de l'Aude entre Campagne sur Aude et Bessède de Sault, et du Rebenty à hauteur de Cailla, soit environ 35 km. Ce linéaire abrite une population unique dont le niveau de connexion intraspécifique n'a jusqu'alors jamais été établi.

En l'état actuel des connaissances, la population de la Haute Vallée de l'Aude est rattachée à la sous-espèce dite méridionale du Chabot Commun aussi présente dans le bas de la Vallée du Rhône (Cottus Gobio), mais pourrait être rattachée à un complexe évolutif plus large à l'origine de la naissance du Chabot du Lez et de l'Hérault. (Les Poissons d'eau douces, Keith et al. 2020)

Règne : Animal
Embranchement : Chordés
Sous-embranchement : Vertébrés
Super-classe : Osteichthyes
Classe : Actinoptérygiens
Sous-classe : Néoptérygiens
Infra-classe : Téléostéens
Super-ordre : Acanthoptérygiens
Ordre : Scorpaeniformes
Famille : Cottidés
Genre : Cottus
Espèce : Gobio



Statuts de Protection :

Liste Rouge IUCN			Directive Habitat 92/43/CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992			Législation Nationale (CE)	
Niveau Mondial	Niveau Européen	Niveau National	Annexe 2 ZONES SPÉCIALES DE CONSERVATION	Annexe 4 NÉCESSITENT UNE PROTECTION STRICTE	Annexe 5 PRÉLÈVEMENT DANS LA NATURE ET L'EXPLOITATION SONT SUSCEPTIBLES DE FAIRE L'OBJET DE MESURES DE GESTION	Arrêté 08/12/1988 *	Arrêté 23/04/2008 **
LC	LC	LC	+	-	-	-	+

* Arrêté du 8 décembre 1988 fixant la liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national

** Arrêté du 23 avril 2008 fixant la liste des espèces de poissons et de crustacés et la granulométrie caractéristique des frayères en application de l'article R. 432-1 du code de l'environnement

2.2 Caractéristiques morphologiques et comportementales :

Le Chabot est un petit poisson facilement identifiable du fait de sa silhouette singulière en forme de massue s'épaississant vers l'avant du corps. Cette espèce affectionne les cours d'eau rapides, frais et peu profonds généralement situés au niveau typologique de la zone à Truite à la zone à Barbeau.

La littérature générale décrit des tailles maximales pouvant atteindre 150 à 170 mm. Cependant, la population de l'Aude se distingue par des mensurations ne dépassant que rarement 100 mm. Cet élément peut être mis en relation avec l'impact supposé négatif des eaux fortement carbonatées sur la taille des individus mise en évidence sur les populations héraultaises. (Les Poissons d'eau douce, Keith et al. 2020)

Les caractéristiques physiques générales du Chabot lui confèrent une parfaite adaptabilité vis-à-vis des habitats benthiques sur fond caillouteux. Par ailleurs, en dépit d'une morphologie lui permettant de rester plus facilement plaqué sur le fond, le Chabot ne tolère que des vitesses moyennes de courant de 10 à 40 cm/s (Biologie des poissons d'eau douce Européens, BRUSLE et al. 2013).

En effet, en l'absence de vessie natatoire, le Chabot ne dispose que d'une faible capacité de nage avec une vitesse de pointe (effort intense ne pouvant être maintenu que quelques secondes) estimée à environ 1.5 m/s. (Information sur la Continuité Ecologique (ICE), Baudoin et al. Mai 2014). Ce trait comportemental a pour conséquence une grande vulnérabilité de l'espèce face aux événements

hydrologiques violents et aux variations brutales du courant. Certaines crues sont ainsi à l'origine du déclin de populations entières suite à la dérive forcée des individus (Lusk et al. 1998). Il est notable que les stades juvéniles du Chabot (alevins libres et vésiculés) présentent une vulnérabilité particulièrement prégnante au phénomène de dérive forcée en raison de capacités de nage quasi nulles. En outre, il a aussi été démontré que cette espèce demeure particulièrement sensible vis-à-vis des éclusés d'origine anthropiques (exondation de frayères et piégeage) notamment au niveau de la rivière Dordogne (Lascaux J.M. et al. 2008).

Le Chabot est un poisson territorial et solitaire. Ainsi, le domaine vital d'un individu ne dépasse généralement pas quelques dizaines de mètres carrés, même si des déplacements de plusieurs centaines de mètres ont pu être observés (Ovidio et Philippart, 2007). Pour que les individus puissent former des sous-populations, et in fine une population fonctionnelle, il est nécessaire de garantir la pérennité de la connectivité des habitats qui leur sont favorables afin qu'ils puissent y accéder ou les recoloniser de proche en proche en cas de mortalité accidentelle.

De cette façon, il est aussi démontré que la capacité de franchissement des obstacles à l'écoulement se limite aux petits seuils (0,3 à 0,4 m de hauteur) naturels ou artificiels de configuration assez variables, mais présentant généralement de faibles pentes (jusqu'à 22 %) et des substrats rugueux avec blocs ou en enrochements. En revanche, la présence d'un seuil vertical ou subvertical de 0,2 – 0,25 m s'avère infranchissable pour cette espèce. (Utzinger et al. (1998).

2.3 Régime alimentaire et cycle de vie :

Le Chabot est une espèce carnivore aux mœurs nocturnes pratiquant une chasse à l'affut d'un large panel d'invertébrés benthiques (crustacés, vers, larves d'insectes), et de façon opportune et occasionnelle des œufs et des juvéniles de poissons.

Localement, selon la disponibilité de la ressource trophique, une certaine spécialisation peut être observée. Ainsi, son proche cousin, le Chabot du Lez apparaît friand de gammaridés en lien avec son abondance dans la partie amont du Lez. (Monographie du Chabot du Lez, SIC Le Lez, Juillet 2015).

La maturité sexuelle intervient généralement à l'âge de 2 ans avec une expérience de vie qui n'excéderait pas 3 à 4 ans. La ponte se déroule préférentiellement en Mars-Avril quand la température devient supérieure à 12 °C. L'incubation dure de 20 à 25 jours.

Les populations de Chabots s'organisent en fonction de la taille des individus et du sexe. Les mâles dominants protègent des nids issus de pontes de plusieurs femelles et dissimulés dans les interstices associés à de la granulométrie grossière. Les alevins et juvéniles se protègent de la prédation dans des cavités de faible taille au niveau de classes granulométriques légèrement plus fines.

Le Chabot commun ne se reproduit qu'une fois dans l'année entre les mois de mars et juin. Cependant, il a été montré, chez son voisin le Chabot du Lez, que la reproduction pouvait s'étendre sur une bonne partie de l'année avec des pontes multiples essentiellement regroupées de février à juillet mais pouvant reprendre en automne.

2.4 Exigences habitationnelles appliquées au contexte du fleuve Aude :

Le Chabot est particulièrement exigeant vis à vis de la relation entre les trois composantes fondamentales des habitats aquatiques : vitesse d'écoulement, hauteur d'eau et qualité du substrat.

Son habitat de prédilection est souvent associé à des classes granulométriques plutôt grossières (Pierres et Blocs), des vitesses d'écoulements modérées (0.4 m/s) dans des faciès d'écoulement courants et peu profonds (hauteur d'eau généralement inférieure à 0.6 m d'eau) se situant en chenal. Ces éléments issus de la bibliographie générale sont largement confirmés par les résultats des inventaires piscicoles réalisés dans la haute vallée de l'Aude et notamment les analyses des répartitions spécifiques intra-stationnelles réalisées lors des Echantillons Ponctuels d'Abondances (Comptes rendus des inventaires piscicoles de Marides à Quillan (2017 / 2020) ; FDAAPPMA 11). D'une manière générale, le Chabot est inféodé aux milieux rocailloux ouverts offrant des vides de taille à minima centimétrique, ce qui induit une forte sensibilité au colmatage par les sédiments fins et sables.

Le Chabot est une espèce exigeante vis-à-vis de la thermie de l'eau. Il est ainsi considéré comme une espèce cryophile qui accompagne généralement la Truite Fario et l'Ombre Commun dans leurs biocénotypes de prédilection. Il est démontré qu'un accroissement thermique altère sa reproduction et modifie sa stratégie démographique. En effet, dans un contexte de réchauffement climatique, « les populations du Sud Est de la France manifestent une diminution des performances tant somatiques (croissance) que génésiques (reproduction) lorsqu'elles sont soumises durant 4 mois à des températures supérieures à 12°C (Reyjol et al., 2009) ».

Plus proche de notre périmètre d'étude, les études réalisées sur le Chabot du Lez par le Conseil Supérieur de la Pêche (Beaudou et al., 2002) mettent en évidence des perturbations du développement de l'espèce au niveau des stades critiques (œufs, éclosions, résorption de vésicules, reproduction fractionnée...) dès lors que les températures s'éloignent des 15 à 16°C (limite aval de l'aire de répartition). Par ailleurs, les stades juvéniles semblent contraints par une tolérance thermique plus réduite que les adultes (ELLIOT et al. 1995). Les seuils de mortalité sont atteints à partir de 27°C.

Dans la haute vallée de l'Aude, deux types d'habitats souvent complémentaires et interdépendants relèvent d'un intérêt majeur pour la conservation de l'espèce :

- Les exurgences d'eau des massifs karstiques

Elles se situent principalement dans la zone de piémont calcaire. Les eaux y sont très chargées en calcium qui se précipite au contact de l'air pouvant former des concrétions de tuf qui au cours des ans peuvent atteindre des tailles remarquables. Ces tufs sont souvent associés à l'habitat d'intérêt européen dit du "Cratoneurion" composé de mousses et d'hépatiques. Ces exurgences ont parfois des débits importants lors d'épisodes pluvieux marqués ou lors de la fonte des neiges. C'est le cas de "Font Maure", située à la sortie du défilé de Pierre Lys et qui est l'exutoire principal d'une importante partie du grand plateau de Sault. On peut souligner que sur l'Aude entre la prise d'eau de Gesse et l'usine de Nentilla, on relève plus de trente résurgences ou exurgences. Les affluents avals du Rébenty sont également alimentés par des eaux provenant du petit ou du grand plateau de Sault. Ces ressources demeurent particulièrement sensibles aux prélèvements et peuvent potentiellement être le vecteur de pollutions associées aux activités anthropiques.

- Les zones courantes et radiers des cours d'eau principaux (Aude, Rébenty et Aiguette) de la zone d'étude :

Ces secteurs regroupent l'ensemble des métriques favorables à la présence du Chabot. La présence d'une granulométrie majoritairement grossière et globalement peu colmatée diversifie le nombre de caches et permet l'accomplissement de l'ensemble du cycle vital de l'espèce. Dans la haute vallée de l'Aude cet habitat peut être impacté par les lâchers des centrales hydroélectriques et par la gestion du transport solide.

Synthèse des menaces et sensibilité du Chabot :

L'analyse des traits biologiques de l'espèce met en évidence la vulnérabilité de l'espèce face :

- Aux fortes et brutales variations des vitesses d'écoulements (naturelle ou anthropique) ;
- Au réchauffement thermique (espèce cryophile),
- Aux grandes perturbations morphologiques des cours d'eau : altération de la continuité écologique, déficit sédimentaire (disparition du substrat favorable), colmatage du substrat par des matières fines ou la matière organique (disparition des espaces interstitiels et altération des conditions de circulation d'eau et d'oxygénation)
- Aux altérations de la qualité de l'eau qui entraînerait une diminution de la quantité disponible de proies.

3. Détermination de la zone d'étude :

3.1 Contexte réglementaire :

Les territoires associés au réseau hydrographique de la Haute Vallée de l'Aude constituent un espace naturel relativement préservé abritant une importante richesse spécifique dont plusieurs taxons remarquables. De cette manière, plusieurs dispositifs réglementaires visant préservation de la biodiversité et gestion des habitats naturels y ont été mis en place.

Il est ainsi possible d'identifier sur le secteur d'étude deux sites Natura 2000 relevant de la directive européenne 92/43/CEE « habitat, faune, flore » dans lequel le Chabot, visé en annexe II, est mentionné :

- Site « BASSIN DU REBENTY » (FR9101468) :

Le site s'étend sur 8567 ha en y intégrant l'axe du Rebenty depuis sa confluence avec l'Aude ainsi que son bassin versant amont. Les espèces dulçaquicoles mentionnées sont le Barbeau Méridional, le Chabot et l'Écrevisse à patte blanche. Sur ce site aussi le Chabot constitue un enjeu écologique défini comme fort.

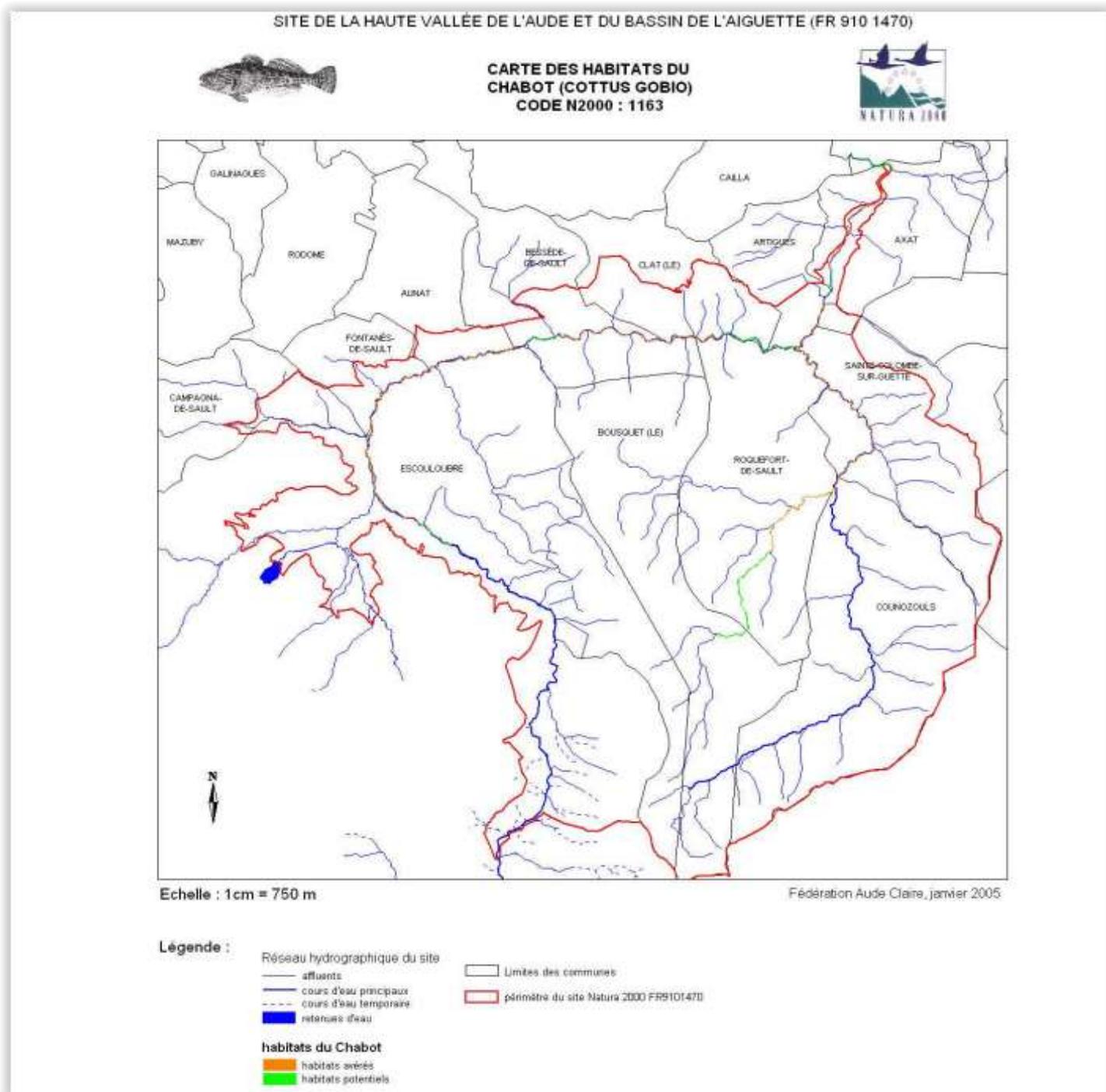
Concernant cette espèce, le diagnostic du site a été basé sur une campagne d'inventaires piscicoles mis en œuvre par le Conseil Supérieur de la Pêche en Juillet 2001. Les 11 points de prélèvements répartis sur l'ensemble du Rebenty et ses affluents n'ont pas permis la capture du Chabot. Le document d'objectif fait cependant référence à l'inventaire d'Octobre 2001 des réserves de pêche, en amont de la station située à la confluence avec l'Aude. L'espèce ayant été détectée dans l'Aude, notamment au niveau du village de Saint Martin-Lys, la supposition est faite que des individus puissent remonter dans la partie basse du Rébenty, en lien avec « un substrat sablo-graveleux leur convenant ».

Enfin, en application de l'Article L. 214-17 du Code de l'Environnement, le Rebenty et ses affluents ont été définis comme des réservoirs biologiques (RBioD00601). Cette notion, introduite par le SDAGE RMC s'applique aux cours d'eau identifiés comme des espaces vitaux pour la biodiversité dans lesquels les espèces peuvent accomplir l'ensemble de leur cycle vital (zones de reproduction, nourriceries ou refuges). Le rôle du Rebenty pour la conservation de l'espèce a été défini pour deux espèces : la Truite Fario et le Chabot. Il participe au fonctionnement et au soutien du peuplement piscicole de l'Aude au travers d'un comportement de dévalaison.

- Site « HAUTE VALLÉE DE L'AUDE ET BASSIN DE L'AIGUETTE » (FR9101470) :

Le site englobe le cours de l'Aiguette et son bassin versant ainsi que la partie supérieure du cours de l'Aude, depuis la sortie de la retenue de Puyvalador (Pyrénées Orientales) jusqu'à Axat pour une superficie totale de 17 055 ha. Les espèces dulçaquicoles mentionnées sont le Barbeau Méridional, le Chabot et l'Écrevisse à patte blanche. En cumulant une forte valeur patrimoniale d'une part et une vulnérabilité accrue d'autre part, le Chabot constitue un enjeu écologique fort pour ce site Natura 2000.

Dans le cadre de la réalisation du document d'objectif (2010) un premier inventaire des habitats potentiellement favorables à l'espèce a été réalisé. Des habitats potentiellement favorables ont été mis en évidence sur l'axe Aude d'Axat jusqu'à la prise d'eau d'Escouloubre, et sur le bassin versant de l'Aiguette (Aiguette, Ruisseau de Roquefort et Clarianelle). Il est cependant convenu que le faible maillage des inventaires piscicoles associé à la faible capturabilité de l'espèce induisent la nécessité de compléter les données existantes afin de pouvoir identifier l'aire de répartition réelle de l'espèce. Finalement, des actions de communication, de conservation et de suivi du Chabot sont prévues dans les fiches actions.



3.2 Synthèse des données générales sur l'espèce dans la haute vallée de l'Aude :

La population de Chabot de la haute vallée de l'Aude n'a jusqu'à présent pas fait l'objet d'études spécifiques vis-à-vis de son aire de distribution naturelle et de sa répartition au sein de celle-ci.

En effet, dans la haute vallée de l'Aude les domaines piscicoles relèvent exclusivement du Salmonicole. Dès lors, l'ensemble des études et suivis mis en place sur ce périmètre ont systématiquement pour cible préférentielle la Truite Fario en qualité d'espèce repère. Or les protocoles d'échantillonnages conventionnels, et notamment en grands milieux (Échantillons Ponctuels d'Abondance sur les cours d'eau de plus de 9 mètres de large) ou pour des inventaires complets à un seul passage, ne sont pas les plus adaptés pour cette espèce à faible capturabilité. Ces éléments sont à prendre en considération vis-à-vis de l'interprétation des résultats. Néanmoins, ces données constituent une source d'information qualitative pertinente.

Préalablement à toute analyse de résultat, une consultation de la base de données du Pôle Poissons et Ecrevisses d'eau douce du Système d'Information Nature et Paysages (SINP) Occitanie a été effectuée afin d'identifier les principaux producteurs de données. (Source : tête de réseau Association Régionale Pêche Occitanie (ARPO)).

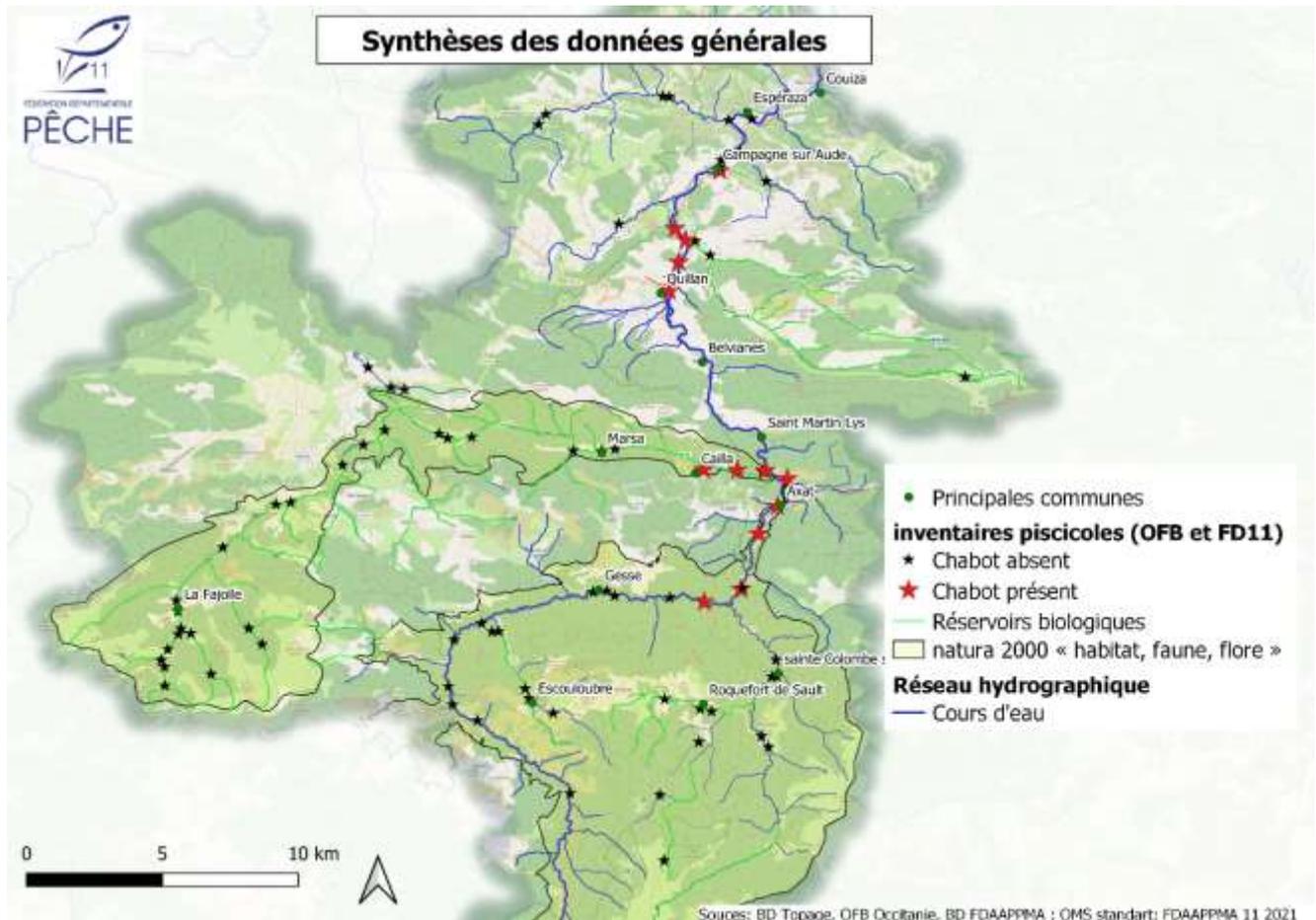
Ainsi, à l'échelle de la zone d'étude, il est recensé 395 données (observations ponctuelles de taxons). Les organismes contributeurs sont par ordre de volume de données :

- L'Office Français de la Biodiversité : chroniques de données s'étendant de 1998 à 2020 (246 (62%) contributions basées sur des inventaires et/ ou des dires d'experts).
- La Fédération Départementale de Pêche de l'Aude : chroniques de données s'étendant de 2008 à 2020. (129 (33%) contributions basées sur des inventaires)
- Bureaux d'études / Associations naturalistes : 20 contributions largement orientées vers les observations du crustacé *Austropotamobius pallipes* (5%), seulement deux concernent le Chabot.

Concernant ce dernier élément, Il est possible de constater qu'un point de présence du Chabot identifié en marge des zones de présence connues à l'occasion des inventaires ZNIEFF de 1998 (Producteur : Association Salsepareille). La station se localise sur le Rebenty à Lafajolle. Cette information est potentiellement intéressante vis-à-vis de l'aire de répartition historique de l'espèce, mais celle-ci souffre de l'absence de précisions sur les protocoles employés pour contacter l'espèce.

Dans le cadre de cette étude, seules les données issues des opérations d'inventaires piscicoles réalisées par la FDAAPPMA 11 et l'OFB seront utilisées. Pour cela la base de données ASPE mise à disposition par l'OFB (plus complète que les données SINP) et WAMA de la FDAAPPMA 11 ont été exploitées.

À l'échelle du périmètre global de la haute vallée de l'Aude et sur l'intervalle chronologique 1983 / 2021, il est référencé 85 stations distinctes sur lesquelles 196 opérations d'inventaires (133 OFB et 63 FDAAPPMA11). Au final, seules 35 d'entre elles ont donné lieu à minima à la capture d'un individu de Chabot (11 FDAAPPMA 11 et 24 OFB).



Sur la base de ces éléments le périmètre d'étude peut être affiné. Le Chabot n'a, à ce jour, été contacté que dans l'Aude et le Rebenty.

Sur le Fleuve Aude, la zone de colonisation du Chabot semble bornée par les inventaires du pont de Campagne sur Aude en aval (FDAAPPMA 11 2019) et la station de Saint Georges (commune de Le Clat ; OFB 2020).

Sur le Rebenty, le tronçon de présence avéré s'étend de la confluence avec l'Aude jusqu'à la station du Réseau de Contrôle et de suivi de l'Etat à Cailla (OFB ; 2020).

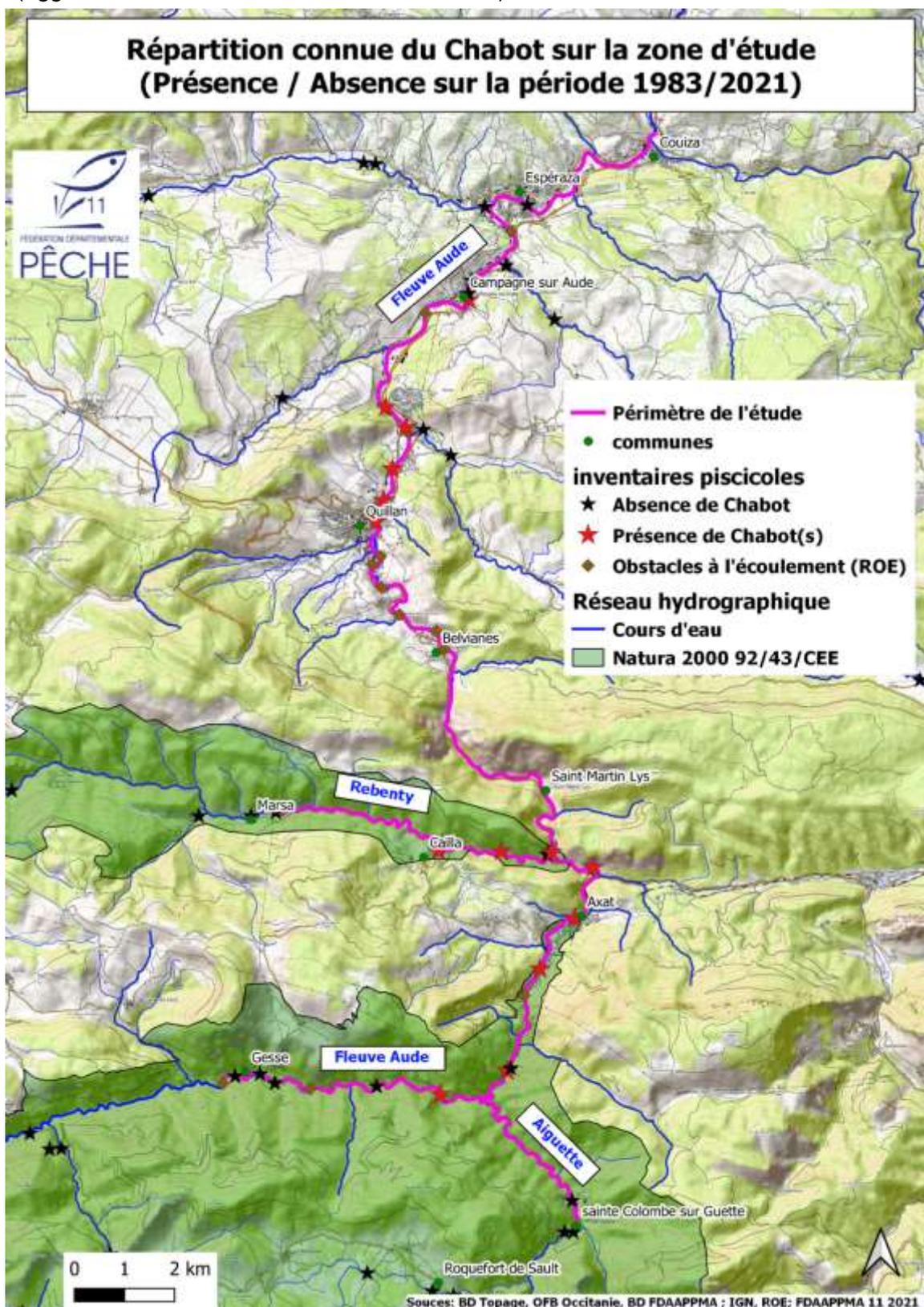
La détermination finale de notre périmètre d'étude nécessite néanmoins l'intégration d'une certaine marge liée aux approximations des méthodes d'échantillonnages et aux lacunes du maillage des stations sur le territoire.

Le postulat de base visera à cloisonner les limites supérieures du périmètre à partir des biefs situés en amont des premiers seuils théoriquement infranchissables pour l'espèce. La limite aval (fleuve Aude) a été fixée selon une logique de barrière physiologique (possibilité de colonisation par dévalaison) en lien avec le changement de régime thermique du cours d'eau (ÉTUDE DES VARIATIONS DES PARAMETRES THERMIQUES ET CHIMIQUES DU FLEUVE AUDE, FDAAPPMA 11 ; 2021).

Le cours inférieur de la rivière Aiguette est maintenu dans le périmètre du fait de la présence avérée de Chabots dans l'Aude à proximité de leur confluence, de l'absence d'obstacles artificiels infranchissables référencés et d'inventaires piscicoles jusqu'à Sainte Colombe sur Guette.

Le périmètre d'étude est fixé comme suit :

- Le fleuve Aude de la confluence avec la Salz au hameau de Gesse (commune de Bessède de Sault) soit 37.2 km ;
- Le Rebenty de sa confluence avec l'Aude au barrage de la centrale de Marsa, soit 6.8 km ;
- L'Aiguette de sa confluence avec l'Aude à la confluence avec le Rau de Bailleurs (agglomération de Sainte Colombe sur Guette), soit 4.3 km.



4. Matériel et méthode :

4.1 Mesure du compartiment physique

Sur la base de l'aire de répartition connue de l'espèce, de la connaissance du terrain et de l'expertise combinée des agents de la FDAAPPMA 11 et de la Fédération Aude Claire, les reconnaissances des habitats se sont déroulées autant que possible à pied avec :

- Fond de carte : annotation des observations,
- GPS et appareil photo : localisation géographique et prise de vue des observations,
- Perche graduée et aquascope : sondage des profondeurs et observation des habitats benthiques (granulométrie, colmatage...),
- Sonde multi-paramètres : mesures ponctuelles des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau (température, pH, oxygène dissous, conductivité).

La notation finale du degré de conformité de chaque tronçon vis-à-vis des exigences du Chabot s'est basée sur l'analyse de cinq variables élémentaires particulièrement sélectives.

✓ L'évaluation des classes granulométriques dominantes.

Cette dernière a été qualifiée en utilisant la grille simplifiée visant diagnostic visuel mise en place par MALAVOI, et al., 1989 :

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

Conformément aux informations bibliographiques précédemment recueillies, les substrats induisant des anfractuosités de l'ordre centimétrique restent les plus adaptés à l'espèce. Trois classes sont ainsi proposées :

- Classes 1 : anfractuosités centimétriques (Blocs, Pierres grossières et fines, Cailloux grossiers) ;
- Classe 2 : anfractuosités millimétriques (Cailloux fins et Graviers) ou proportions équitables de substrats favorables et défavorables ;
- Classe 3 : large dominance de substrats générant l'absence d'anfractuosités ou espaces interstitiels d'ordre métrique : Sables, limons, argiles ou rochers / dalles.

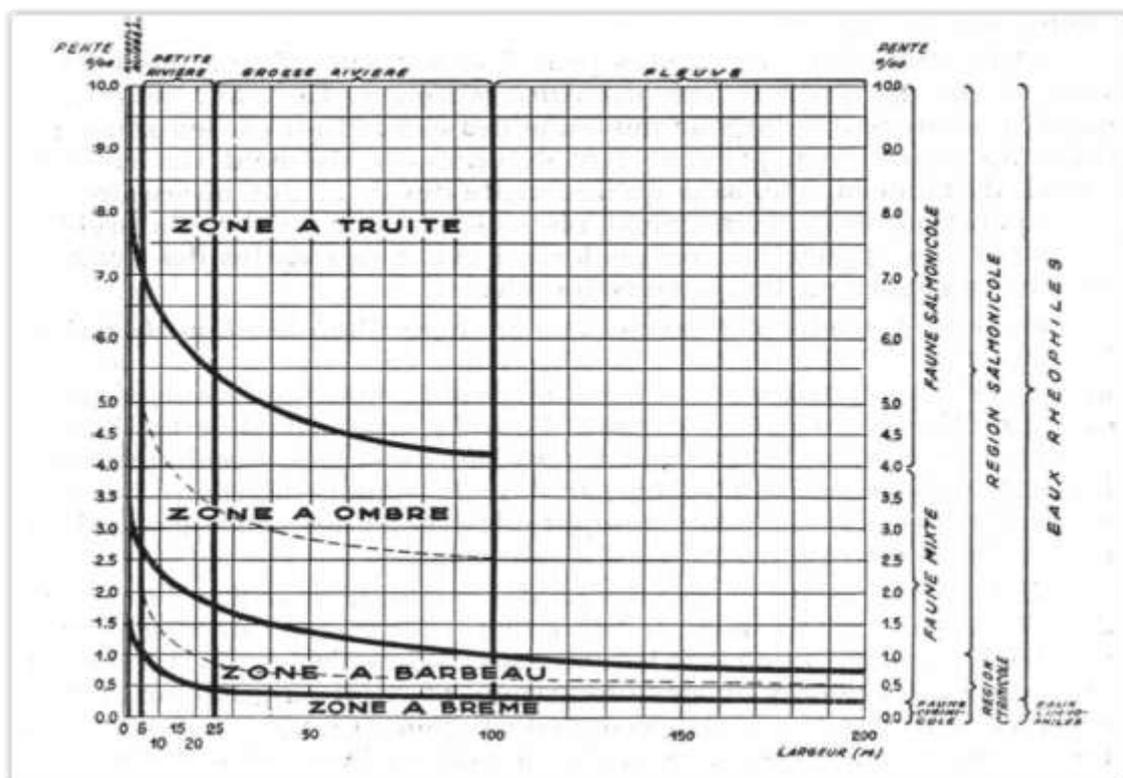
Les relevés ont été mis en œuvre lors des investigations de terrain. Lorsque cela est le cas, les descriptions habitationnelles réalisées à hauteur des stations représentatives d'inventaires piscicoles ont aussi été pris en compte.

✓ **La détermination du degré de colmatage :**

L'évaluation a été réalisée selon la méthode d'évaluation mise en place par Archambaud et Al. (2005). Les fractions fines des sédiments sont évaluées selon le niveau d'enchâssement des éléments grossiers et la densité du nuage de particules fines mis en suspension par le déplacement de matériaux (Cf Annexe 2).

✓ **La pente moyenne :**

Selon le modèle de HUET (1947), la pente associée à la largeur moyenne correspond à une des principales variables influant la répartition longitudinale des espèces sur un cours d'eau. Le Chabot est plutôt considéré comme une espèce de zone apicale associé à des pourcentages de pentes assez élevés et dont le préférendum se situerait plutôt entre les zones à Truites et à Ombres.



BIOLOGIE, PROFILS EN LONG ET EN TRAVERS DES EAUX COURANTES par Marcel HUE T ; Graphique des pentes

Cependant, un système de pente trop abrupte peut rapidement constituer un facteur limitant en lien avec les possibilités de déplacement et de colonisation du chabot. De la même façon, un système de pente trop faible provoque une sortie de l'optimum habitationnel par le bas. Ces éléments sont mis en évidence par la mise en perspective des modèles typologique de Huet et de Verneau. Ce dernier inclus en effet les classes d'abondances globales théoriques de chaque espèce dont celle du Chabot.

Qualification de l'Abondance d'une espèce (Verneau 1973 ; CSP 1995) : 0 : Absence ; 0.1 marginale ; 1 : très faible ; 2 : faible ; 3 : Moyenne ; 4 : forte ; 5 : très forte.

Typologie Huet		Zone à Truite				Zone à Ombre			Zone à Barbeau					
Typologie Verneau	B0-B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8						
CHA	2	3	4	5	5	4	3	3	2	2	1	1	1	

Sur la base des éléments ci-dessus, il est possible de fixer une évaluation en 2 classes à partir des

valeurs de pentes moyennes en fonction de la largeur du cours d'eau. La zone de pente favorable peut être bornée au niveau des limites supérieures de la zone à Truite et de la partie médiane de la zone à Ombre. Les zones de densités théoriques marginales situées en amont (B0-B1) et en aval (B6-B7-B8) de ce compartiment peuvent être considérées comme potentiellement moins propices.

Détermination des pentes moyennes optimales pour le Chabot :

Largeur moyenne du Tronçon	Pente moyenne maximale	Pente moyenne minimale
30 à 26 m	10 ‰	3.5 ‰
21 à 25 m	10 ‰	4 ‰
16 à 20 m	10 ‰	4.5 ‰
11 à 15 m	10 ‰	5 ‰
6 à 10 m	10 ‰	5.5 ‰
0 à 5 m	10 ‰	6.5 ‰

✓ **Le taux d'étagement :**

Le taux d'étagement traduit la perte de pente naturelle liée à la présence des ouvrages transversaux et met en avant la perte de fonctionnalité induite par les ruptures artificielles de la continuité longitudinale sur les cours d'eau (ONEMA, 2011). Une référence commune maximale de 40 % d'étagement a été dégagée pour guider l'atteinte du bon état des masses d'eau (Alterre, 2019). Ce travail permet d'évaluer la classe de l'étagement de chaque tronçon et d'en estimer l'impact potentiel vis à vis des habitats (colmatage en zone de remous amont).

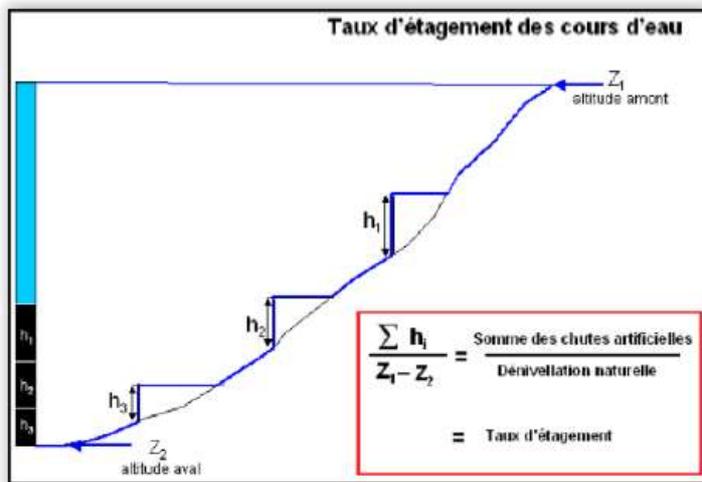


Schéma de principe du calcul du taux d'étagement (Source : P. STEINBACH, ONEMA DiR Centre-Poitou Charente, 2009)

Classification de la qualité de l'étagement artificiel des cours d'eau. (Source : P. Steinbach, ONEMA, SDAGE Loire Bretagne 2009).

Qualité de l'étagement :	Très bon	Bon	moyen	médiocre	Mauvais	Très mauvais
	0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%

Pour les besoins de ce calcul, les informations concernant les ouvrages transversaux et les hauteurs de chutes ont été collectées sur la base du Référentiel Obstacle à l'Écoulement. Pour les quelques ouvrages dont les hauteurs de chutes n'ont pas été référencées, une hauteur de 0.5 mètres a été appliquée par défaut.

✓ **Le taux de fractionnement :**

Le taux de fractionnement permet de définir l'altération de la continuité liée à la présence d'ouvrages sur les cours d'eau. Il s'agit de la somme des hauteurs de chute par rapport au linéaire hydrographique.

$$\text{Taux de fractionnement (\text{‰})} = \frac{\text{Somme des hauteurs de chutes (m)}}{\text{Longueur du tronçon (m)}} \times 1000$$

Le tableau ci-dessous indique par des codes couleurs la qualité du taux de fractionnement dans un cours d'eau (Hydro concept, 2018) :

Etat	Très Bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Taux de fractionnement (m/km)	0 à 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,6	0,6 à 0,8	0,8 et +

4.2 Mesure du compartiment chimique

Plusieurs sondes enregistreuses thermiques et multi paramètres (modèles HOBO) ont été mises en place sur des stations stratégiques, des linéaires possédant des enjeux en termes de conservation de l'espèce (TCC, en aval des ouvrages adducteurs d'eau, aval immédiat de résurgences identifiées...) pendant une année complète.

Cette stratégie permet de compiler des données sur un cycle annuel complet de l'espèce et, le cas échéant, mettre en évidence d'éventuelles variations préjudiciables à son maintien.

Dans la mesure du possible, les sondes ont été positionnées à proximité de stations hydrologiques et, dans tous les cas, dans un secteur profond et ombragé avec



des relevés réglés sur un pas d'enregistrement horaire. Par ailleurs, une corrélation de ces mesures sera réalisée à partir des données disponibles sur le site www.hydro.eaufrance.fr afin d'analyser l'impact des éclusées sur les paramètres pris en compte.

Chaque pose de sonde a fait l'objet du renseignement d'une « fiche descriptive » établie à cet effet. Il y est notamment identifié le site (Commune / Cours d'eau / lieu-dit / rive), décrit le support de fixation, la profondeur d'immersion et les coordonnées géographiques.

Enfin, les enregistrements ont été interprétés à l'aide d'une programmation spécifique (macro Excel) mise à disposition par la FDAAPPMA 30 paramétrée à partir des préférendums thermiques des espèces repères et cibles des Plans Départementaux pour le Protection des milieux aquatiques et la Gestion de ressources piscicoles.

Ces investigations ont pour finalité la réalisation d'une cartographie des habitats hiérarchisés selon l'intérêt qu'ils représentent vis-à-vis du maintien de l'espèce dans la haute vallée de l'Aude. Cela permettra aussi de décrire l'environnement des cours d'eau concernés, l'occupation du sol, les éventuelles sources de pression (rejet, activité anthropique, artificialisation des régimes hydrauliques...), les aménagements (obstacles en travers, endiguement, recalibrage...). Ces éléments, à la fois ponctuels et plus globaux, pourront permettre dans la suite de l'étude d'alimenter la réflexion et d'analyser certains résultats complétés par une indication sur les variations locales dynamiques de l'espèce.

Un premier travail de recueil, d'analyse et d'évaluation des chroniques de données disponibles a été mis en œuvre dans le cadre de la détermination du périmètre d'étude. Il en ressort que l'interprétation de ces données reste délicate dans la mesure où certaines sont très anciennes (1983) et que les protocoles employés ne sont souvent pas adaptés à l'étude spécifique du Chabot.

À ce titre, deux méthodes de détections complémentaires aux stations de suivis ont été retenues dans le cadre de la présente étude :

4.3 Mesure du compartiment biologique :

Le protocole appliqué à ces sondages a été inspiré par celui des pêches partielles par points du guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements piscicoles (ONEMA ; 2012). Les opérateurs ont appliqué sur chaque station un effort de pêche identique en fonction de la largeur moyenne du cours d'eau (Abaque du guide technique de l'ONEMA). Le champ électrique a été maintenu pendant une durée de 30 secondes sur l'ensemble des unités d'échantillonnages pour une couverture d'environ 12.5 m² par points.



Pour un cours d'eau donné, la limite de répartition de la population est définie dès lors qu'aucun Chabot n'a été capturé dans minimum deux stations successives. Pour chaque station, la population de Chabot sera sommairement décrite : niveau d'abondance (absent, faible, moyen, fort) ; structure (présence de plusieurs cohortes ou non).

4.4 Détermination des habitats de référence

La définition de stations de référence a été réalisée en tenant compte des résultats d'investigations précédentes et concerne les zones présentant des conditions habitationnelles réputées optimales et représentatives des cours d'eau étudiés :

- Situé au cœur de l'aire de répartition avec une présence pérenne de l'espèce et assez abondante.
- Proximité d'une résurgence.
- Caractéristique du substrat : granulométrie grossière (cailloux, pierres, blocs) peu colmatée.
- Paramètres physico-chimiques réputés favorables : eaux courantes et fraîches.

- L'indice Poisson Rivière :

L'Indice Poisson Rivière (ou IPR) permet de déterminer l'état d'un cours d'eau à partir de sa population piscicole et des conditions environnementales qui le caractérisent. Il mesure l'écart entre la composition du peuplement observé sur une station donnée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique en un passage et la composition attendue en situation dite de "référence" (Belliard & Roset, 2006).

À partir de 9 métriques abiotiques caractérisant les conditions environnementales de la station, cet indice prend en compte 7 métriques biotiques rendant compte de la composition taxonomique :

IBGN	IBD	IBMR	IPR	Code couleur qualité
17-20	17-20	> 14	0-7	Très bonne
13-16	13-17	12-14	7-16	Bonne
9-12	9-13	10-12	16-25	Passable
5-8	5-9	8-10	25-36	Mauvaise
1-4	1-5	≤8	>36	Très mauvaise

Le score associé à chaque métrique dépend de l'écart entre le résultat de l'échantillonnage et la valeur de la métrique attendue en situation de référence. La somme de ces scores permet d'obtenir la valeur de l'IPR. Lorsque l'IPR est

de 0, le peuplement observé correspond donc au peuplement attendu en situation de référence. À mesure que le peuplement observé diffère du peuplement théoriquement attendu, la valeur de l'IPR augmente. Ces valeurs sont regroupées par classes, permettant ainsi de définir la qualité piscicole des stations échantillonnées.

- Analyse biotypologique du peuplement piscicole :

Le type biologique caractérise une structure biologique, représentative d'un système théorique d'eau courante. Il se constitue d'une succession orientée de 10 niveaux typologiques, associés à des groupements d'espèces présentant des exigences écologiques voisines appelées « biocénotypes » (Verneaux, 1977). Un niveau typologique est décrit tel qu'un degré (ou type) d'organisation d'espèces réparties suivant la succession orientée des biocénotypes. Ainsi, les espèces piscicoles présentant des exigences écologiques similaires sont classées suivant un même type allant de B0 à B9.



L'Indice Invertébrés Multimétrique (ou I2M2) repose sur une stratégie d'échantillonnage (norme XP T90-333) dont les objectifs sont notamment de fournir une image représentative du peuplement d'invertébrés d'une station en séparant les habitats dominants ($\geq 5\%$ de la surface benthique) des habitats marginaux ($< 5\%$). Sa mise en œuvre nécessite la réalisation de 3 groupes de 4 prélèvements chacun sur les supports marginaux suivant l'ordre d'habitabilité, sur les supports dominants suivant l'ordre d'habitabilité et enfin sur les supports dominants selon la représentativité des habitats. Cinq métriques élémentaires servent à la détermination de l'indice final I2M2 :

- Indice de Shannon : permet d'évaluer l'hétérogénéité et la stabilité de l'habitat en prenant compte de la richesse taxonomique et de la distribution des abondances relatives.
- ASPT (Average Score Per Taxon) indique le niveau de polluosensibilité moyen du peuplement d'invertébrés.
- Indice de polyvoltinisme : calcule la fréquence relative des taxons polyvoltins c'est-à-dire capables d'accomplir au moins 2 générations par an. En général ce type d'organisme est fréquent dans les milieux instables donc soumis à des perturbations.
- Indice d'ovoviviparité : calcule la fréquence relative des taxons ovovivipares c'est-à-dire dont l'incubation des œufs est réalisée dans l'abdomen de la femelle. Cette stratégie de reproduction permet de maximiser la survie en isolant les œufs du milieu. Ces organismes sont donc favorisés dans un milieu soumis à des perturbations en particulier physico-chimiques.
- Indice de richesse : évalue la richesse en taxons sténotopes exigeants et/ou sensibles.

L'arrêté du 27 juillet 2018 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface fixe les limites de classes de qualités au niveau l'hydro écorégion HER 8 (côtiers méditerranéens) pour des valeurs de l'I2M2 suivantes :

Supérieur à 0.665	[0,665-0,498]	[0,498-0,332]	[0,332-0,166]	Inférieur à 0,166
Très Bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

Enfin, l'exploitation de l'outil « diagnostic » développé par l'université de Metz et l'IRSTEA est mis à disposition sur le portail du Système d'évaluation de l'état des eaux (<http://see.eaufrance.fr/>) permet une évaluation des risques d'altération sous scénario de pressions multiples. Il est ainsi distingué 9 catégories de pression concernant la qualité de l'eau (Matière Organique, Matières azotées, Nitrates, Matières phosphorées, PES, Acidification, Métaux, Pesticides, Micropolluants organiques.) et 7 catégories de pressions hydromorphologiques (Voies de communication, Ripisylve, Urbanisation (100m), Risque de colmatage, Instabilité hydrologique, Anthropisation BV, Rectification).

- **Caractérisation des habitats aquatiques : protocole Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM)**

Dans le cadre de cette étude, les habitats piscicoles ont été caractérisés finement à l'échelle stationnelle en mettant en œuvre le protocole standardisé IAM (Indice d'Attractivité Morphodynamique).

Cette méthode a été développée par la DR5 du CSP et le bureau d'étude TELEOS entre 1994 et 2002 (Degiorgi et al., 2002). Cette approche consiste à caractériser à la fois l'hétérogénéité globale et le degré d'hospitalité d'une station vis-à-vis des poissons. Ces organismes constituent en effet des indicateurs importants des milieux aquatiques. Le protocole IAM permet de lier les caractéristiques hydro-morphologiques d'un cours d'eau, aux mosaïques d'habitats présents dans le cours d'eau.

Dans cette approche technique, un habitat ou « pôle d'attraction » est décrit par un triptyque homogène (hauteur d'eau / vitesse de courant / substrat-support). La cartographie permet de mesurer finement la diversité et l'attractivité morphologique de la station au travers de calculs d'indices standardisés.

Le caractère standard de cette méthode permet une comparaison inter-stationnelle et une reproductibilité dans le temps permettant d'analyser l'évolution des conditions habitationnelles d'une même station dans le cadre d'un futur plan de gestion par exemple. De plus, elle permet de prendre en compte de nombreux substrats.

La hiérarchisation et la cotation de l'attractivité globale des substrats/supports ont été déterminées statistiquement sur plusieurs dizaines de rivières. Ces scores prennent en compte les exigences de l'ensemble des espèces piscicoles et intègrent donc l'ensemble des ressorts physiques nécessaires aux transferts trophiques (Source : Degiorgi et al., 2002) :

Type de substrat	Attractivité
BRA (Branchages, grosses racines immergés)	100
BER (Sous-Berges)	90
HYF (Hydrophytes à feuilles flottantes)	80
HYI (Hydrophytes immergées)	80
AFF (Sources, résurgences, affluents)	70
BLO (Blocs avec caches)	60
GAL (Galets)	50
CHV (Chevelus racinaires végétation rases)	40
HEL (Hélophytes)	40
BLS (Blocs sans anfractuosités)	30
GGR (Galets et graviers mélangés)	25
GRA (Graviers)	20
GLS (Galets pavés sans anfractuosités)	10
LIT (Litières organiques)	10
SAB (Sables)	8
FIN (Éléments fins, limons, vases)	4
DAL (Dalles, surfaces indurées)	1

Les hauteurs d'eau (mesurées en cm) et les vitesses de courant (mesurées en cm/s) sont regroupées dans 5 classes significatives pour le poisson (Source : Degiorgi et al., 2002) :

Classe de vitesse de courant	Classe de hauteur d'eau
moins de 10 cm/s	moins de 5 cm
11 à 40 cm/s	6 à 20 cm
41 à 80 cm/s	21 à 70 cm
81 à 150 cm/s	71 à 150 cm
plus de 150 cm/s	plus de 151 cm

➤ **Métriques calculées :**

Trois métriques descriptives de la complexité de la mosaïque d'habitats

- ✓ **Var** = Variété : nombre de catégories (de substrats/supports) ou de classes (de hauteur et de vitesse) pour chacune des composantes de la qualité des mosaïques d'habitats
- ✓ **Div** = Diversité : mesure de la complexité et de l'hétérogénéité quantitative de la répartition des surfaces entre les catégories de chaque composante de la qualité de l'habitat :

$$\sum n Si \times [\log_{10}(Si)]$$

Où : n = nombre de catégories (n=var) et Si = surface cumulée des placettes de la *i*ème catégorie

- ✓ **Reg** = Régularité : rapport entre la diversité observée et la diversité optimale pour une même variété correspondant à l'équi-répartition :

$$Div/\log_{10}Var$$

➤ **Calcul de l'IAM**

L'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM) est ensuite calculé en prenant en compte les surfaces de recouvrement de chaque substrat, leur attractivité pour la faune piscicole et la variété des différentes classes de substrat, hauteur d'eau et vitesse de courant.

$$IAM = [\sum Si \cdot n \times Attract.(subs.)] \times Var(subs.) \times Var(h.e.) \times Var(v.)$$

Où Si = surface cumulée des placettes de la *i*ème catégorie ; *Attrac* = attractivité (Tableau Substrat) ; *Varsubst.VarHaut.VarVit.* = Nombre de classes de substrats, hauteurs, vitesses présentes sur la station.

➤ **IAM "Optimal"**

Le protocole définit une valeur de référence dite "IAM Optimal" en fonction de la largeur du cours d'eau. Cette valeur permet d'évaluer la diversité et l'attractivité des habitats de la station par rapport à une référence "en bon état" sur le plan hydromorphologique.

Valeurs expérimentales de référence de l'IAM en fonction de la largeur moyenne du lit mineur au niveau de la station étudiée (Source : Degiorgi et al., 2002)

Largeur du lit mineur (m)	0,5	1	2	4	6	8	10	12	16	20	40	60
IAM Optimal	1600	2400	3600	6200	7720	8880	9750	10400	11470	12060	13550	14030

- **Analyse de l'habitabilité globale vis-à-vis des exigences du Chabot :**

Pour les besoins spécifiques de cette étude, les intervalles de classes significatives de types de granulométries, de hauteurs d'eau et de vitesses de courant ont été adaptées aux exigences du Chabot. La notation des paramètres élémentaires s'est ainsi basée sur les informations recueillies lors des phases précédentes de l'étude associées au recueil bibliographique sur la biologie générale de l'espèce.

Il en ressort notamment que l'habitat de prédilection du Chabot est souvent associé à des classes granulométriques plutôt grossières offrant des refuges interstitiels d'ordre centimétriques (Classes Blocs et Galets), des vitesses d'écoulements modérées (max. 0.4 m/s) dans des faciès d'écoulement courants et peu profonds (hauteur d'eau généralement inférieure à 0.6 m d'eau) se situant en chenal.

Notation des paramètres de vitesse, profondeur et granulométrie.

		Valeurs	
		0	1
Vitesses (m/s)	> 0.40 (Classes 3 ;4 ;5)	[0 ; 0.4] (Classes 1 ;2)	
Profondeur (m)	< 0,05 ou > 0.7 (Classes 1 ;4 ;5)	[0,05 ; 0.7] (Classes 2 ;3)	
Granulométrie (Ø en mm)	Intervalle entre Cailloux grossiers (32 à 64 mm) et Pierres grossières (12,5-25,6 cm) MALAVOI, et al., 1989		
Note Finale	0	1	2
Degré d'intérêt	Sans intérêt	Peu intéressant	Intéressant
			3
			Très intéressant

Concernant spécifiquement la hiérarchisation globale des substrats/supports, la grille de détermination du protocole IAM basée sur la taille des anfractuosités a été appliquée.

Le tableau ci-dessous retranscrit les types de substrats associés à la granulométrie (Téléos, 2002) :

Type de substrat	Description	Indice d'attractivité IAM
Dalle (DAL)	Substrat dur horizontal ou vertical n'offrant aucun abri et peu ou pas de ressources alimentaires	1
Éléments Fins (FIN)	Minéral ou Organique granulométrie inférieure à 2 mm, substrat n'offrant aucun abri	4
Sable (SAB)	Diamètres 0.2 à 2 mm	8
Graviers (GRA)	Diamètres 2 à 20 mm : anfractuosités d'ordre millimétrique	20
Graviers et Galets (GGR)	Diamètres 2 à 200 mm : anfractuosités variable d'ordre millimétrique et centimétrique	25
Blocs sans anfractuosités	Diamètres supérieurs à 200 mm ; Blocs posés sur le sable ou dégagés par l'érosion.	30

Galets (GAL)	Diamètres 20 à 200 mm : anfractuosité d'ordre centimétrique	50
Blocs (BLO)	Diamètres supérieurs à 200 mm offrant des caches importantes d'ordre centimétrique ou métrique.	60
BER (Sous-Berges)	Abri creusé sous une berge en terre, créé par une cavité sous des racines immergées.	4.94%

Les classes granulométriques potentiellement favorables pour le Chabot se concentrent principalement dans les typologies des Galets (GAL) et Blocs (BLO), et de façon plus ténue dans les mélanges Gravier / Galets (GGR). Ce critère a été considéré comme prédominant vis-à-vis des hauteurs et des vitesses. L'absence de substrat réputé favorable est considérée comme totalement discriminante pour la détermination de l'habitabilité du Chabot.

6. Résultats et interprétation par tronçons :

6.1 Présentation des tronçons homogènes

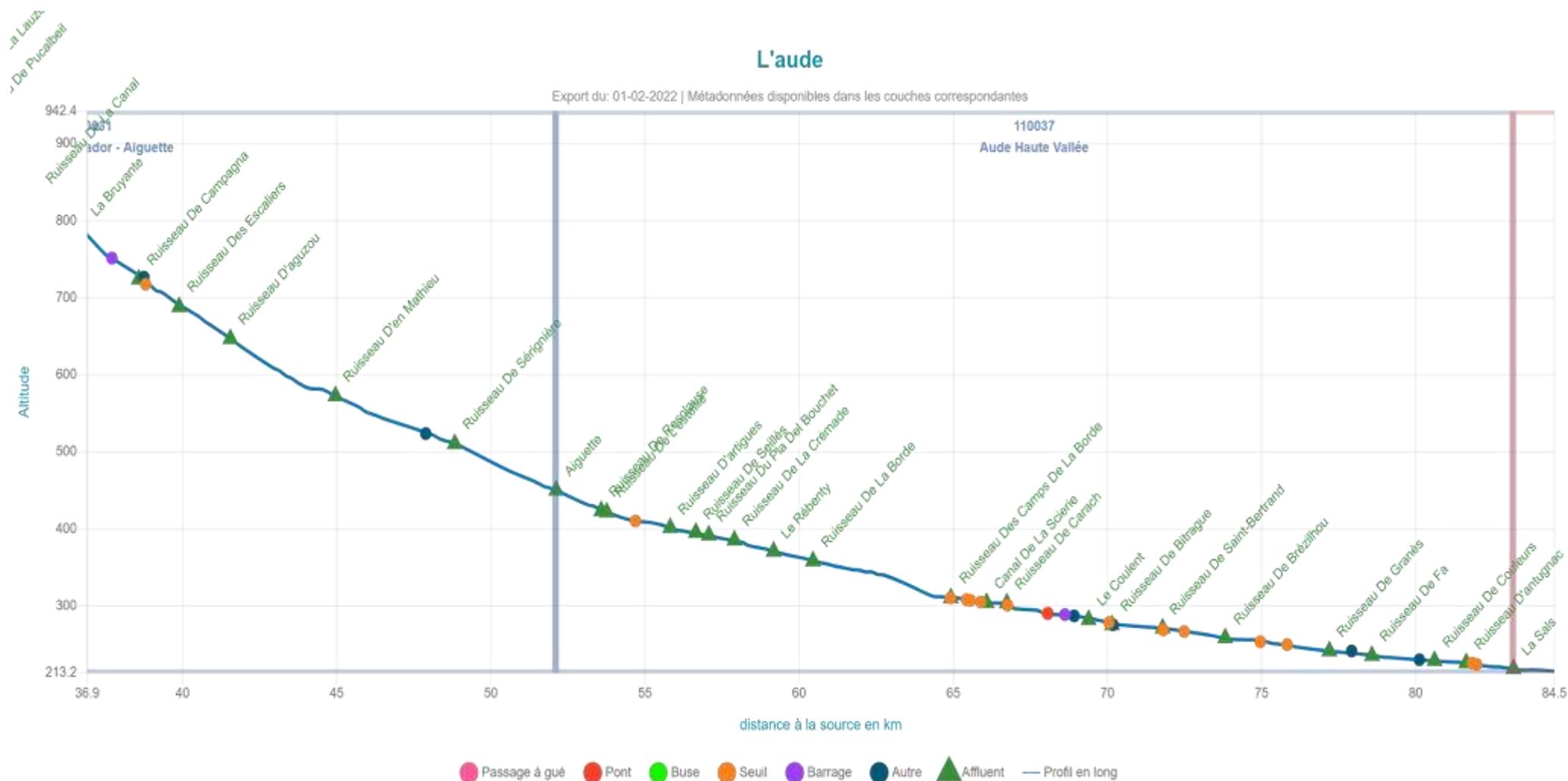
Les cours d'eau retenus dans le cadre de cette étude ont dans un premier temps fait l'objet d'une analyse à partir de la base du Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie (SYRAH) mis en place par le Pôle Irstea / Onema de Lyon en 2006. Un tronçon SYRAH est une unité morphologique de cours d'eau découpé sur la base des caractéristiques morphologiques homogènes de pente, largeur, confluence, encaissement et pré-identifié. Sur l'ensemble du périmètre d'étude 7 tronçons homogènes ont pu être identifiés dont 5 sur l'Aude, 1 sur le Rebenty et 1 sur l'Aiguette.

Un profil altimétrique des cours d'eau a aussi été généré à partir de l'application WebPDPG11 afin de mieux appréhender les ruptures de pentes, les confluences des principaux tributaires et les densités d'ouvrages transversaux.

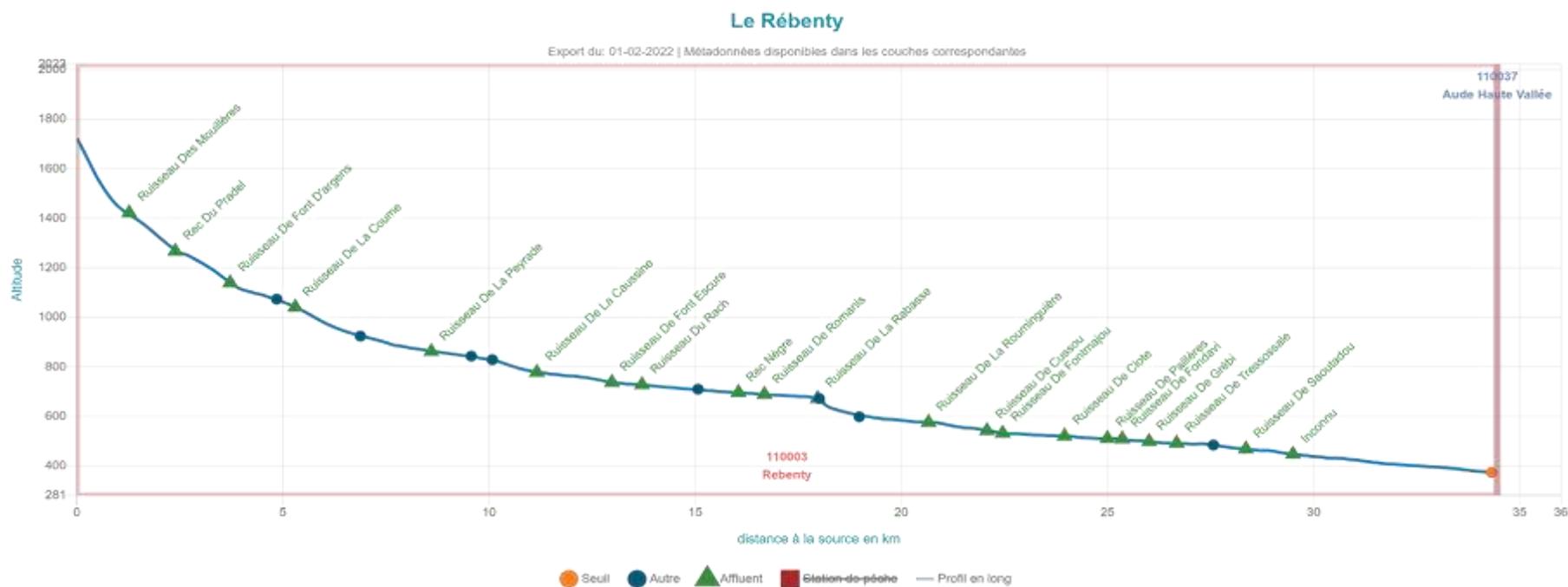
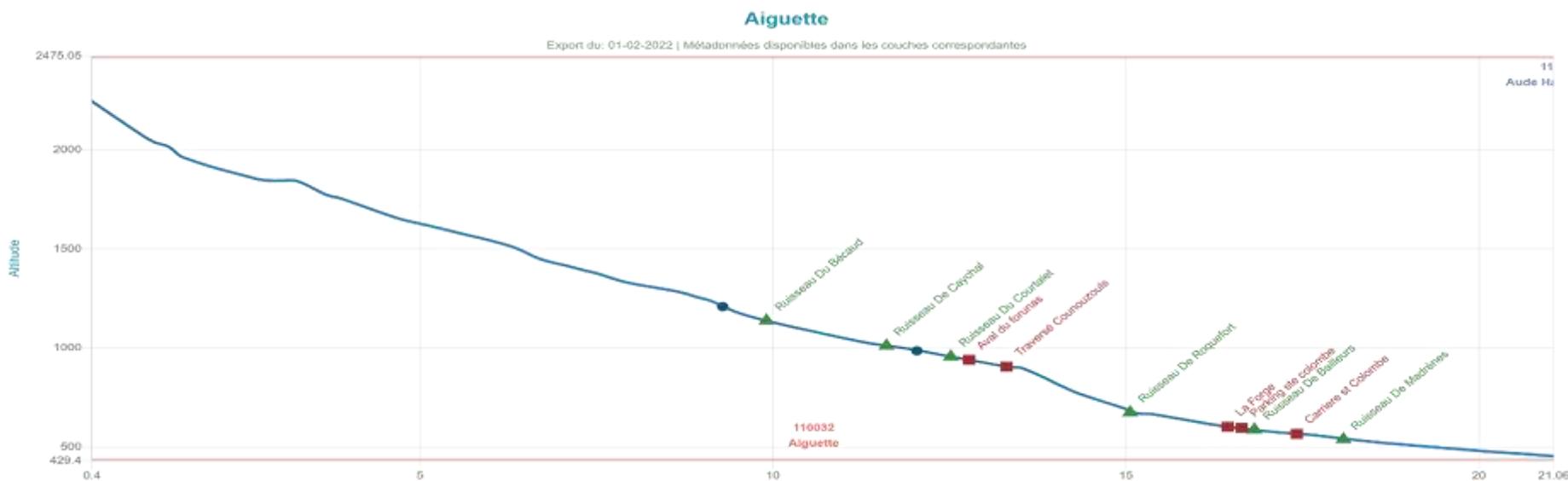
Les linéaires ont par la suite été prospectés autant que possible à pied à l'occasion de plusieurs sorties de repérages et opérations opportunes réalisées sur le secteur de la haute vallée en Juillet / Août 2021 afin d'affiner le découpage. Certains secteurs d'accès difficile et / ou dangereux (gorges de Pierre Lys et Saint Georges) n'ont bénéficié que d'un rapide examen.

La validation finale du projet de découpage a été soumise le 02 Septembre 2021 aux expertises conjuguées et in situ des services de la Fédération Aude Claire et de la FDAAPPMA 11 en l'absence de lâchers d'eau depuis l'usine de Nentilla.

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
 Rapport technique - Décembre 2022



Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022



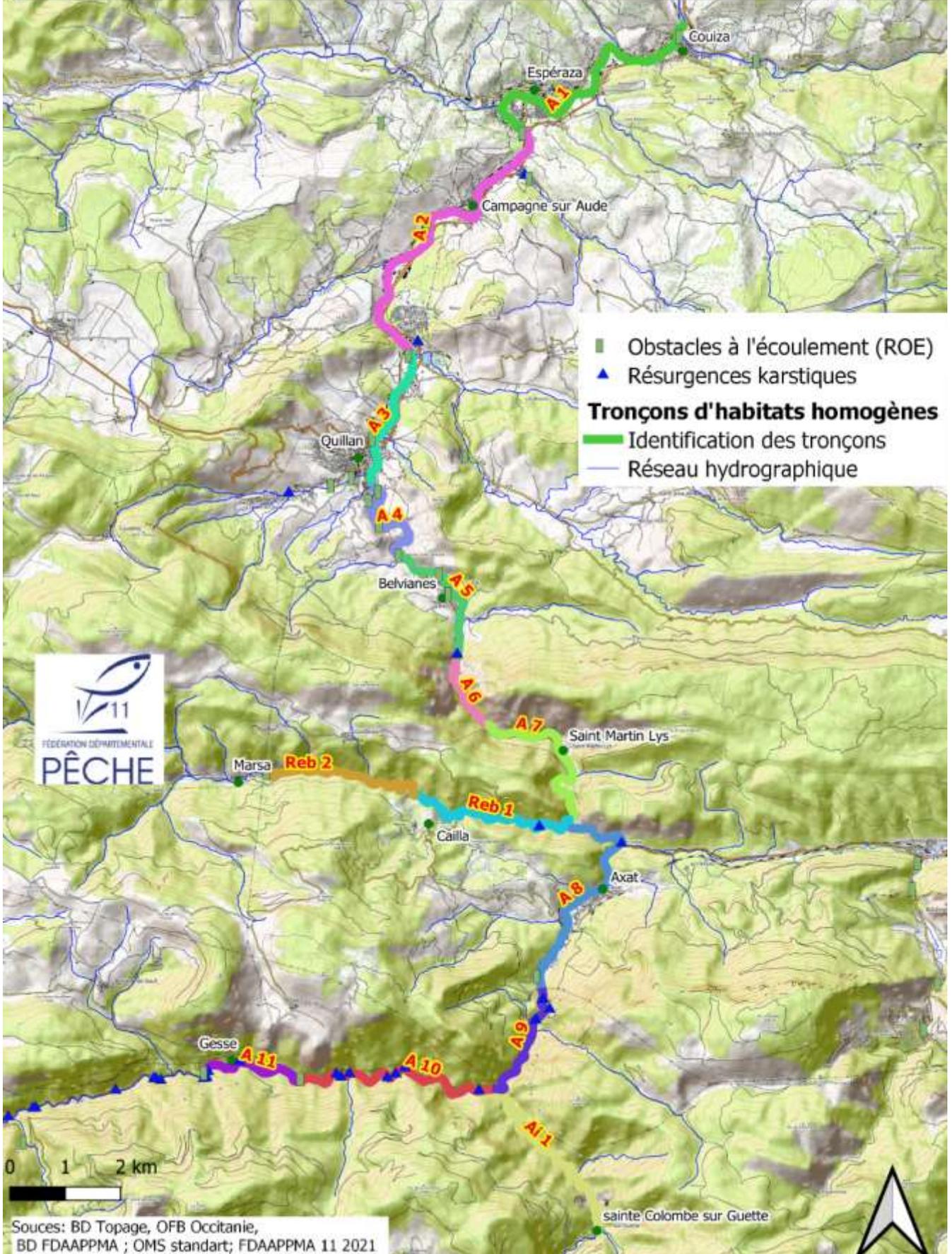
Synthèse des caractéristiques de chaque tronçon

Cours d' eau	Code tronçons	Faciès dominant	Longueur (M)	Largeur My (M)	Profondeur My (M)	Granulométrie dominante	Granulométrie secondaire	Colmatage	Sinuosité	Berges	Ripisylve	Altitudes
Aude	A 1	Plats lotique Profond	5300	30	0.60	Pierres Grossières Cailloux fins	Dalles Sable	3	Faible	Pentue naturelle	Dégradée Discontinue	218 / 240 m
	A 2	Plats lotique Profond	6100	25	0.70	Pierre Grossières Cailloux fins	Sables Blocs	2	Faible	Pentue artificielle	Dégradée Discontinue	240 / 269 m
	A 3	Plats lotique Profond	2700	25	0.50	Dalles Sables	Pierres Grossières Rochers	2	Faible	Pentue artificielle	Fortement dégradée Discontinue	269 / 287 m
	A 4	Radiers / Courants	2300	10	0.45	Blocs Pierres Grossières	Dalles Sables	2	Moyenne	Inclinée naturelle	Dégradée Discontinue	287 / 301 m
	A 5	Plats lotique Profond	2500	20	0.70	Pierres Grossières Sables	Dalles Cailloux fins	2	Faible	Verticale Artificielle Puis inclinée naturelle	Etroite peu arborée Continue	301 / 312 m
	A 6	Courants	1600	-	-	Blocs Dalles	Blocs Pierre Grossières	1	Faible	Pentue naturelle	Naturellement étroite et discontinue	312 / 341 m
	A 7	Plats lotique Courant	3400	20	0.60	Pierres Grossières Cailloux grossiers	Blocs Sables	1	Faible	Verticale Artificielle Puis inclinée naturelle	Préservée continue	341 / 371 m
	A 8	Plats lotique Courant	4900	15	0.45	Blocs Pierres Grossières	Dalles Sables	1	Faible	Verticale Artificielle Puis inclinée naturelle	Dégradée Discontinue	371 / 410 m
	A 9	Courants	2200	10	0.50	Blocs Dalles	Pierres Grossières Sables	1	Faible	Verticale à inclinée naturelle	Naturellement étroite et discontinue	410 / 450 m
	A 10	Courants	4200	10	0.45	Blocs Sables	Pierre Grossières	3	Faible	Inclinée naturelle	Préservée Continue fonctionnelle	450 / 527
	A 11	Courants	2000	10	0.45	Blocs Sables	Pierre Grossières	3	Faible	Inclinée naturelle	Préservée Continue fonctionnelle	527 / 751m

Synthèse des caractéristiques de chaque tronçon

Cours d' eau	Code tronçons	Faciès dominant	Longueur (M)	Largeur My (M)	Profondeur My (M)	Granulométrie dominante	Granulométrie secondaire	Colmatage	Sinuosité	Berges	Ripisylve	Altitude
Rebenty	Reb1	Courants	3600	5	0.2	Blocs Pierre Grossières	Sable	2	Moyenne	Inclinée naturelle	Préservée Continue fonctionnelle	371 / 429 m
	Reb2	Courants	3200	6	0.3	Blocs Pierre Grossières	Graviers	2	Faible	Inclinée naturelle	Préservée Continue fonctionnelle	429 / 484 m
Aiguette	Ai1	Courants	4300	5	0.4	Blocs Pierre Grossières	Rochers	1	Moyenne	Inclinée puis pentue naturelle	Préservée Continue fonctionnelle	450-593 m

Localisation des tronçons d'habitats homogènes.



6.2 Description de la qualité de l'habitat

Détermination des classes d'habitabilité par tronçon											
Cours d'eau	Code tronçons	Granulométrie dominante	Pente en ‰ (Dénivelé en m.)	Densité de seuils artificiels au Km (Nbre de seuil)	Somme des chutes artificielles en m.	Classe granulométriques	Classe Colmatage	Classes de pentes	Taux d'étagement	Taux de Fractionnement	Note habitat /5
Aude	A 1	Pierres Grossières Cailloux fins	3 (24.7)	0.5 (3)	4.5	1	3	2	6 %	0.84	2
	A 2	Pierre Grossières Cailloux fins	4 (24.3)	0.65 (3)	9	1	2	1	37 %	1.47	3
	A 3	Dalles Sables	6 (21.3)	0.7 (2)	5.96	3	2	1	30 %	2.21	2
	A 4	Blocs Pierres Grossières	6 (13.9)	0.4 (1)	0.55	1	2	1	4 %	0.23	4
	A 5	Pierres Grossières Sables	5 (10.78)	2 (5)	8.32	2	2	1	78 %	3.32	2
	A 6	Blocs Dalles	14 (29.1)	0	0	2	1	2	0	0	3
	A 7	Pierres Grossières Cailloux grossiers	9 (31.1)	0	0	1	1	1	0	0	5
	A 8	Blocs Pierres Grossières	8 (39.5)	0	0	1	1	1	0	0	5
	A 9	Blocs Dalles	15 (46.3)	0.45 (1)	0.5	2	1	2	1 %	0.23	3
	A 10	Blocs Sables	17 (67.1)	0	0	2	3	2	0	0	2
	A 11	Blocs Sables	14 (26.7)	0.5 (1)	2.57	2	3	2	7 %	1.28	2

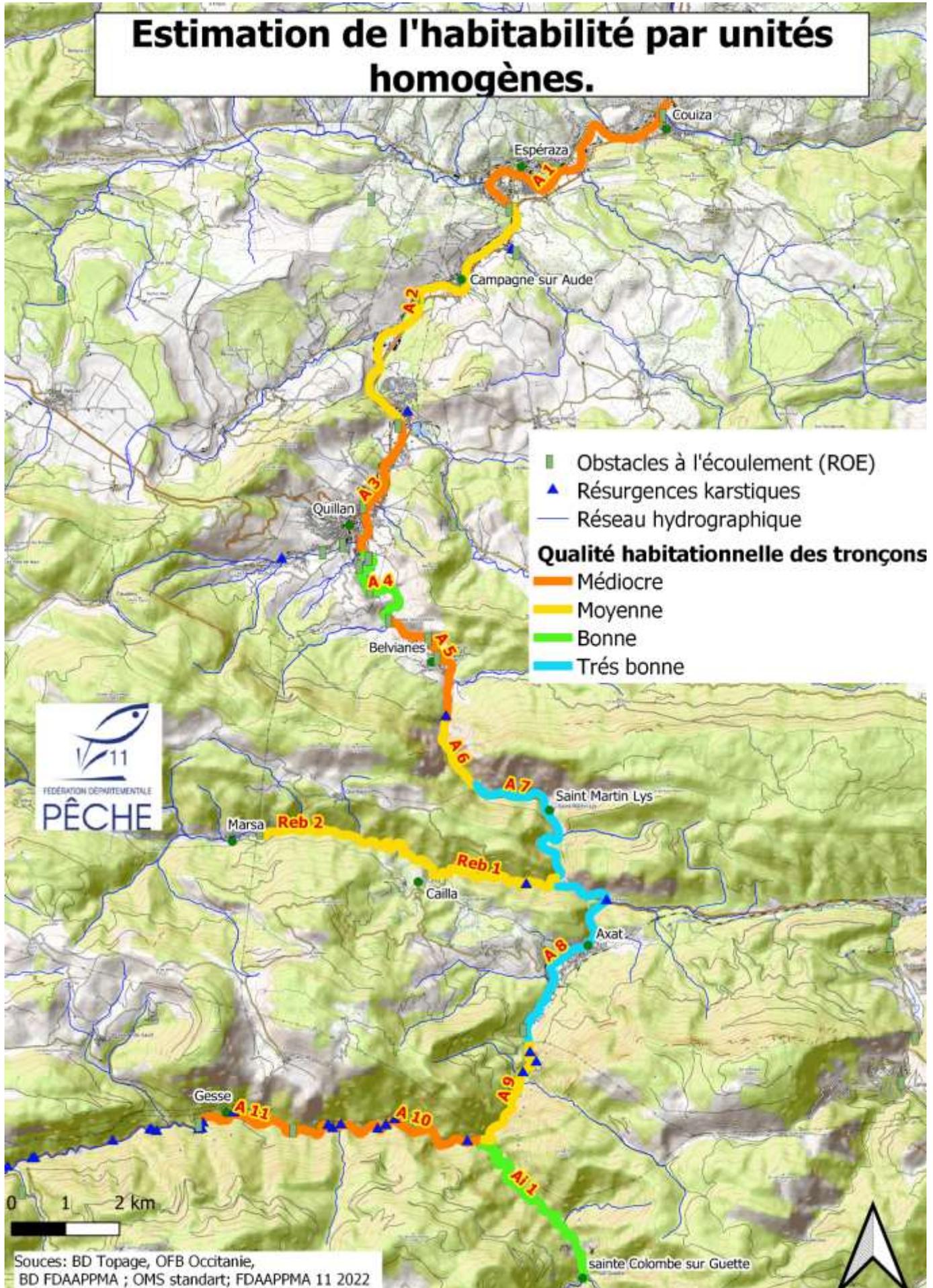
Détermination des classes d'habitabilité par tronçon

Cours d' eau	Code tronçons	Facès dominant	Longueur (M)	Largeur My (M)	Profondeur My (M)	Granulométrie dominante	Granulométrie secondaire	Pente en ‰ (Dénivelé en m.)	Densité de seuils artificiels au Km (Nbre de seuil)	Somme des chutes artificielles en m.	Classe granulométriques	Classe Colmatage	Classes de pentes	Taux d' étagement	Taux de Fractionnement	Note habitat /5
Rebenty	Reb1	Courants	3600	5	0.2	Blocs Pierre Grossières	Sable	15 (56)	0.2	0.35	1	2	2	0.6	0.1	3
	Reb2	Courants	3200	6	0.3	Blocs Pierre Grossières	Graviers	17 (57)	0	0	1	2	2	0	0	3
Aiguette	Ai1	Courants	4300	5	0.4	Blocs Pierre Grossières	Rochers	33 (143)	0	0	1	1	2	0	0	4

Les résultats obtenus suite à l'évaluation de ces métriques élémentaires permettent l'attribution d'une notation finale en fonction de l'habitabilité du tronçon :

Note habitat finale	Critères de notation sous couvert d'avis expertisé intégrant les paramètres annexes et sur les tendances peu affirmées (classes moyennes)
0 : absence d'habitat favorable	5 métriques élémentaires défavorables
1 : habitat globalement défavorable	4 métriques élémentaires défavorables
2 : habitat peu favorable ou très altéré	3 métriques élémentaires défavorables
3 : habitat potentiellement favorable mais altéré	3 métriques élémentaires favorables
4 : habitat favorable	4 métriques élémentaires favorables
5 : habitat optimal pour le développement du Chabot	5 métriques élémentaires favorables

Cette hiérarchisation préalable a par la suite été associée aux résultats des sondages piscicoles afin d'identifier les tronçons favorables actuellement colonisés et ceux pas ou peu colonisés pour lesquels des réflexions et/ou actions de réhabilitation pourraient être engagées.



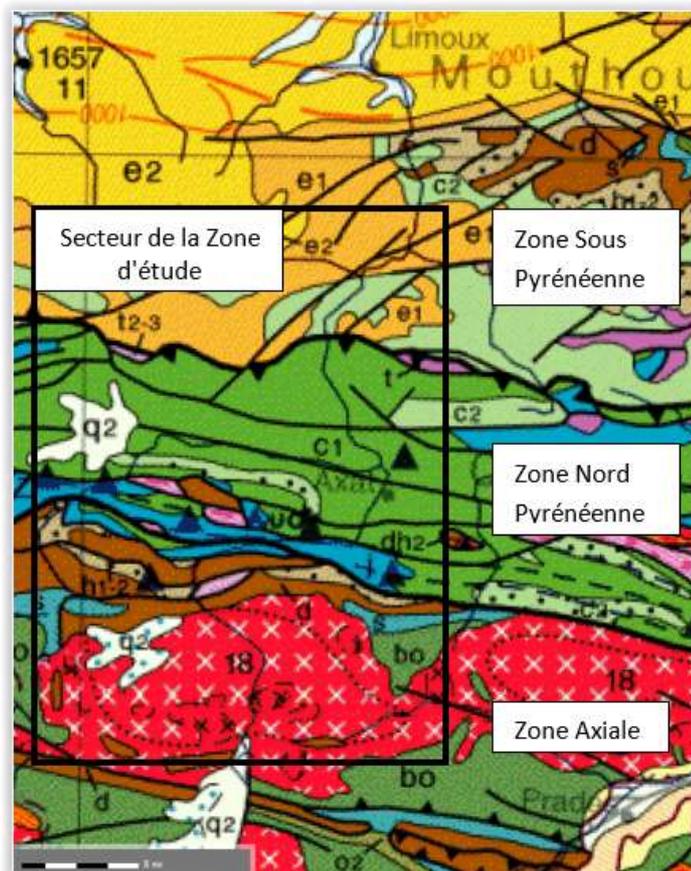
6.3 Analyse de la qualité physico-chimique

- **Les apports karstiques :**

Le site d'étude s'étage de la haute montagne au Sud, zone axiale de la chaîne pyrénéenne jusqu'aux reliefs collinéens du piémont au Nord. De ce fait, l'Aude, le Rébenty et l'Aiguette traversent une grande diversité de substrats géologiques et sont alimentés par des sources aux caractéristiques et aux origines variées.

- ✓ L'amont du site, des têtes de bassins versants jusqu'à environs Niort de Sault pour le Rébenty, Gesse pour l'Aude et Sainte Colombe sur Guette pour l'Aiguette, les cours d'eau évoluent dans la "Zone Axiale Pyrénéenne". Il s'agit de la partie centrale de la chaîne composée de roches plutoniques essentiellement acides (complexe granitique) et d'écaillés sédimentaires principalement d'âge primaire. Ces roches parfois métamorphisées ont été fortement tectonisées durant les orogénèses hercyniennes puis pyrénéennes.
- ✓ Dans la partie médiane du site, depuis les villages précédemment cités, jusqu'à la sortie Nord de Quillan (Domaine de l'Espinet), se trouve la "Zone nord-pyrénéenne" composée d'épaisses séries sédimentaires calcaires et marneuses d'âge secondaire ayant subies d'intenses plissements et un déplacement vers le Nord lors de la mise en place des Pyrénées.
- ✓ Au nord de la zone d'étude, de l'Espinet jusqu'à Couiza, l'Aude coule sur la "Zone sous-pyrénéenne". Elle est constituée de terrains sédimentaires tertiaires principalement d'origines continentales : argiles, marnes, conglomérats, calcaires lacustres....

Contexte géologique régional du site d'étude



Il a été mené une campagne d'inventaires de terrain des sources connues et moins connues, couplée à des mesures physico-chimiques sur l'aire de présence du Chabot. Ce travail permet un

référencement des apports naturels et une mise en lumière des principales sources en fonction de leur impact sur les conditions abiotiques du milieu de vie du chabot.

- **Référencement des sources**

Sur Aude, 35 sources ou petits affluents ont fait l'objet d'une mesure ponctuelle des paramètres physico-chimiques : pH, température, oxygène dissous, conductivité électrique. S'agissant de mesures ponctuelles et non de suivis à long terme, il convient de lire ces données avec toutes les précautions que cela requiert pour des paramètres fortement fluctuants sur une année hydrologique.

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022

Mesures physico-chimiques sur les tronçons de rivières étudiés

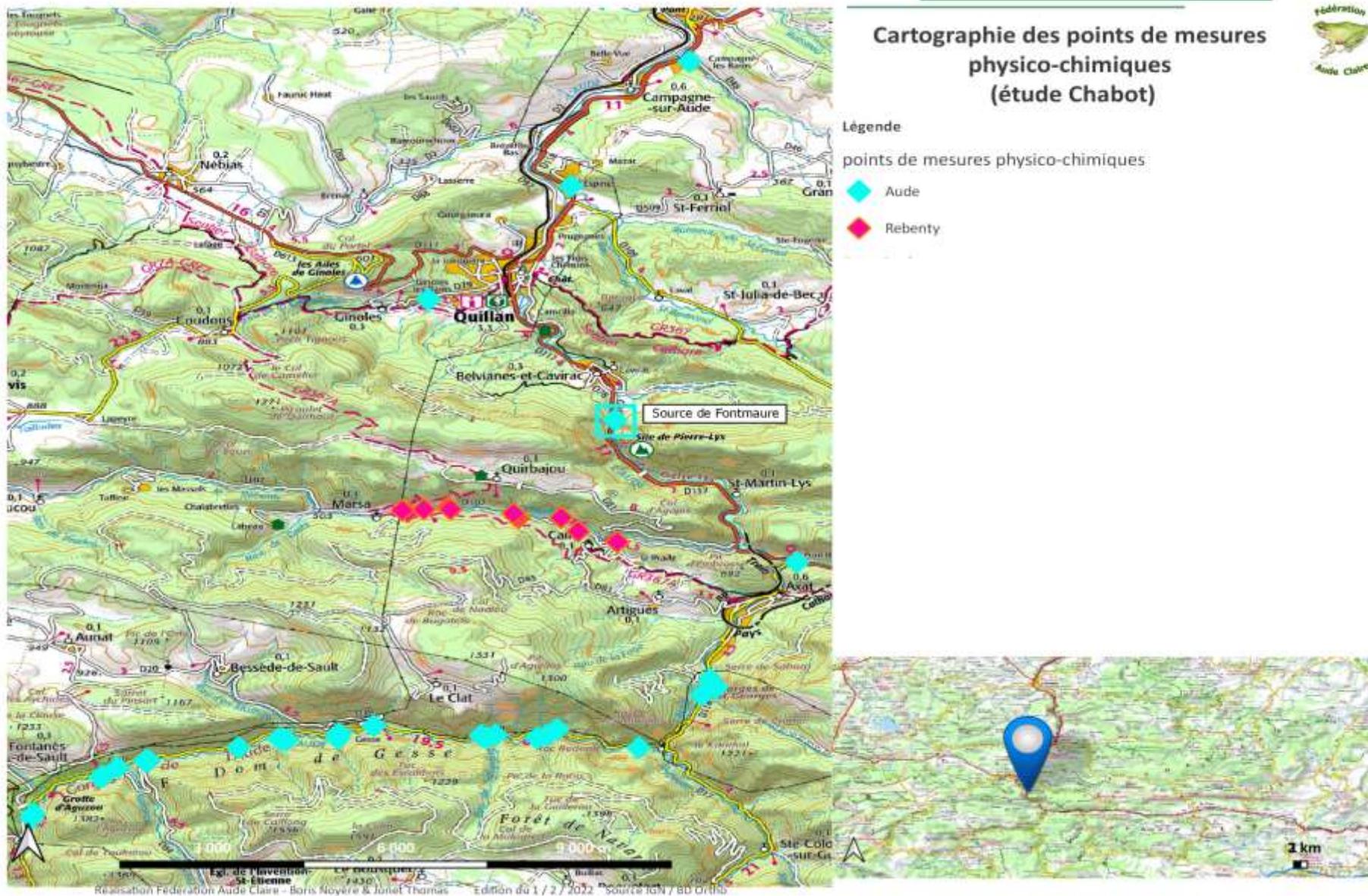
Nom	X_Lat	Y_Long	Altitude (m)	PH	T°C	Oxygene dissous (mg/L)	O2 (%)	CE (µS/cm)	Commentaires	Date de mesure
Aude										
Source tiède campagne les bains RD	42,9212	2,2183	250	7,07	26,5	5,34	67,7	1187	Anthropisée	07/10/2021
Source St-Bertrand RD	42,8941	2,1947	270	7,86	14,6	9,37	94,4	639	Au dessus du parking, déborde en HE	07/10/2021
Source de Ginoles RG	42,8694	2,1662	312	7,65	11,6	7,3	68,8	467	Source perenne, potentiel gros débit, provenance plateau de saut de dépression de Coudons	07/10/2021
Fontmaure RG	42,843	2,3036	316	7,62	12,6	10,04	87,6	861	Source majeure, draine une gde partie des eaux du plateau de saut, potentiel 10 à 15m3/s, sorties diffuses en amont	07/10/2021
Source de la Fago RG	42,8287	2,211	398	8,11	9,1	11,82	105	393	Source d'un système secondaire, apports non négligeables	26/01/2022
Ruisseau de la Cremade RD	42,8122	2,2397	382	8,29	12,9	10,45	102,6	446	Source de pollution (décharge)	07/10/2021
Source aval St-George RD	42,7867	2,2224	466	7,87	11,6	10,96	104	741	Draine Bac Estable	07/10/2021
Source fissure gorge St-George RD	42,7852	2,2277	497						A sec le 07/10/2021, coule en HE au dessus la route et en ME sous la route	07/10/2021
Source amont St-George RD	42,7835	2,2206	482	7,86	12,8	8,95	90	535	Captage AEP Axat, Draine Bac Estable	07/10/2021
Counanels RD	42,7718	2,2082	490	8,29	10,6	10,91	103,7	490	Petit Q, concretionne	07/10/2021
Nantilla RG	42,7758	2,1919	492						Source de trop plein sur le versant, actif en HE	07/10/2021
Le Bec Aval RD	42,7745	2,1898	498	7,9	11,5	10,8	104	160	Grosse source débit 50-70 L/s à date	07/10/2021
Le Bec Aval RG	42,7745	2,1898	498	7,97	12,5	8,93	88,4	220	Petite source qqes litres à date	07/10/2021
Point Aude	42,7745	2,1898	498		11,4	10,74	103	167	Quelques mètres en amont de "Bec Aval"	07/10/2021
Le Bec Amont RD	42,7739	2,1879	504	7,76	13,2	5,13	71,1	235	Petite arrivée, suintement	07/10/2021
Le Bec Amont RG	42,7745	2,1898	508	7,86	12,5	8,13	80,9	159	Petite arrivée	07/10/2021
Bourbel RG	42,7746	2,1796	527	7,75	12,4	9,05	89,5	316	Petite arrivée perenne, végétation luxuriante	07/10/2021

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022

Nom	X_Lat	Y_Long	Altitude (m)	PH	T°C	Oxygene dissous (mg/L)	O2 (%)	CE (µS/cm)	Commentaires	Date de mesure
Aude										
Les berres RD	42,774	2,1777	539	7,87	12,5	8,5	83,8	206	Q de quelques l/s	07/10/2021
Les berres RG	42,7745	2,1767	548	7,8	12,5	8,72	85	264	Très petit Q	07/10/2021
Captage Gesse RG	42,7766	2,1553	554	7,68	12,4	10,36	103	563	Debit important, sorties multiples	07/10/2021
Castel RG	42,7749	2,1484	575	7,65	18,6	7,88	88	425	Suintement diffus	07/10/2021
Castel gorge RD	42,7739	2,1481	578	7,55	14,9	8,65	91	275	Sortie en fissures	07/10/2021
Castel Amont RD	42,7736	2,1487	580	7,85	12,3	10,23	102	211	Source complexe fissurales sur quelques mètres	07/10/2021
Marty Aval RD	42,7735	2,1379	580	7,73	13	8,66	87	336	Très petit Q	07/10/2021
Marty Milieu RD	42,7737	2,1369	586	7,83	11,8	8,89	87	268	Q de quelques l/s	07/10/2021
Marty Amont RD	42,7738	2,1364	586	7,72	12,5	8,88	88	316	Q de quelques l/s	07/10/2021
Point 587 RD	42,7689	2,1296	630	7,83	11,7	10,29	101	207	Q de quelques l/s	07/10/2021
Stele aval RG	42,769	2,1103	627	7,75	12,8	9,7	98	375	Très petit Q	07/10/2021
Aude	42,769	2,1103	627					180		07/10/2021
Stele amont RD	42,7689	2,1097	630	7,7	12,9	8,34	84	398	Petite arrivée	07/10/2021
Résurgence TM71 RG	42,7675	2,1042	648						Résurgence rivière TM71 à sec à date	07/10/2021
Route d'Aguzou RD Aval	42,7656	2,1012	661	8,1	11,3	10,65	105	179	Q de quelques l/s	07/10/2021
Route d'Aguzou RD Amont	42,7654	2,1008	665	8,05	11,2	10,6	104,5	176	Q de quelques l/s	07/10/2021
Resurgence Gesse Aval RD	42,7574	2,0874	722	7,9	11,4	10,51	104	151	Résurgence en 3 points, Résurgence du siphon	07/10/2021
Resurgence Gesse Amont RD	42,7566	2,087	730	8,02	11,3	10,61	104	148	Résurgence du siphon	07/10/2021

Nom	X_Lat	Y_Long	Altitude (m)	PH	T°C	Oxygene dissous (mg/L)	O2 (%)	CE (µS/cm)	Commentaires	Date de mesure
Rébenty										
Ruisseau du pont de Cailla RD	42,8166	2,2039	430	8,59	3,4	13,3	103	295	Affluent env, 3 l/s	26/01/2022
La Trille RD	42,8189	2,1961	433	8,47	4,4	12,84	102,5	532	Affluent descendant de Cailla env,	26/01/2022
Font des Sercles RG	42,8219	2,1927	443	8,32	12,3	11,07	106	559	Complexe de sources majeures, 2 à 3 exutoires, 50 à 100 l/s	26/01/2022
Les Planets aval RD	42,8219	2,1842	460	8,3	5,5	12,6	103,3	378	Micro source 0,5 l/s	26/01/2022
Les Planets amont RD	42,8222	2,1836	461	7,9	10,1	10,63	97,8	464	Micro source 1 l/s	26/01/2022
Ruisseau de la Soullone	42,8228	2,1832	450						Affluent descendant de Quirbajou. Sec à date.	26/01/2022
Ruisseau de Saoutadou RG	42,8241	2,1702	470	8,34	7,4	12,18	105	495	Affluent env. 2 l/s	26/01/2022
Saoutadou RD	42,8237	2,1706	470	8,26	9,1	11,56	104,5	348	Petite émergence 3 à 4 l/s	26/01/2022
Moulin RD	42,8231	2,1621	478	8,32	5,1	12,66	103,5	569	Petit affluent, 3 à 4 l/s	26/01/2022
Gagaraulies RG	42,8237	2,1653	460	8,57	8,1	11,9	104,5	400	Affluent, 3 l/s	26/01/2022
Rivière Rébenty	42,8235	2,161	480	7,9	4,7	12,79	103	331	Point ADNe Chabot	26/01/2022

Localisation des mesures physico-chimiques

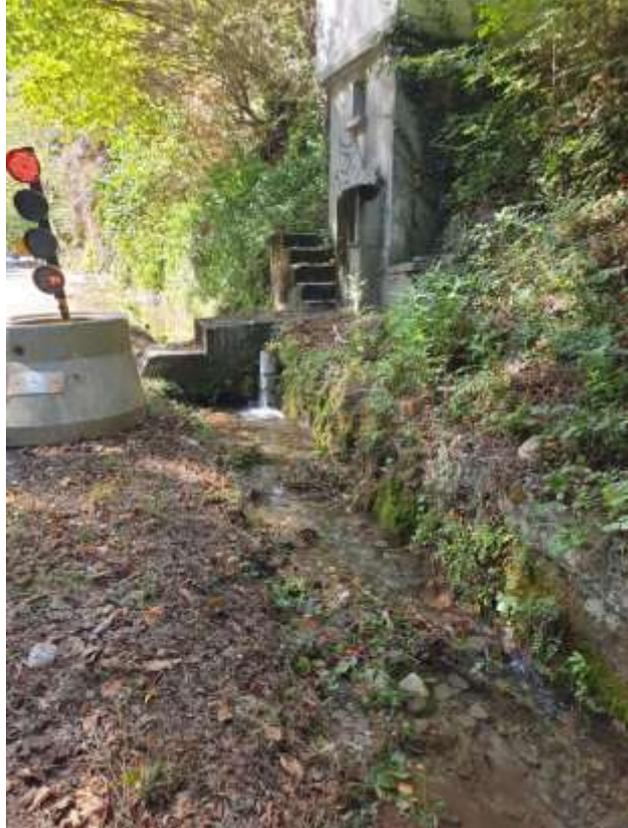


- **Hiérarchisation des sources sur l'Aude**

- ✓ *L'amont (Zone axiale)*

Une multitude de sources et suintements sont présents sur l'amont de la zone d'étude, dans la zone axiale de la chaîne. Certains affichent une conductivité traduisant une origine karstique. D'autres à la conductivité plus faible traduisent un transfert en milieu karstique très rapide dans un aquifère non capacitif ou correspondent à des circulations latérales souterraines de l'Aude. Il existe aussi la possibilité de fuites de la conduite EDF creusée en pleine roche dans le versant sus-jacent. Enfin, en étiage, des alimentations ont pu échapper aux prospections de terrain car totalement tariées ou alimentant l'Aude directement dans le lit de la rivière

La source du captage de Gesse présente un débit important en rive gauche de l'Aude. Nous n'avons pas trouvé dans la bibliographie de valeur de débit mais plusieurs exutoires actifs délivraient au moins 15 l/s lors de notre passage en étiage (07/10/21). La conductivité mesurée à 563 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une température de 12.4 °C témoignent de l'origine karstique de ce flux.



Source Captée Gesse.

Il existe quelques autres petites arrivées d'origines karstiques qui alimentent l'Aude en eau fraîche au fil de son cheminement. Bien que de moindres importances que la source du captage de Gesse, le cumul de ces petites arrivées d'eau contribue certainement au maintien d'une fraîcheur et d'une qualité de l'eau sur ce tronçon.

Enfin, l'Aude emprunte parfois un cours latéral souterrain. C'est le cas aux niveaux des pertes de l'Aude en aval du barrage de Gesse où cette dernière disparaît totalement si son débit est faible pour réapparaître quelques centaines de mètres plus bas en rive droite. Ce trajet souterrain, bien qu'assez court doit contribuer à légèrement rafraîchir la rivière.



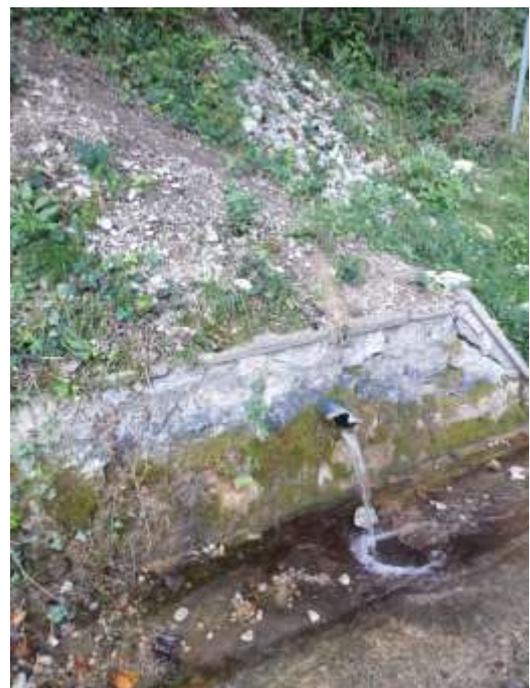
Résurgence de l'Aude (Gesse Amont).

✓ *Le cours médian (Zone Nord-Pyrénéenne)*

La traversée de la "zone Nord-Pyrénéenne" et de ses imposantes gorges calcaires (Saint-Georges et Pierre-Lys), prodigue à l'Aude une multitude d'apports d'eau fraîche d'origine karstique.

Entre Axat et Saint Martin-Lys, **le ruisseau de la Crémade** et surtout **le Rébenty** constituent des affluents dont l'eau est principalement d'origine karstique, ou nivale pour le Rébenty lors de la fonte. Le ruisseau de la Crémade apporte un peu de fraîcheur à l'Aude en période estivale mais son débit se réduit tellement en étiage qu'il a un effet négligeable sur la rivière. Un paragraphe est consacré au Rébenty en suivant.

Trois sources fraîches à conductivité assez élevée (535 et 741 $\mu\text{S}/\text{cm}$) alimentent l'Aude à l'entrée, au milieu et en sortie des **gorges de Saint-Georges**. La source amont est partiellement captée pour alimenter Axat en eau potable mais le débit de trop plein reste important, la source fissurale au milieu des gorges s'assèche à l'étiage et la source aval en sortie des gorges est alimentée toute l'année.



Les gorges de la Pierre-Lys constituent pour l'Aude un parcours de plus d'un kilomètre au travers des épais calcaires récifaux du crétacé.

En sortie de gorges, l'Aude est alimentée par la puissante **source de Fontmaure** qui est la plus grosse exurgence karstique alimentant directement l'Aude et l'un des principaux exutoires de la partie orientale du plateau de Sault. L'étude menée par le BRGM (*BRGM/RP-67528-FR*) conclue en 2018 aux caractéristiques suivantes de Fontmaure :

- Débits médians estimés entre 1,24 et 1,44 m³/s
- Débits moyens entre 2,03 et 2,18 m³/s
- Débits de pointe supérieurs à 10 m³/s, approchant 15 m³/s
- Conductivité fluctuant entre 300 µS/cm (en hautes eaux) et 900 µS/cm en étiage.
- La température fluctue d'un peu plus de 9°C en haute eau à presque 12°C en étiage. Ce dernier chiffre, associé aux conductivités élevées et à la présence de sulfates traduit une circulation profonde sous les marnes albiennes du bassin de Quillan, les sulfates étant attribués au Trias sous-jacent.



Source de Fontmaure

La source de Fontmaure est indéniablement un élément majeur qui contribue aux caractéristiques physico-chimiques du fleuve en apportant une eau plutôt minéralisée et assez fraîche. Le linéaire à l'aval direct de la source bénéficie probablement d'un effet "tampon thermique" de la source, plus chaude que la rivière en hiver et plus fraîche en été.

La source de Ginoles alimente le ruisseau du Coulent qui se jette dans l'Aude à hauteur de Quillan. Il est supposé que cette source représente un trop plein du vaste réseau de Fontmaure et draine l'extrémité orientale des calcaires urgoniens du plateau de Sault. L'étude BRGM toujours, a permis d'évaluer le débit médian à 0,11 m³/s et atteignant à un peu plus d'1 m³/s en crue. La température moyenne est mesurée à 10,3°C et la conductivité à 450 µS/cm. L'influence de cette source karstique sur les caractéristiques de l'Aude est certainement mineure.



Source de Ginole

✓ *L'aval (Zone Sous-Pyrénéenne)*

Au-delà de Quillan, l'Aude pénètre dans la "zone sous-pyrénéenne" constituée de roches sédimentaires fin crétacé - début tertiaire. Il n'existe plus de grand système karstique. Le substrat est plus argileux, les écoulements plus superficiels mis à part quelques séries carbonatées de faibles puissances qui structurent les paysages en plateaux mais qui ne constituent pas des aquifères pouvant influencer sur les caractéristiques du fleuve. Notons la source tiède (26.5°C) de Campagne les bains qui délivre une eau très minéralisée (1187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lors de nos mesures).

• **Hiéarchisation des sources sur le Rébenty**

Sur la zone d'étude du Rébenty, de Marsa jusqu'à la confluence avec l'Aude, nous avons dénombré 11 apports hydrologiques significatifs (sources ou affluents). Sur ce tronçon, le Rébenty coule sur les marnes albiennes, formation impropre à la karstification. Néanmoins, les affluents s'écoulent depuis les calcaires surplombant topographiquement les marnes (Clansayésien en rive gauche, Cénomaniens-Turonien en rive droite) et présentent des minéralisations non négligeables, 295 à 569 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 26/01/22, alimentant ainsi un Rébenty à 331 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le même jour.

Parmi les 11 apports mesurés, la source dénommée ici **Font des Sercles** retient notre attention. Il s'agit d'émergences multiples, au moins 3 exutoires constatés, situées à quelques mètres du Rébenty et délivrant un débit estimé entre 50 et 100 l/s le 26/01/22. La température mesurée était de 12,3°C

pour une conductivité de 559 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Au vu du débit du Rébenty de plusieurs m^3/s en hiver, cette source ne doit probablement pas avoir beaucoup d'influence sur la rivière à cette période. Il serait par contre intéressant de pouvoir estimer cet apport en étiage.



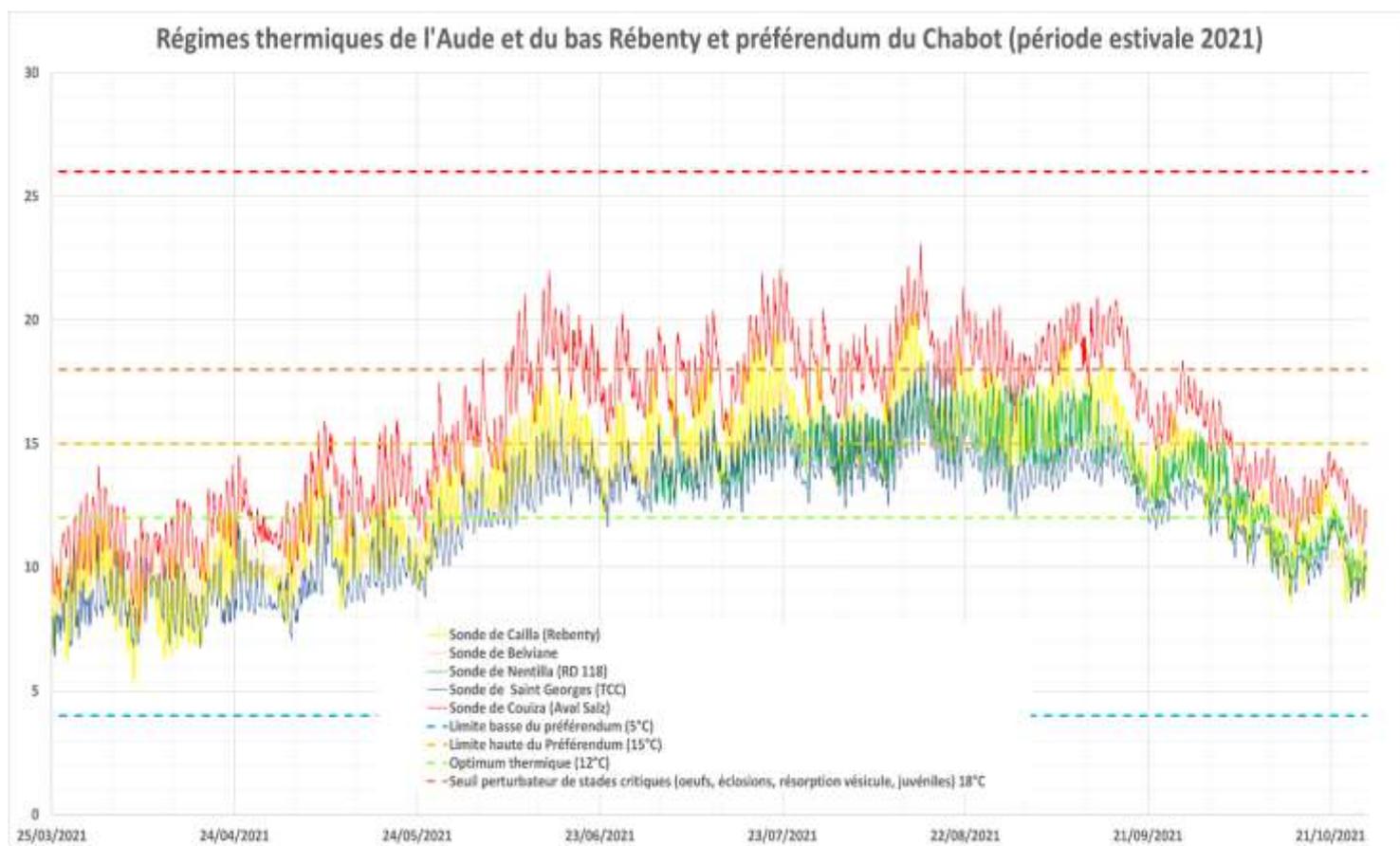
Source de Font des Sercles

• **Régimes thermiques de la zone d'étude :**

Afin de caractériser l'ensemble des unités hydromorphologiques identifiées précédemment, le périmètre d'étude a été équipé de 3 sondes thermiques et de 2 sondes multi paramètres (Thermie et conductivité) avec des enregistrements au pas de temps horaire.

Numéro sonde	Cours d'eau	Descriptif	Coordonnées Lambert 93	Début des mesures	Altitude	Fin des mesures
21016662	Aude (TCC)	Le Clat Aval prise d'eau de Saint Georges	242239 ; 5277707	28/01/2021	511 m	14/12/2021
Multiparamètre 20835576	Aude	Axat Pont RD118 aval nentilla	246940 ; 5278140	02/07/2021	425 m	14/12/2021
21008486	Aude	Belviane et Cavarac (Seuil 2)	245251 ; 5289328	28/01/2021	308 m	14/12/2021
Multiparamètre 20835575	Aude	Couiza Aval confluence Salz	250851 ; 5303676	01/01/2021	218 m	26/10/2021
21016664	Rebenty	Cailla Station RCS	244972 ; 5284078	01/01/2021	411 m	15/12/2021

Le graphique ci-dessous illustre les variations thermiques enregistrées par l'ensemble des sondes sur la période estivale, théoriquement la plus sélective pour une espèce cryophile.



Les seuils de préférendums ont été fixés à partir des éléments issus de la bibliographie spécifique à l'espèce, dont la synthèse a été réalisée en première partie du présent rapport.

Les valeurs de moyennes journalières utilisées pour évaluer la conformité du régime thermique vis-à-vis du Chabot sont fixées comme suit :

- 15°C : limite supérieure du préférendum du Chabot dont le dépassement sur de longues périodes peut générer les premiers stress physiologiques ;

- 18°C : limite supérieure du préférendum de la Truite Fario rattaché à un biocénotype proche du Chabot dont le dépassement peut générer du stress physiologique ;
- 20°C : seuils de perturbation des stades critiques du Chabot (notamment les alevins en période estivale) ;
- 27°C : seuil de létalité pour tous les stades de développements (prise en compte des mesures instantanées).

Détermination des classes de conformité des régimes thermiques

Classe de conformité thermique	Critères de notation
0 : Incompatible avec les exigences de l'espèce	Dépassement du seuil léthal ou température des 30 jours les plus chauds supérieure à 20°C.
1 : Fortement impactant pour l'ensemble des stades de développement du Chabot.	Régime thermique sortant sur des périodes significatives du préférendum du Chabot (18°C/ 20°C) et une température des 30 jours les plus chauds supérieure à 18°C.
2 : Fortement impactant pour les stades critiques (alevins) et important stress physiologique sur les stades adultes.	Régime thermique sortant sur des périodes significatives du préférendum du Chabot (18°C/ 20°C)
3 : Perturbations les stades critiques (alevins) du Chabot et potentiel stress physiologique sur les stades adultes.	Régime thermique sortant sur des périodes significatives du préférendum du Chabot (15°C) et/ou dépassant ponctuellement le seuil de perturbation des stades critiques de l'espèce (18/20°C)
4 : Conforme pour l'ensemble des stades de développement du Chabot.	Régime thermique inclus dans le préférendum du Chabot ou ne dépassant que peu et sur de courtes périodes le seuil de 15°C

- Synthèse des données thermiques et évaluation de conformité des régimes :

Stations	Nombre de jour avec moyenne journalière > 15°C	Nombre de jour avec moyenne journalière > 18°C	Nombre de jour température instantanée > 20°C	Nombre de jour température instantanée > 27°C	Température des 30 jours les plus chauds	Température maximales instantanée	Classes de compatibilité du régime thermique aux exigences du Chabot
Aude à Le Clat	9	0	0	0	14.7	18.3	4
Aude à Axat	46	0	0	0	15.8	17.6	4
Aude à Belvianes	60	0	0	0	16	18.6	4
Aude à Couiza	126	69	43	0	19	23.1	1
Rebenty à Cailla	86	21	2	0	16.7	20.4	3

L'étude des régimes thermiques des cours d'eau de la zone d'étude fait ressortir des gammes plutôt conformes sur le fleuve Aude depuis la commune de Le Clat jusqu'à Belvianes et vraisemblablement Quillan par extension.

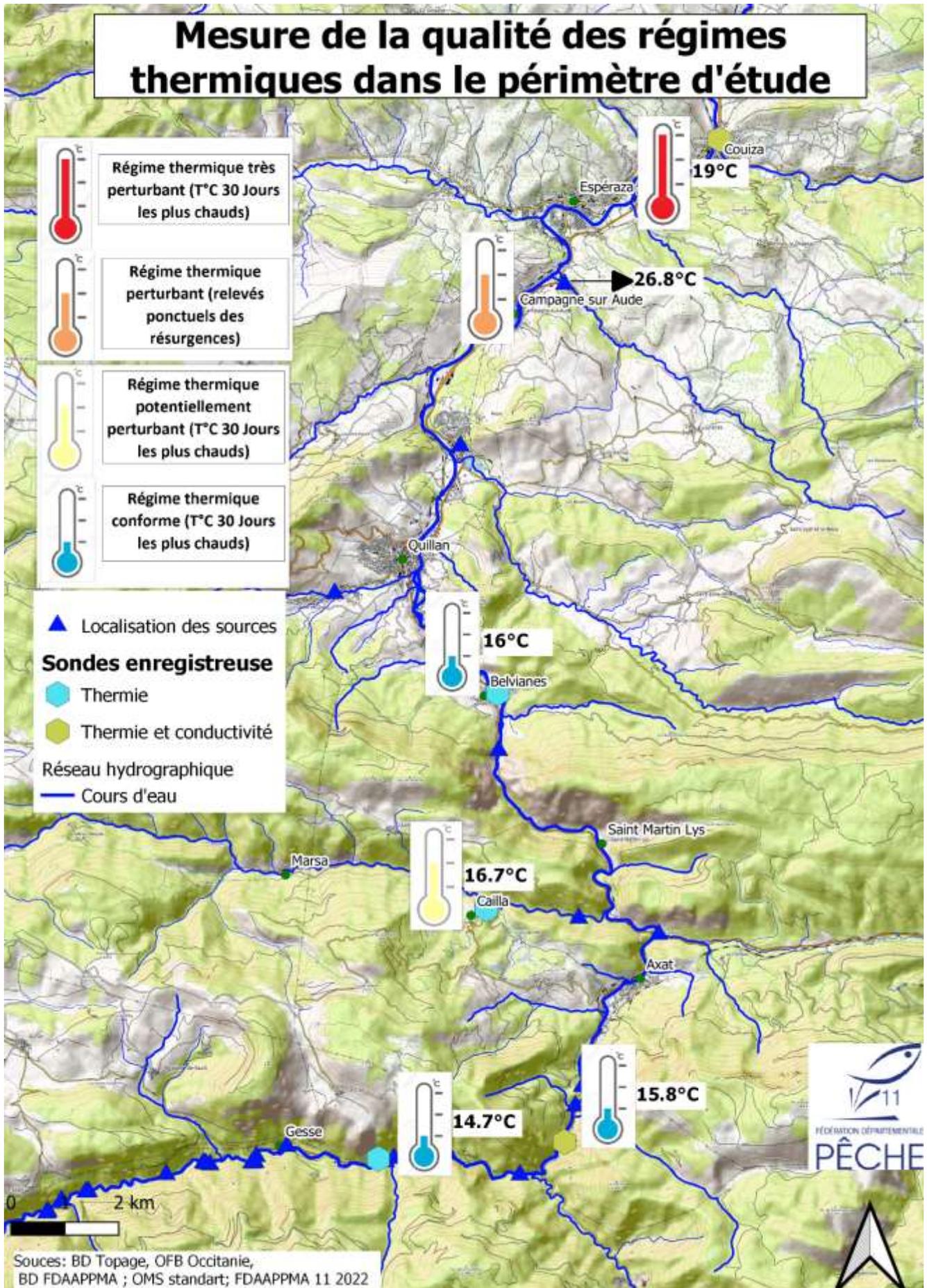
Des pondérations peuvent cependant être apportées du fait de l'impact thermique lié à la gestion hydraulique artificielle du fleuve dont l'échelle de d'influence, souvent infra horaire, échappe à ces relevés. Les détails de ces éléments sont développés dans le cadre de la partie dédiée à cette spécificité. Néanmoins, le phénomène naturel de réchauffement graduel du cours d'eau de l'amont vers l'aval paraît perturbé par les éclusées issues de Nentilla. Cet aspect pourrait induire une inadaption potentiellement prématurée des conditions thermiques de l'Aude vis-à-vis des exigences du Chabot (ÉTUDE DES VARIATIONS DES PARAMETRES THERMIQUES ET CHIMIQUES DU FLEUVE AUDE, FDAAPPMA 11 ; Mars 2021.)

Dans ce contexte, le rôle de tampon thermique que semble jouer les résurgences fraîches issues des réseaux karstiques apparaît primordial. Ainsi, les apports de l'importante source de Fontmaure participent certainement au maintien de la conformité des mesures effectuées sur Belvianes en diluant les adductions tièdes issues des éclusées et potentiellement du Rebenty.

Les enregistrements réalisés à hauteur de Couiza sur l'Aude s'avèrent très défavorables par rapport au maintien et la réalisation du cycle vital de l'espèce étudiée. Le maillage de station de mesure ne permet pas d'identifier le point de décrochage, cependant les apports chauds identifiés issus des affluents (Saint Bertrand, Brézilhau et Salz) et des sources (Granès) s'avèrent déterminants.

L'hypothèse avancée serait que les conditions thermiques rencontrées sur le tronçon s'étendant des confluences avec le Saint Bertrand et la Salz demeuraient peu favorables pour l'ensemble des stades de développement du Chabot. En aval de cette limite, la survie même de l'espèce est remise en question.

Enfin, le bas Rebenty présente une tendance assez marquée au réchauffement avec des dépassements significatifs des valeurs seuils de préférendums et quelques occurrences supérieures à 20°C. Ainsi, le régime du Rebenty tend à présenter des déviations assez marquées vis-à-vis des situations d'optimums thermiques. Dans cette situation, les stades les plus sensibles de l'espèces peuvent être affectés et le stress occasionné sur les stades adultes peut générer des migrations de confort. Les apports issus des résurgences karstiques souvent peu prolifiques de tronçon peuvent néanmoins constituer des îlots de fraîcheurs plus favorables à l'espèce.



- **Suivi de la conductivité :**

Les études réalisées précédemment par la FDAAPPMA 11 (Étude des régimes thermiques de l'Aude, 2020) ont démontré que le signal associé aux variations de conductivité constitue un traceur constant et stable vis-à-vis de la détection des lâchers d'eau issus de Nentilla.

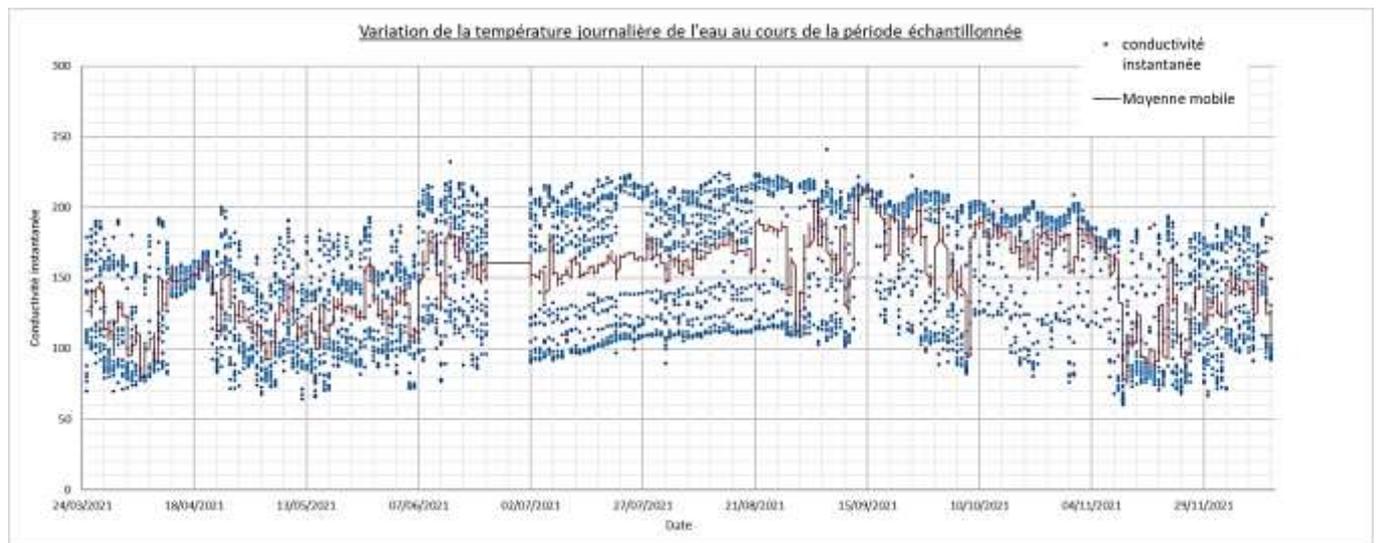
Sur la campagne de mesure 2021, les sondes enregistreuses multi paramètres ont été positionnée à hauteur de deux stations stratégiques :

- Aude à Axat (Pont de la Rd 118) : zone directement exposée aux lâchers d'eau issus de Nentilla.

- Aude à Couiza (plusieurs centaines de mètres en aval Confluence avec la Salz) : limite aval de l'aire de répartition connue du Chabot, potentiellement influencée par les éclusées de Nentilla et les apports minéraux de la Salz.

L'Aude à Axat (Pont de la RD 118) :

Analyse des variations de conductivités :



Comme relevé en 2020, les enregistrements montrent une forte variabilité infra-journalière des valeurs de conductivités. Cette mesure est exprimée en $\mu\text{Sm}/\text{cm}^2$. Cependant, les exondations survenues lors du printemps 2021 et sur une dizaine de journées en Juin étaient de nature à compromettre l'analyse statistique des enregistrements. Dès lors, les données liées à ces périodes ont été retirées. Enfin, la courte période de maintenance de l'usine de Nentilla du 13 au 23/09/2021 est perceptible de par la stabilité relative des mesures effectuées. Il s'agit là du témoin de la conductivité naturelle du cours d'eau.

Fiche station		Aude à Axat	
Date début suivi	25/03/2021	Conductivité moyenne de la période étudiée	150,2
Date fin suivi	14/12/2021		
Durée (en j)	265		
2021 Conductivités élevées	Cond. instantanée maximale	240,9	
	Cond. moy jour max	212,4	
	Date T°C maxi journalière	15/09/2021	
	Cond. des 30 jours les plus chauds	181,1	
	Date Cond. 30 jours les plus chauds	01/09/2021	
Conductivités faibles	Cond. instantanée minimale	60,2	
	Cond. moy jour min	79,5	
	Date Cond. min journalière	11/11/2021	
Amplitudes	Amplitude globale maximale	180,8	
	Amplitude journalière maximale	135,2	

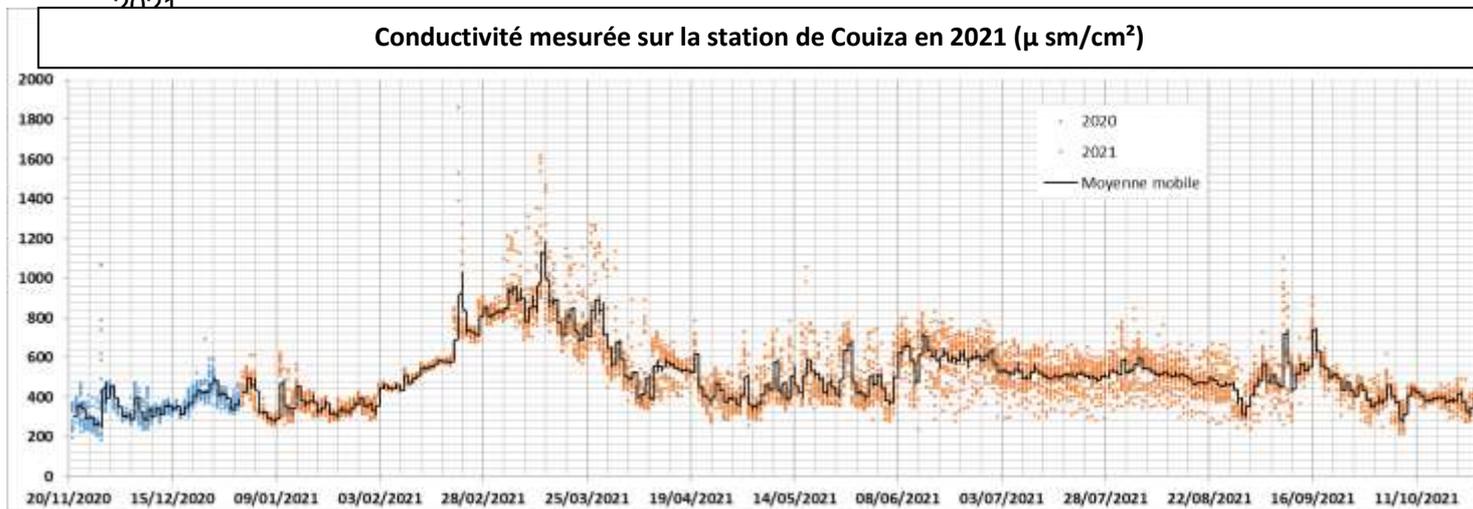
Sur la totalité de l'intervalle de mesure, l'enregistrement de la conductivité met en évidence de fortes fluctuations infra-journalières (135.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Pour les extrêmes, la conductivité fluctue entre 60.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 11/11/2021 au plus bas à 240.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 15/09/2021. Au seul titre indicatif, il est notable que la date des maximas journaliers se situe au cœur de la période d'arrêt des lâchers de Nentilla. Ainsi, la conductivité moyenne relevée sur ce jour peut être considéré comme proche de celle naturelle, soit 212.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les fluctuations infra-journalières ont des amplitudes 110 et 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur des pas de temps horaires.

L'Aude à Couiza (aval confluence Salz) :

L'examen global de la chronique de donnée met en évidence plusieurs séquences distinctes qui relèvent d'influences variées. Ainsi, les valeurs de conductivités sur cette station sont en étroite relation avec la capacité de dilution des apports de la Salz par les débits de l'Aude.

L'influence de cet affluent singulier se traduit par une augmentation significative des valeurs de conductivité qui culminent jusqu'à 1853 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 22/03/2021. Ce phénomène semble piloté par la conjoncture entre des débits faibles de l'Aude et les apports même modérés de la Salz.

Il est ainsi possible de distinguer une importante séquence de domination des influences de la Salz du 03/02/2021 au 19/04/2021 en lien avec l'hydrologie printanière particulièrement sèche de l'Aude en 2021.



2021	Fiche station Aude à Couiza			
	Date début suivi	01/01/2021	Conductivité moyenne de la période étudiée	520,4
	Date fin suivi	26/10/2021		
	Durée (en j)	299		
	Conductivités élevées	Cond. instantanée maximale		1859,5
		Cond. moy jour max		1128,9
		Date maxi journalière		14/03/2021
		Cond. des 30 jours les plus chauds		847,7
		Date 30 jours les plus chauds		27/02/2021
	Conductivités faibles	Cond. instantanée minimale		209,7
		Cond. moy jour min		280,6
Date min journalière		08/01/2021		
Amplitudes	Amplitude globale maximale		1649,8	
	Amplitude journalière maximale		1143,7	

- **Bilan qualitatif de la zone d'étude :**

Le périmètre d'étude compte 9 stations de suivi de la qualité de l'eau dont 9 ont été évaluées comme de bonne qualité et 1 de qualité moyenne (station du RHP – Réseau Hydrobiologique Piscicole à Le Clat : le Poisson) dont l'analyse sera développée dans la partie suivante.

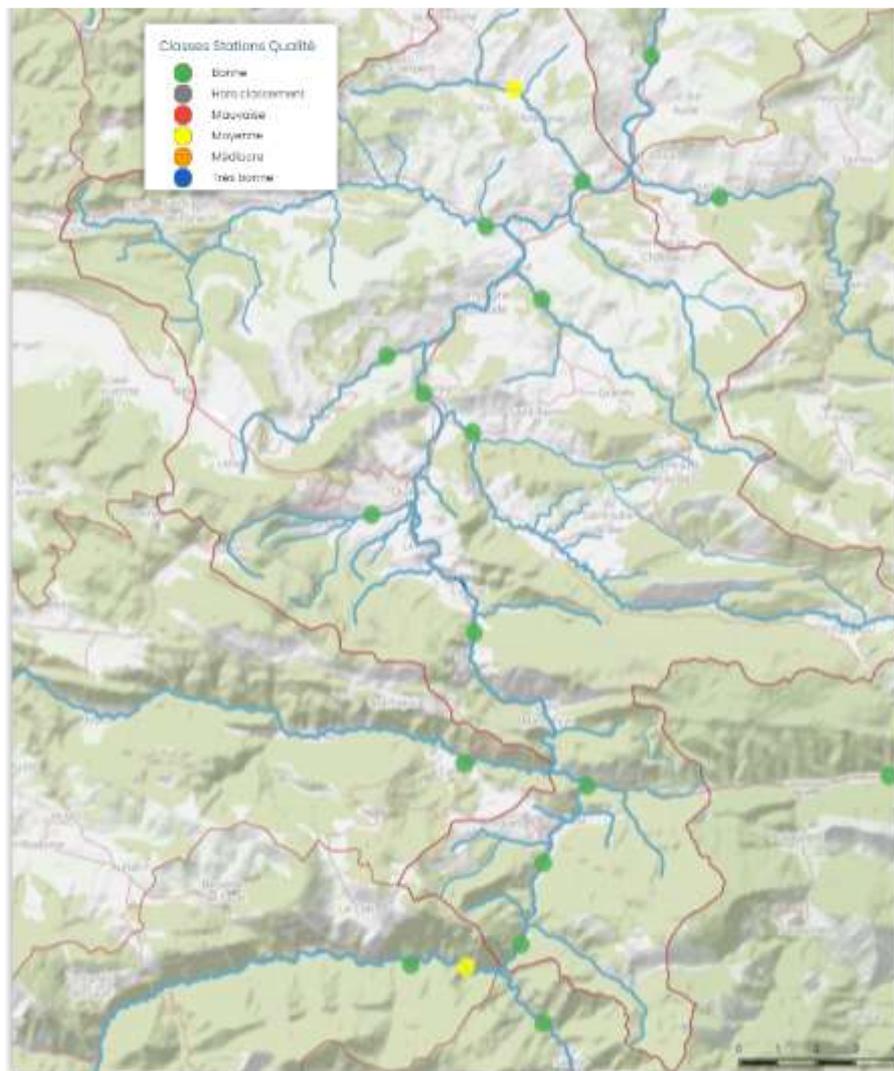
- **L'Aude :**

Le réseau de station de l'Aude est assuré par le Conseil Départemental de l'Aude (4) et l'Agence de l'eau (3). Les stations dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par l'AE RMC bénéficient de relevés annuels et peuvent être considérés comme représentatifs du périmètre d'étude. Les résultats de ces suivis indiquent une eau oxygénée, une bonne qualité physico-chimique et biologique sur l'ensemble du périmètre d'étude.

- **Le Rebenty et l'Aiguette**

La maîtrise d'ouvrage des réseaux des stations situées dans le périmètre d'étude du bas du Rebenty et de l'Aiguette est assurée par l'Agence de l'eau et l'OFB (Station RCS et étude). L'examen des chroniques met aussi en évidence la bonne voire très bonne qualité des paramètres analysés.

Localisation des stations de suivi de qualité dans la haute vallée de l'Aude



- **Les régimes hydrologiques d'éclusés sur l'Aude :**

Concomitamment à la réalisation du présent document, une étude visant l'évaluation de l'impact des éclusées sur les milieux et les usages a été menée par le bureau d'étude Eaucéa en partenariat avec la FDAAPPMA 11 sous l'impulsion de l'EPTP SMMAR. Il ne s'agira pas ici de reproduire une analyse équivalente de ce vaste sujet mais d'en produire une synthèse en focalisant sur les problématiques propres au Chabot sur le périmètre d'étude.

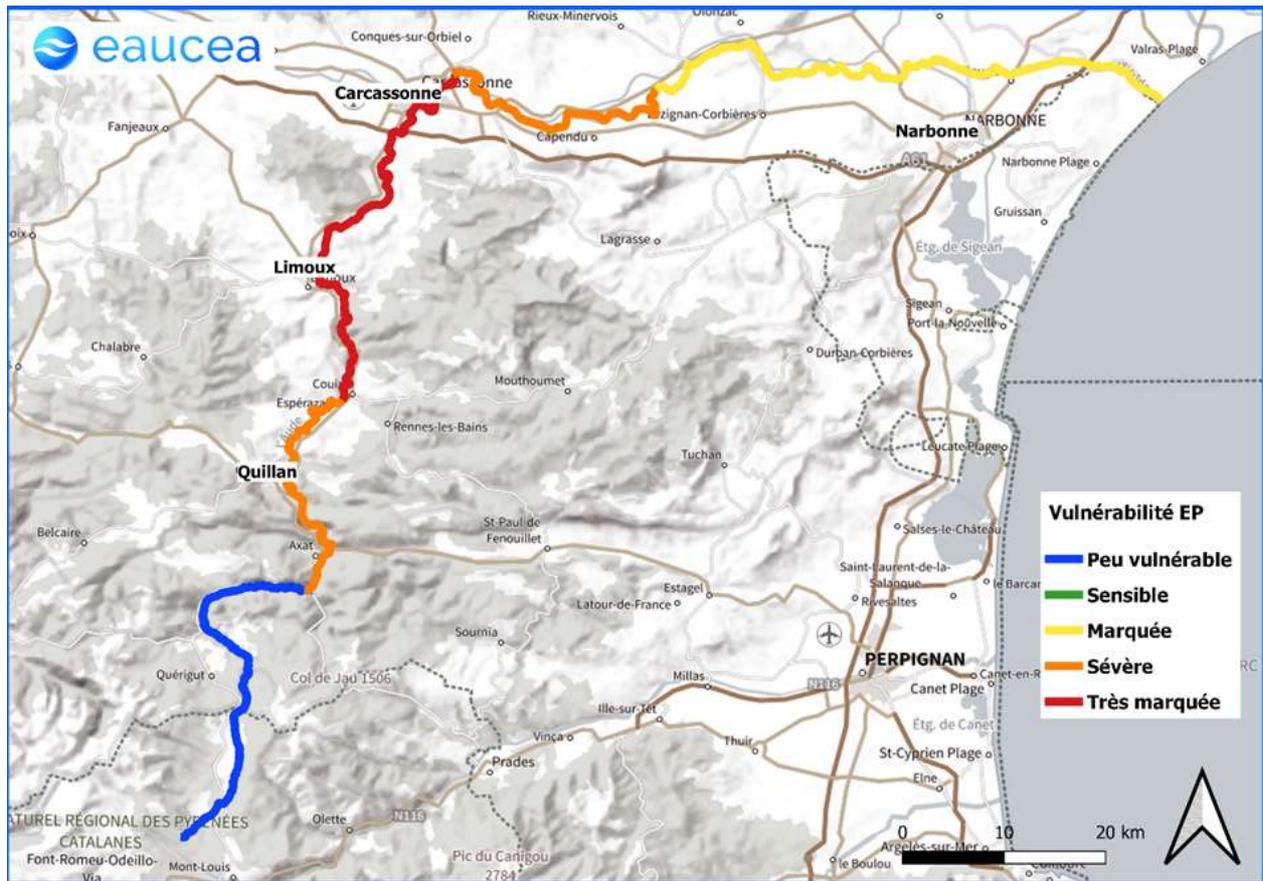
Les éclusées de l'Aude ont une origine hydroélectrique liée à la production d'une énergie de pointe et en période d'étiage estival au placement de l'eau au service des besoins agricoles (convention de Matemale) et des sports d'eaux vives. Ces éclusées se traduisent par une fluctuation des débits instantanés où des lâchers d'eau se superposent au débit de base « naturel » à partir de l'usine de Nentilla.

La vulnérabilité des tronçons a été évaluée en utilisant des indices différents suivant si l'on caractérise la vulnérabilité d'un site à l'échouage-piégeage, à l'exondation de frayère ou à l'instabilité hydraulique.

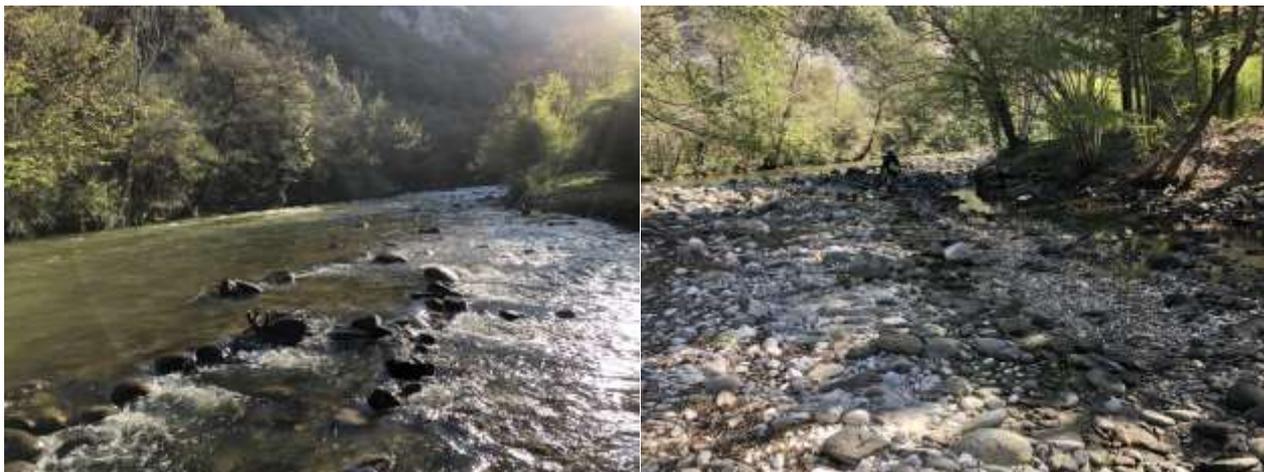
- **Vulnérabilité à l'échouage/piégeage et l'exondation de frayère**

La vulnérabilité à l'échouage/piégeage dépend de l'hydromorphologie locale du cours d'eau ainsi que de la présence de bancs et de chenaux secondaires. Ces indicateurs prennent notamment en compte la densité et les caractéristiques des atterrissements et des bancs alluviaux, ainsi que les dimensions des chenaux secondaires. Le Chabot présente une sensibilité accrue à ces phénomènes du fait de ses faibles capacités de déplacement et de ses mœurs sédentaires.

Evaluation du degré de vulnérabilité à l'échouage / piégeage / exondation frayère :



Sur notre périmètre d'étude le tronçon de l'usine de Nentilla à la confluence avec la Salz apparait dans la classe de vulnérabilité sévère vis-à-vis de l'échouage/piégeage et de l'exondation de frayère. Il totalise 45 bancs et 16 chenaux secondaires. Cette forte sensibilité a notamment été confirmée par le témoignage d'un pêcheur au cœur de la période de reproduction en Avril 2021 au niveau du Pont vieux de Quillan.



Différence des deux bras sur le site du camping 08 Avril 2021 (8h59 et 11h02) ; Crédit FDAAPPMA 11.



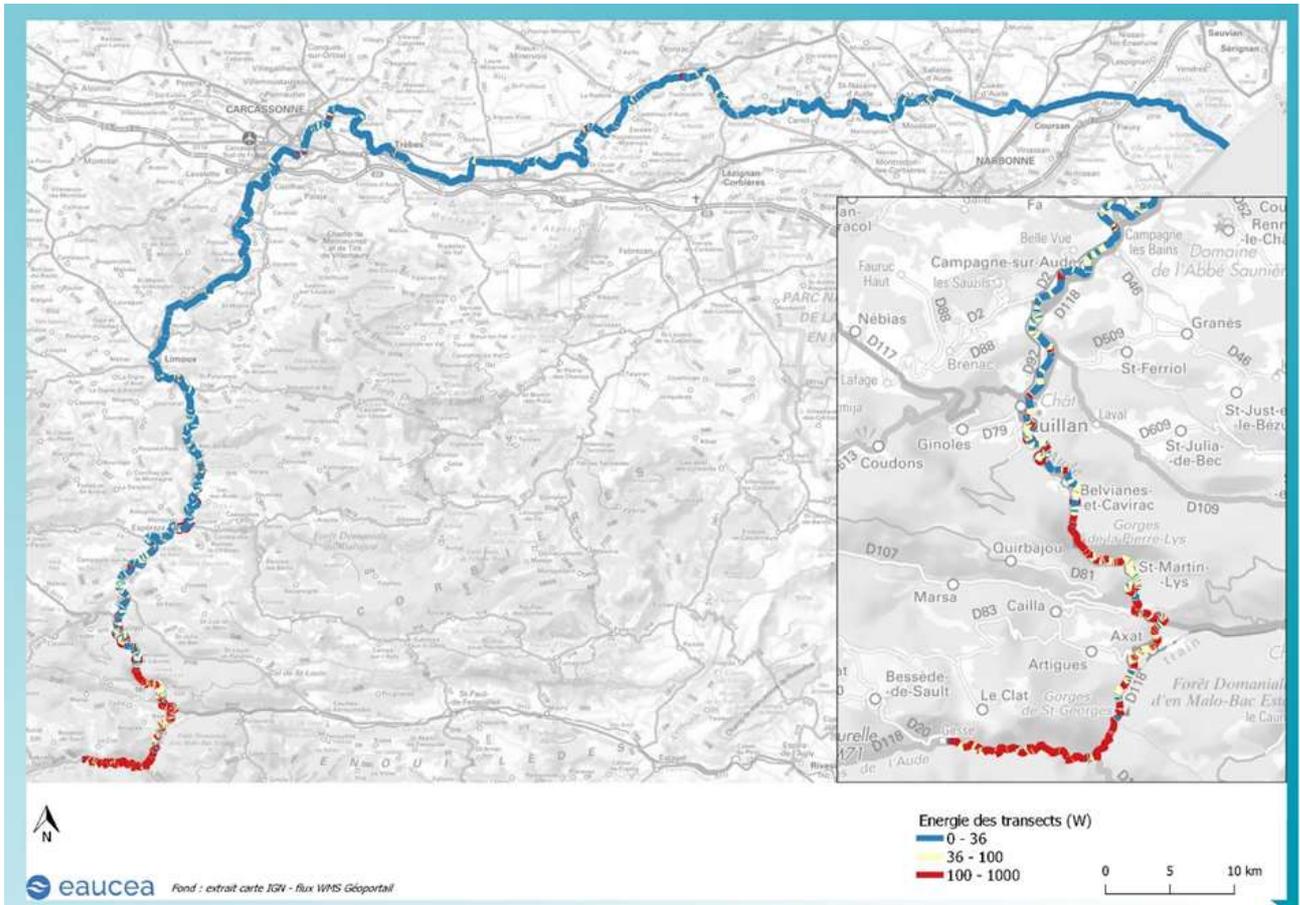
Site de Belvianes vu vers l'aval, Avril 2021 (à gauche : 12H35 et à droite : 16H13) ; Crédit EAUCEA.



Echouage d'un chabot Quillan 27 avril 14h50 (retour enquête pêcheur G. Boyer)

- **Instabilité hydraulique**

Cette vulnérabilité a été évaluée sur la base du calcul de la puissance du cours d'eau à l'échelle des secteurs d'étude pouvant être pondéré par la présence d'abris et refuges hydrauliques pour les poissons. La caractérisation de l'instabilité hydraulique d'un site se base sur différents indicateurs : la largeur du lit moyen ; la pente ; la densité d'abris hydrauliques ; le pourcentage de faciès profond ; la granulométrie du fond ; le niveau de digitation des berges. Le Chabot du fait de ses capacités de nages limitées, notamment sur les stades juvéniles, présente aussi une importante sensibilité à ce paramètre.



Cette visualisation de la vulnérabilité à l'instabilité hydraulique permet d'individualiser deux zones dans notre périmètre :

- Une zone à la vulnérabilité globalement forte s'étendant de Gesse à la sortie des Gorges de la Pierre Lys, dont le secteur en amont de Nentilla ne peut être pris en compte car non-soumise au régime d'éclusée ;
- Une zone mitigée entre une vulnérabilité faible à moyenne s'étendant de la sortie des Gorges de la Pierre Lys jusqu'à la confluence avec la Salz et s'étendant en direct de Limoux.

Cette distribution spatiale est cohérente avec la proximité directe de l'usine de Nentilla dans la partie amont du linéaire expliquant que le secteur présente une vulnérabilité forte jusqu'à la sortie des gorges. Concernant la zone plus mitigée entre la sortie des gorges et Limoux, la baisse de la vulnérabilité peut s'expliquer par une diminution de la pente du lit et une augmentation de sa largeur.

• **Modification des habitats hydrauliques et de l'hydromorphologie :**

La modification du débit lors d'un cycle d'écluse entraîne alors une variation de l'hydraulique de l'Aude. L'influence est notamment forte sur les métriques élémentaires d'habitabilité des milieux aquatiques avec des conséquences mesurables sur les vitesses d'écoulements, sur les hauteurs d'eau ainsi que sur la surface inondée au sein de différentes stations. Le Chabot dont les exigences habitationnelles (Optimum du Chabot adulte : hauteur d'eau : 0.4 m ; vitesses d'écoulements : 1.2 m/s) sont élevées vis-à-vis de ces paramètres est particulièrement exposé.

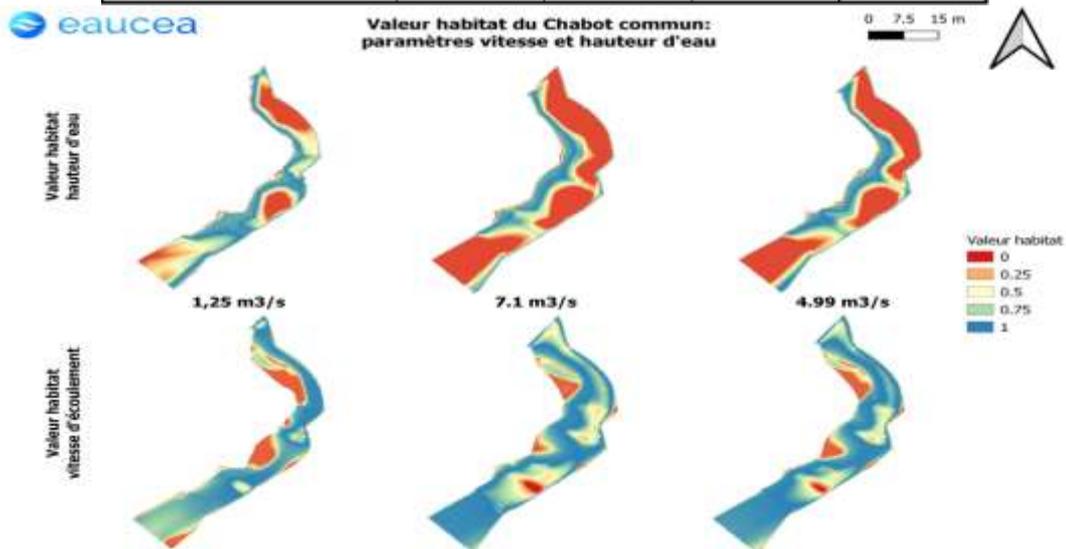
Dans le cadre de l'évaluation, le bureau d'étude EAUCEA et la FDAAPPMA11 ont ciblé plusieurs stations représentatives des enjeux biologiques associés aux éclusées. Il s'agit des secteurs du Camping d'Aliès et de Nentilla qui ont chacune fait l'objet d'inventaires piscicoles par échantillons ponctuels d'abondance.

Au niveau de la station d'Aliès, au cœur de la zone répartition connue de l'espèce, les densités en Chabot se sont révélées marginales et largement inférieures à la station RCS voisine d'Axat. La station de Nentilla (Pont RD 118) n'a pas permis la capture de Chabot en dépit d'inventaires piscicoles historiques attestant de sa présence. (Cf. annexe)

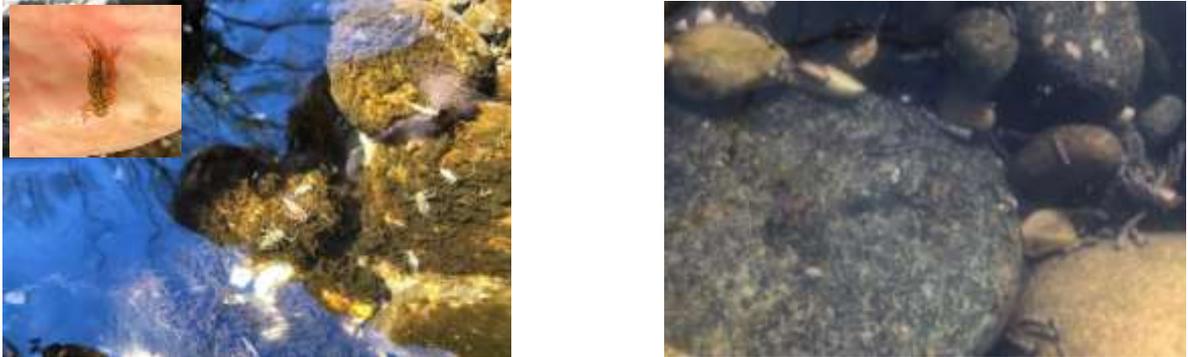
Selon la méthode EVHA, l'évolution des valeurs calculées d'habitats de ses deux stations (cf. méthodologie dans le rapport de phase 1) se caractérise par une diminution de l'habitabilité pour le Chabot adulte à mesure que le débit augmente en lien avec la métrique hauteur d'eau et les vitesses.

Valeur habitat en fonction du débit pour les stades de truite fario et le chabot adulte sur la station de Nentilla (Crédit eaucéa)

Débits en m3/s		1.25	7.1	5.15
Chabot commun	Adulte	0.578	0.369	0.414
	Juvenile	0.654	0.812	0.777
Truite fario	Juvenile	0.805	0.631	0.708
	Alevin	0.69	0.484	0.549
	Larve	0.285	0.17	0.214



Enfin, il reste important de noter que les variations brutales de vitesses d'écoulements et de hauteurs d'eau peuvent avoir des impacts néfastes sur les ressources trophiques exploitées par le Chabot. En effet, des phénomènes de piégeages massifs du macrofaune benthique ont été observés sur l'axe Aude. Par ailleurs, un comportement de dérive forcée de type « catastrophique » peut être observé entraînant les individus vers l'aval par augmentation des forces tractrices à la surface du substrat.



Observation d'invertébrés (Trichoptères, éphéméroptères et Plécoptères) et d'alevins de salmonidés piégés et/ou échoués sur le site du camping d'Aliès le 08 Avril 2021 ; Crédit FDAAPPMA 11.

- **Modification des caractéristique physicochimiques de l'eau :**

L'analyse des mesures réalisées au niveau du périmètre d'étude démontre que les éclusées entraînent en moyenne une augmentation de la température de l'eau de l'Aude sur la période estivale et un effet de refroidissement en période printanière (Eaucéa 2022, FDAAPPMA 2021). À l'échelle infrahoraire, les impacts les plus brutaux des éclusés sur la température sont observés dans la zone des gorges entre Nentilla et Axat : amplitude de l'ordre de 2°C par heure et de 0,3°C par minute à la hausse comme à la baisse sur une amplitude de 3 à 5°C.

Les enregistrements du paramètre conductivité ont mis aussi en évidence une forte variation de la composition chimique de l'eau selon son origine. Ainsi, les eaux issues de l'usine de Nentilla s'avèrent largement moins carbonatées que les écoulements naturels enrichis en ions Ca^{2+} CO_3^- du fait de la solubilité du substrat calcaire. Des variations de l'ordre de 150 à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ sont visibles au niveau de Belvianes et Nentilla. Ces dernières atteignent 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ au niveau de Couiza en lien avec les apports salés de la Salz.

Par effet cumulatif, ces éléments peuvent être de nature à soumettre la faune piscicole à un état stress physiologique chronique favorisant un mécanisme d'immuno-suppression responsable d'une plus grande sensibilité à certains agents pathogènes.

De cette manière, le myxozoaire agent de la maladie rénale proliférative a pu être détecté selon des prévalences significatives dans les reins de salmonidés échantillonnés à Campagne sur Aude et Alet-les bains lors de la campagne de dépistage 2021. (Cf. Annexe)

Par ailleurs, plusieurs spécimens de truites adultes mycosées, probablement par un oomycète du genre *Saprolegnia* ont pu être observés à hauteur de Quillan lors des inventaires de frayères de Novembre 2021. Selon l'avis d'expert, ce genre d'observation n'est pas systématique en milieu naturel. Ce sont surtout les poissons vivants dans un milieu dégradé ou de qualité médiocre qui, en raison du stress subi, manifesteront ces lésions et en mourront.

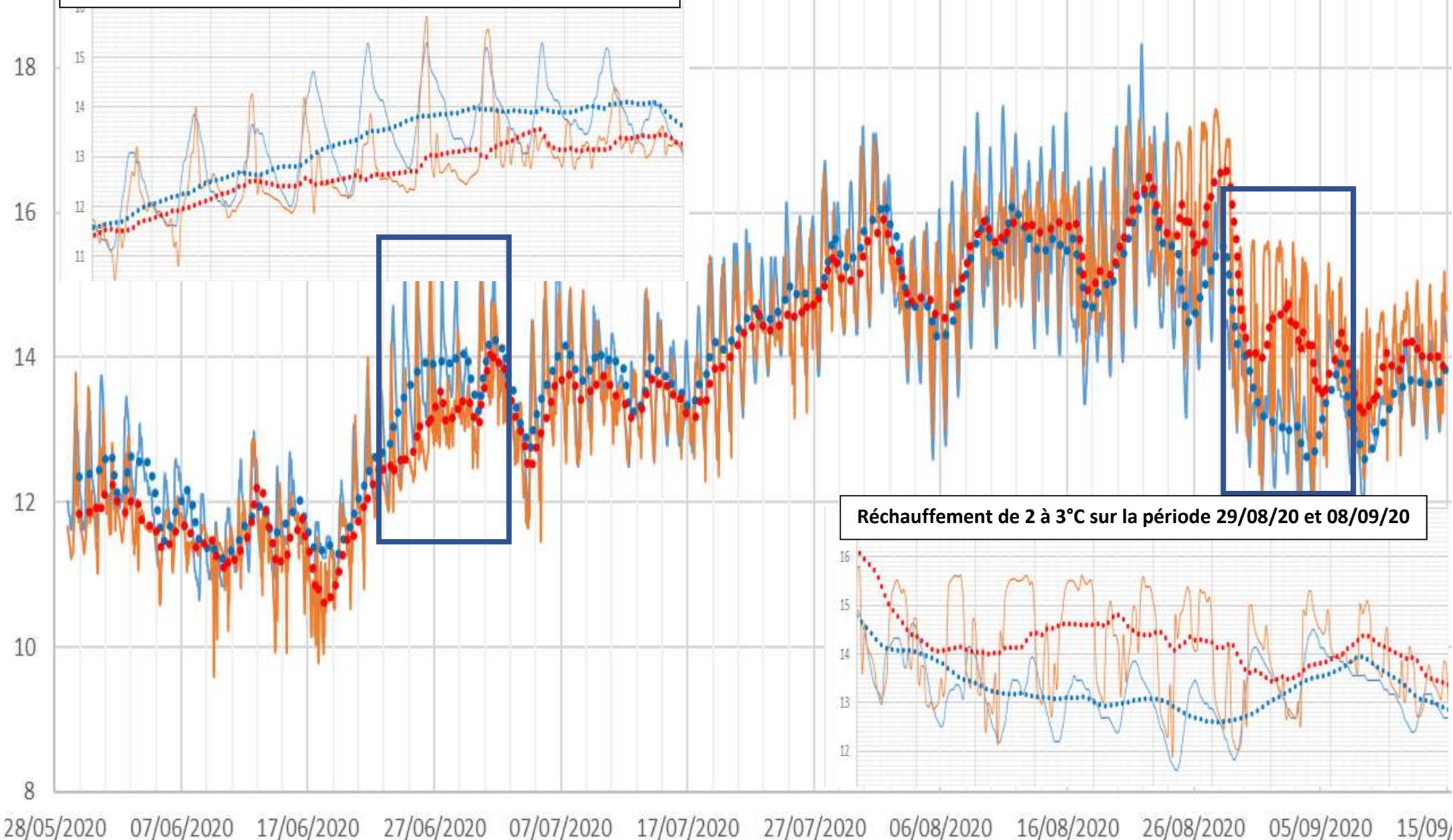
Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022



Prélèvement du matériel biologique sur des Truites Fario de la haute Vallée de l'Aude par un vétérinaire agréé le 10 Septembre 2021, et géniteur de Truite Fario présentant un important recouvrement mycosique (Quillan le 22 Novembre 2021).

Impact thermique des éclusées sur l'Aude entre les stations de Nentilla et de Gesse 28/05/20 et 15/09/20

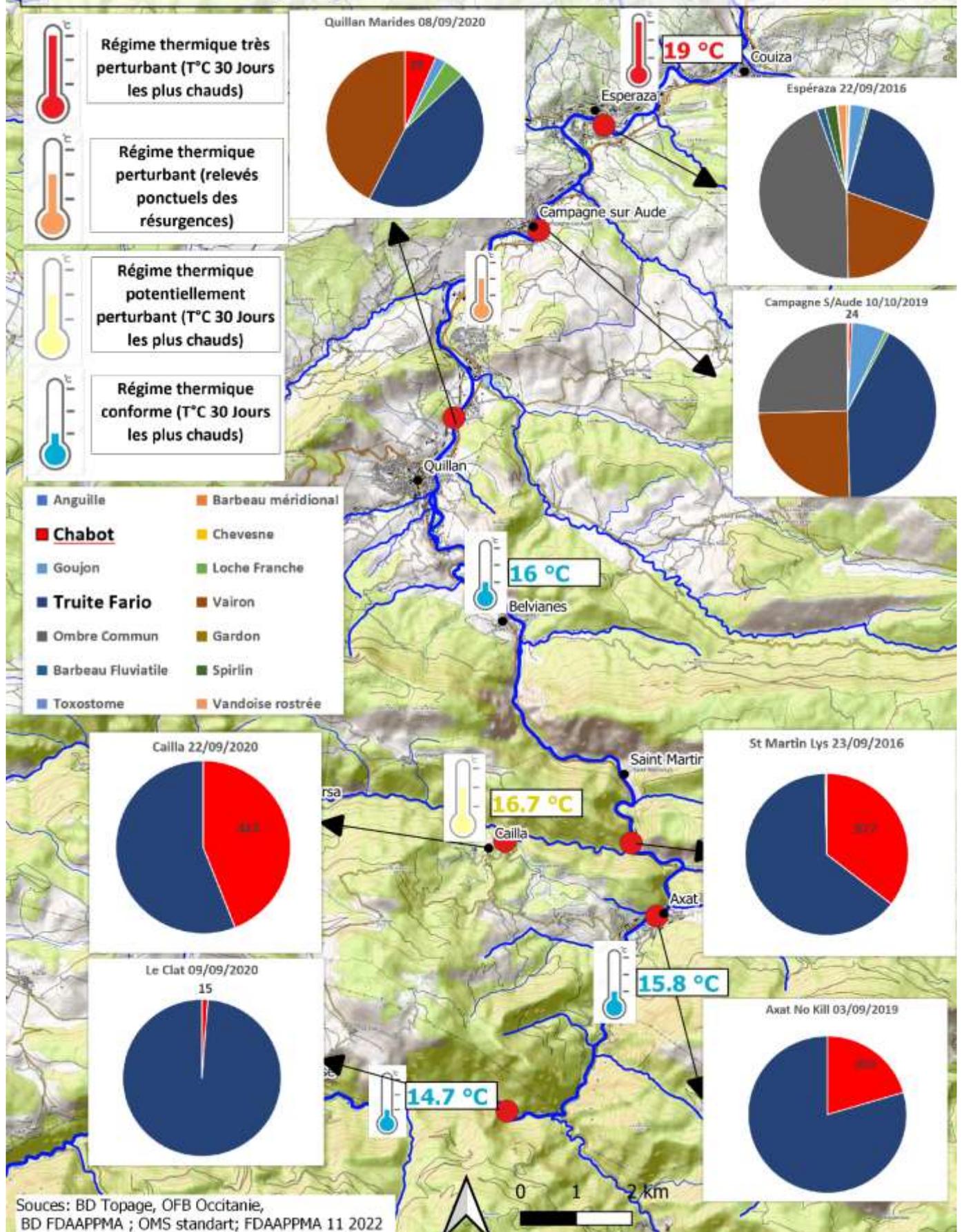
Refroidissement de 1 à 2°C sur la période 20/06/20 et 30/06/20



Réchauffement de 2 à 3°C sur la période 29/08/20 et 08/09/20

— Tronçon court-circuité — Aval Nentilla ●●●● 24 Moy. mobile sur pér. (Tronçon court-circuité) ●●●● 24 Moy. mobile sur pér. (Aval Nentilla)

Glissement typologique des communautés piscicoles (densité en ind/ha) en lien avec le paramètre thermique.



Sources: BD Topage, OFB Occitanie, BD FDAAPPMA ; OMS standart; FDAAPPMA 11 2022

6.3 Analyse de la population de chabot

Dans l'objectif d'enrayer les lacunes associées au maillage des stations d'inventaires piscicoles sur le périmètre d'étude, des prospections ponctuelles par pêches électriques ont été menées dans les trois cours d'eau concernés par l'étude (Aiguiette, Aude, Rebenty).

Ces sondages ont été répartis dans les secteurs présentant des habitats potentiellement favorables au développement du chabot identifiés lors des reconnaissances de terrain visant délimitation des tronçons favorables. Les résultats intègrent aussi les informations recueillies à l'occasion de la réalisation d'autres protocoles (EPA et pêche complète) au cours de la campagne de pêche 2021.

La localisation des stations, les modalités d'échantillonnage et le détail des captures sont présentés dans les fiches de terrain annexées au présent rapport. Les résultats des sondages sont présentés dans le tableau suivant.

Cours d'eau	Tronçon	Localisation	Surface échantillonnée en m ²	Indiv. Capturés et masse totale (g)		Densité en indiv/ha et biomasse kg/ha		Abondance globale relative.	Structure de la population.
Aiguiette	Ai1	Confluence Aude	100	0	0	0	0	Absent	-
		Pont de la carrière	62.5	0	0	0	0	Absent	-
Aude	A1	Passerelle de Couiza	137.5	0	0	0	0	Absent	-
		Aval centrale Roc d'en Cayrol (Espérazza)	137.5	0	0	0	0	Absent	-
	A2	Pont de Campagne sur Aude	100	0	0	0	0	Absent	-
		Aval centrale de Charla (Quillan)	62.5	1	8	160	1.2	Très faible	Adulte
	A3	Aval centrale de Marides (Quillan)	100	3	19	300	1.9	Très faible	Adultes et subadultes
	A4	Jardins de La Forge	62.5	1	6	160	0.9	Très faible	Adulte
	A5	Aval seuil de la Scirie (Belvianes)	100	8	50	800	5	Faible	Adultes et subadultes
		Aire repos Pierre Lys (Belvianes)	150	7	47	466.6	3.1	Faible	Adultes et subadultes
	A6	Gorges de Pierre lys	Pas de sondage	-	-	-	-	-	-
	A7	Parking de Saint Martin Lys	125	2	24	160	1.9	Très faible	Adultes
		Aval Confluence Rebenty	62.5	4	36	640	5.7	Faible	Adultes et subadultes
	A8	Camping d'Aliès	62.5	4	24	640	3.8	Faible	Adultes et subadultes
	A9	Pont D118 aval Nentilla	62.5	0	0	0	0	Absent	-
	A10	Hameau de Nentilla	62.5	2	7	320	1.1	Très faible	Adultes et subadultes
Aval barrage de Saint Gorges		62.5	0	0	0	0	Absent	-	
A11	Hameau de Gesse	62.5	0	0	0	0	Absent	-	
	Ancien seuil pisciculture Gesse	62.5	0	0	0	0	Absent	-	
Rebenty	Reb1	Lieudit Le Bac	62.5	0	0	0	0	Absent	-
		Moulin de Cailla	62.5	2	7	320	1.1	Très faible	Adultes et subadultes
		Aval seuil naturel	62.5	0	0	0	0	Absent	-
	Reb2	Confluence Rau Soulone	62.5	0	0	0	0	Absent	-
		Aval centrale de Marsa	62.5	0	0	0	0	Absent	-

Les résultats des sondages réalisés sur la zone d'étude précisent la répartition du Chabot au sein du périmètre d'étude. Afin de rendre plus robuste les résultats, des investigations complémentaires ont été menées dans les chroniques d'inventaires historiques sur l'ensemble de la zone d'étude. Les données récoltées sont synthétisées dans le tableau en annexé.

À l'échelle du périmètre d'étude, plusieurs unités ont pu être identifiées :

- Une zone centrale de présence continue du Chabot sur l'axe Aude s'étirant du seuil de la centrale de Charla (confluence du Saint Bertrand) en aval aux gorges de Saint Georges en amont sur 17.4 km.
- Deux zones périphériques de présence discontinue dont les bornes sont diffuses en aval (potentiellement le Tronçon A2 sur 6.1 km) et limitées au seuil de la prise d'eau de Saint Georges en amont.
- Une zone de présence discontinue sur le bas Rebenty depuis la confluence avec l'Aude jusqu'au premier seuil naturel (Tronçon Reb1) sur 3.6 km.

Les situés aux confins de notre zone d'étude (Tronçons A1 ; A11 ; Reb2 et Ai1) n'ont pas permis la capture d'individus malgré des contextes d'habitats locaux potentiellement favorables.

Concernant l'estimation du dynamisme des populations, seule la population située en périphérie aval présente une déstructuration en lien avec la seule capture de stades adultes. Ce constat est par ailleurs appuyé par les chroniques locales d'inventaires sur ce tronçon (Campagne sur Aude ; 10/10/2019).

Pour finir, nous pouvons constater que sur l'ensemble de l'aire de répartition les densités globales observées pour le Chabot (Verneau 1973 ; CSP 1995) sont qualifiées de faibles à très faibles.

**Plusieurs classes d'âges capturés dans l'Aude (Marides) les 13 et 14/09/2021
et traitement biométrique de l'échantillon.**



6.4 Recherche d'ADN environnemental

Dans le but d'affiner plus précisément l'aire de répartition dans la Haute Vallée de l'Aude obtenue au travers des sondages par pêche électrique, des investigations complémentaires par détection de l'ADN environnemental (ADNe) ont été réalisées.

Le choix des stations a été conditionné par les résultats des prospections ponctuelles sur les habitats réputés favorables. Ainsi, pour un cours d'eau donné, la limite de répartition théorique de la population est définie dès lors qu'aucun Chabot n'a été capturé dans minimum deux stations successives. Les sites de prélèvement ont été définies en amont de ces points.

Par ailleurs, deux affluents permanents de l'Aude, pour lesquels nous ne disposons d'aucune donnée piscicole, ont été échantillonnés car situés au cœur de l'aire de répartition.

Enfin, une tentative de bornage aval sur l'axe Aude de la zone de présence du Chabot a aussi été mise en œuvre.

L'ADNe correspond à l'ADN pouvant être extrait à partir d'échantillons prélevés dans l'environnement. Ces échantillons peuvent être de l'eau, du sol mais aussi des fèces. Cette méthode de recherche d'ADN permet de détecter des espèces sans avoir besoin d'isoler les organismes. Les analyses sont faites sur la base d'approches de metabarcoding et de séquençage à haut débit.

Le matériel de prélèvements a été prêté par le laboratoire de génétique de la conservation de l'Université de Liège (Belgique).

L'eau a été pompée grâce à un préleveur Vampir de chez Makita et sa pompe péristaltique auto-amorçante. Un long tuyau souple muni d'une crépine lestée était positionné dans l'eau et il passait dans la mâchoire du Vampir. Il était relié à la capsule filtrante installée dans un panier fixé au Vampir. Un petit tuyau en PVC à la sortie de la capsule permettait le rejet de l'eau après sa filtration à l'aval du prélèvement. De l'alcool pur était injecté dans la capsule après le prélèvement d'eau. Des carrés de Parafilm®M associé à des bouchons en caoutchouc ont été utilisés afin de fermer hermétiquement les capsules.

Pour chaque station, deux réplicas ont été faits avec un changement du matériel pour chaque réplica. Chaque prélèvement durait trente minutes et consommait l'énergie d'une batterie. Pour chaque manipulation, une paire de gant caoutchouc était utilisée afin de ne pas polluer l'ADN des prélèvements.

Les échantillons ont été étiquetés puis mis au réfrigérateur en attendant la fin de la campagne de prélèvements. Les prélèvements ont été faits le 26 janvier et le 25 février 2022. Le tableau ci-dessous récapitule les dates et les personnes qui ont réalisées les manipulations de prélèvements (Tableau 1).

Tableau 1 : Dates et personnes ayant réalisé les prélèvements pour l'ADNe.

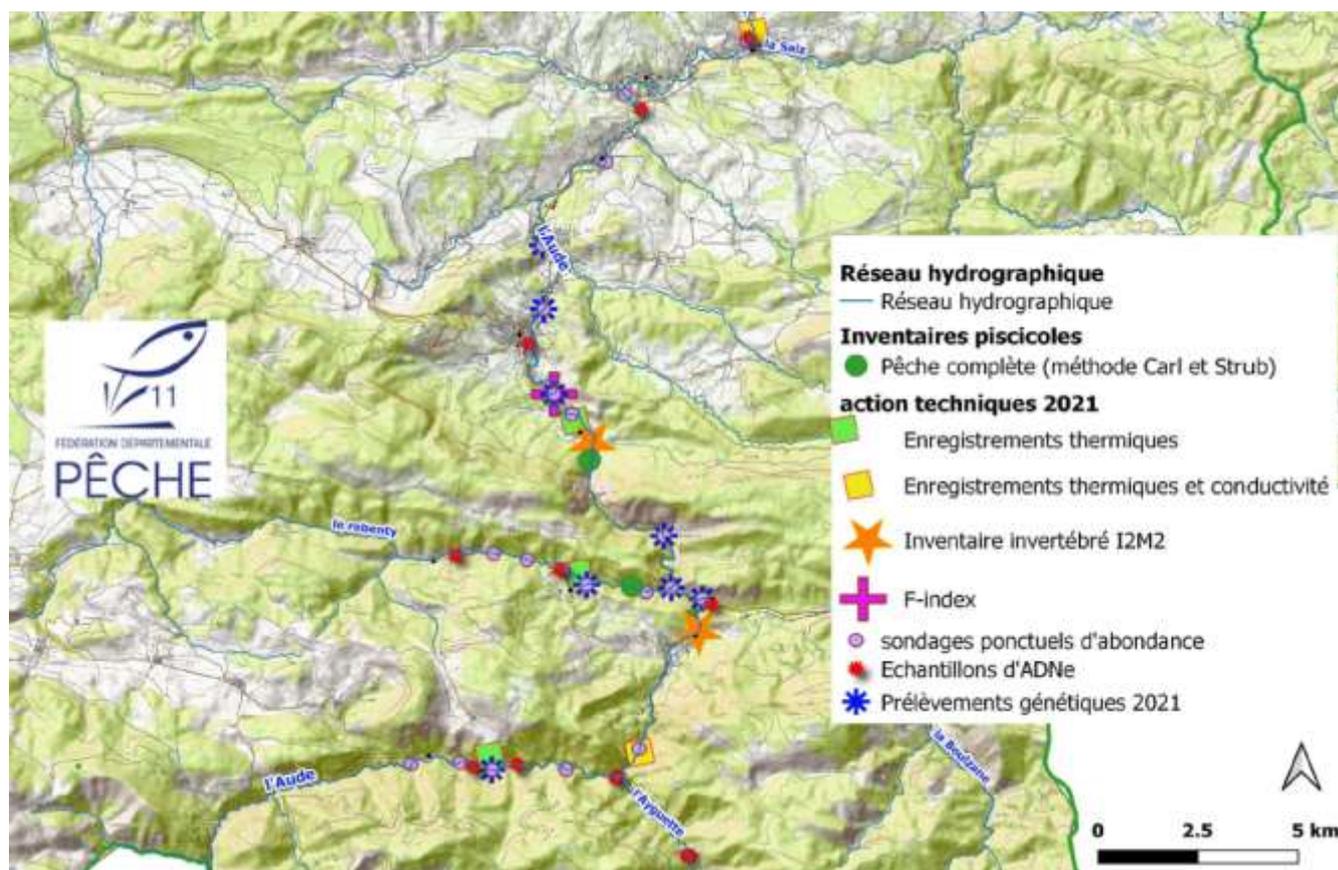
Station	Date	Cours d'eau	Manipulatrice/Manipulateur Fédération Aude Claire
Amont prise d'eau Marsa RCS	26/01/2022	Rébenty	Aurélie-Boris
Pont de la carrière Sainte Colombe	02/02/2022	Aiguette	Aurélie-Thomas
Amont station RCS	09/02/2022	Aude	Alexandre-Thomas
Amont prise d'eau Saint- Georges	10/02/2022	Aude	Alexandre -Thomas
Amont confluence Aude/Aiguette	17/02/2022	Aiguette	Aurélie-Thomas
Amont confluence Aude/Crémade	17/02/2022	Crémade	Aurélie-Thomas
Amont seuil naturel	18/02/2022	Rébenty	Aurélie-Thomas
Amont confluence Aude/Le Coulent	24/02/2022	Le Coulent	Cécile-Thomas
Amont confluence Aude/Salz	24/02/2022	Aude	Cécile-Thomas
Amont centrale Maureille	25/02/2022	Aude	Cécile-Thomas

6.4.1 Sites d'échantillonnages pour l'ADNe

Les sites d'échantillonnages ont été choisis par la Fédération de pêche de l'Aude. Cinq cours d'eau ont été échantillonnés.

L'Aiguette, affluent de l'Aude, a été échantillonnée à l'amont et à l'aval des stations de pêches électriques. Sur le Rébenty, un point a été réalisé à l'amont des stations de pêches électriques et un second point sur la station de Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) du Moulin de Cailla. Deux affluents de l'Aude ont été prélevés, le ruisseau de la Crémade et le ruisseau le Coulent. Pour l'Aude, des points de prélèvements ont été répartis tout au long de la zone d'étude, à l'aval et à l'amont des zones de pêches électriques, sur une station RCS, à l'amont de seuils naturels ou artificiels.

La carte ci-dessous réalisée par la Fédération de Pêche de l'Aude permet de visualiser les points d'ADNe par rapport aux autres opérations techniques. Les points d'échantillonnage pour l'ADNe sont représentés par un point rouge.



Carte des opérations techniques pour le Chabot commun. ©Fédération de Pêche de l'Aude

6.3.2 Résultats et conclusions

Pour chaque capsule, une liste des espèces de poissons trouvées a été faite et résumée dans le tableau récapitulatif présenté en annexe. Concernant le Chabot, une analyse plus poussée a été opérée afin de déterminer l'origine du Chabot, *Cottus gobio* ou autre *Cottus*. Dans le tableau, il est noté également le nombre de séquences. Plus le chiffre est important, plus une présence importante du Chabot dans la zone est avérée. Pour les sites où le nombre de séquences est faible, l'identification de l'espèce doit être prise avec plus de précaution.

Les données du tableau permettent de pointer la présence de *C. gobio* par rapport aux différents sites de prélèvements de l'ADNe. Pour les sites sur l'Aiguette à l'amont de la confluence avec l'Aude et l'Aude en aval du barrage de Saint Georges (RCS), les résultats associés aux deux capsules de prélèvements ne permettent pas de pouvoir identifier précisément l'espèce de Chabot.

La carte ci-après localise les différents points d'ADNe ainsi que la présence et l'absence de l'espèce. Les étoiles vertes indiquent que de l'ADN de *C. gobio* ou *Cottus* sp. a été trouvé dans au moins une des deux capsules de prélèvements. En revanche, les étoiles rouges indiquent l'absence de l'espèce pour les deux capsules de prélèvements.

Carte des points de prélèvements de l'ADN environnement avec présence/absence du *Cottus gobio*. ©Fédération Aude Claire



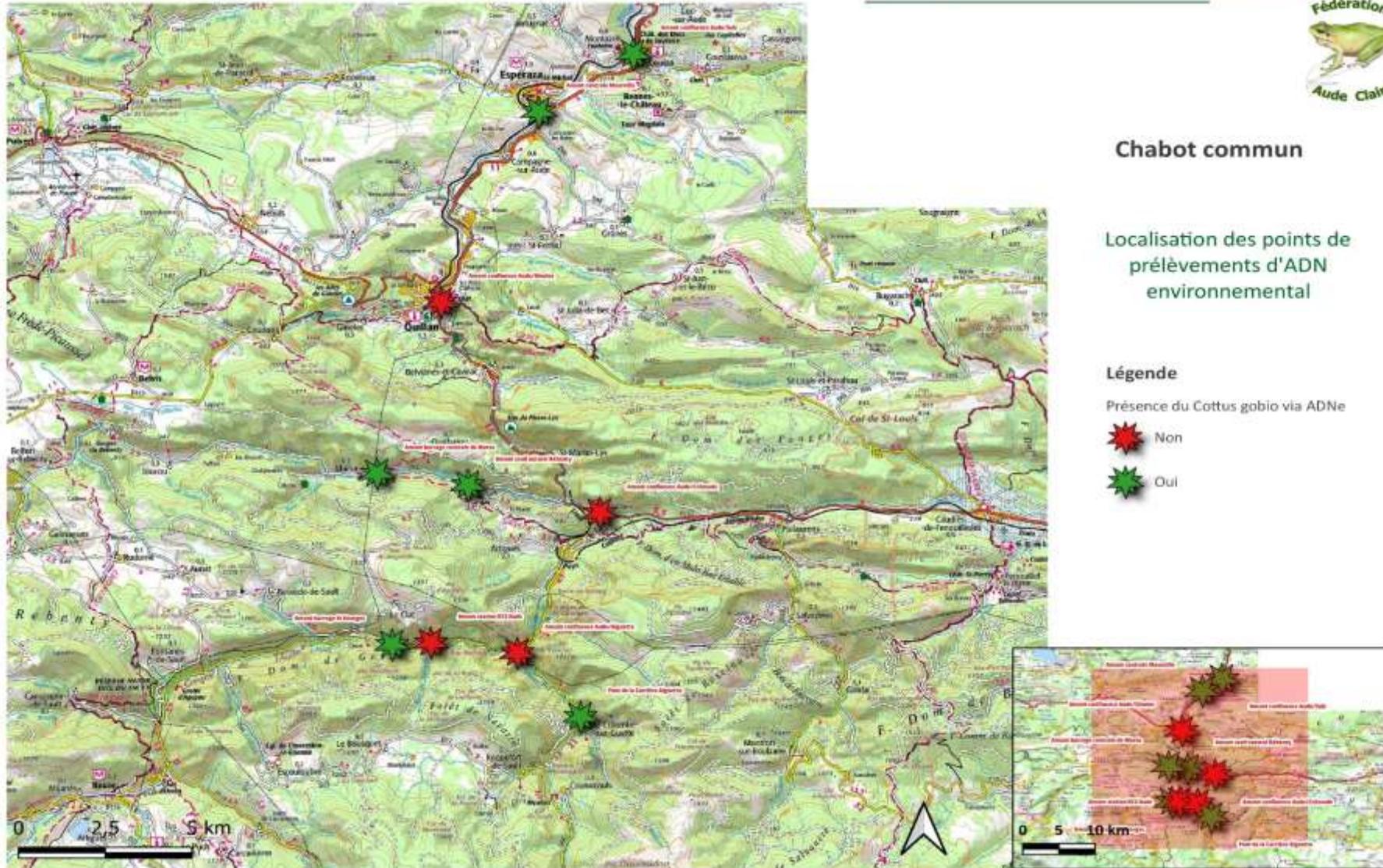
Chabot commun

Localisation des points de
prélèvements d'ADN
environnemental

Légende

Présence du *Cottus gobio* via ADNe

- Non
- Oui



Réalisation Fédération Aude Claire - Aurélie BodoÉdition du 2 / 11 / 2022Source BD Ortho

Source IGN

Grâce aux résultats de l'ADN environnemental, la présence du poisson est confirmée sur le cours d'eau de l'Aude. Le nombre important de séquences (143 274) au point de prélèvement réalisé à l'amont de la confluence avec la Salz indique une forte présence de l'espèce. Pour les autres points, bien que le nombre de séquences soit faible et qu'il faille prendre ces résultats avec précaution, la présence de l'espèce est avérée. Les points de pêches électriques positives au Chabot et les points d'ADNe positifs au Chabot coïncident. *C. gobio* est donc installé dans le fleuve Aude malgré les seuils artificiels qui le jalonnent.

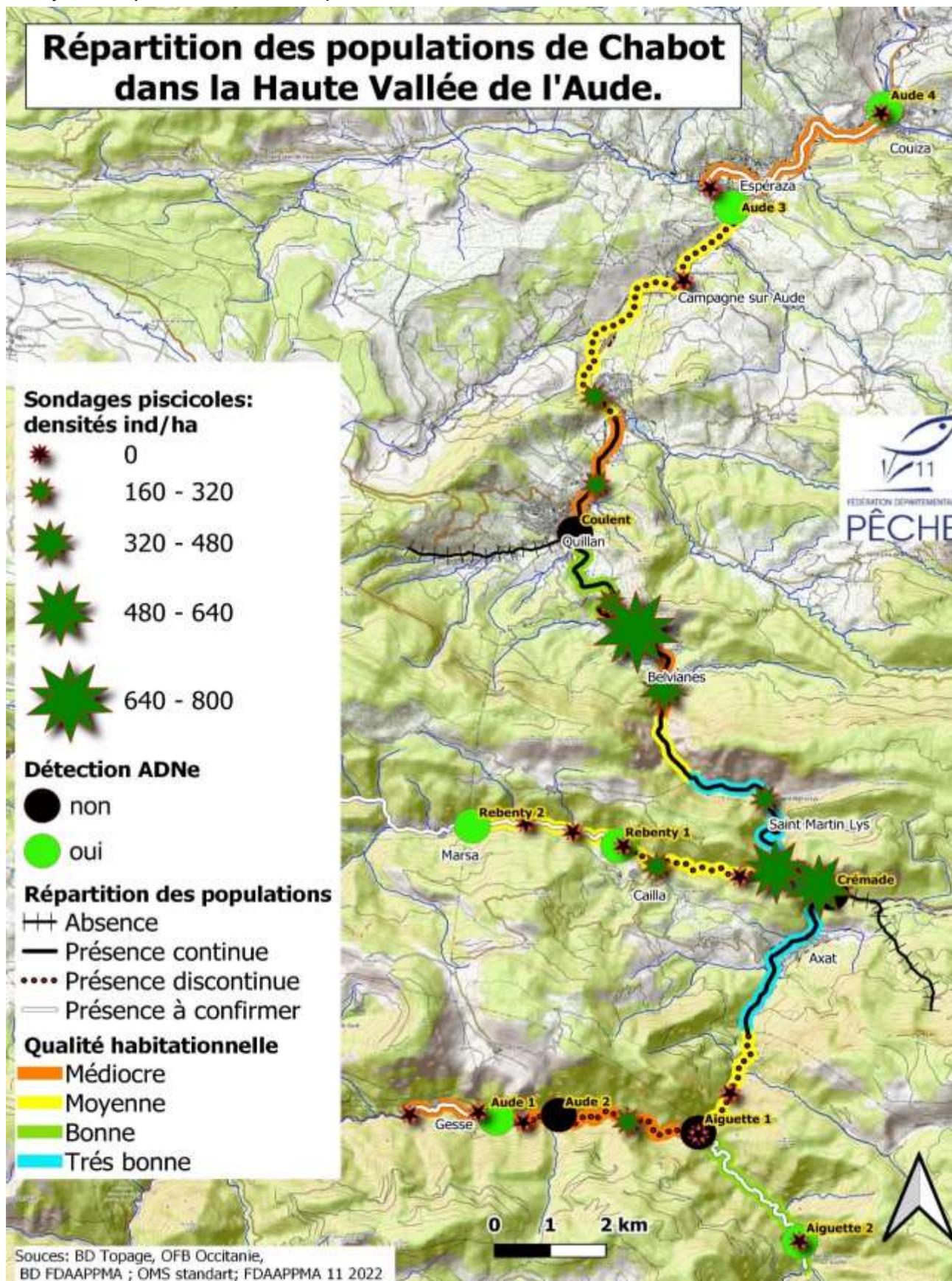
Sur le Rébenty, les deux points d'ADNe ont été réalisés à l'amont de deux seuils, le premier naturel, le second anthropique. Les deux sont positifs au Chabot. La prise d'eau de Marsa est un véritable point noir infranchissable à la montaison pour cette espèce, bien que la passe à poissons ait été refaite. Le seuil naturel, plus à l'aval, est une cascade naturelle. Il est peut-être possible que des individus arrivent à la franchir en montaison. Il serait intéressant de pousser les analyses plus loin (F-Index) sur ces deux zones de présence du Chabot.

La présence de l'espèce sur l'Aiguette est détectée sur une partie assez éloignée de la confluence avec l'Aude, à un peu plus de 3km. Plusieurs seuils naturels sont disséminés sur le cours d'eau jusqu'à sa confluence avec l'Aude. Le Chabot ne peut donc pas coloniser l'Aiguette depuis l'Aude jusqu'au point de prélèvement de l'ADNe. Le faible nombre de séquences semble montrer qu'il y a peu d'individus. Trois espèces suspectes ont été détectées sur les deux capsules de l'Aiguette, le saumon atlantique, la morue et le maquereau. Selon Johan Michaux, directeur du laboratoire de génétique de la conservation de l'Université de Liège, il est fréquent de retrouver ces ADN dans les cours d'eau. Cela provient d'une contamination anthropique via les eaux usées. La station d'épuration de la commune de Sainte Colombe sur Guette n'étant pas loin, l'origine de ces ADN semble trouvée.

Sur les deux affluents secondaires Coulent et Rau de Crémade, les résultats sont négatifs concernant le Chabot. Outre quelques artéfacts probablement dus aux rejets de stations d'épurations (*Scomber scombrus* : Maquereaux Commun *Gadus* sp (Morue) et *Samo salar*), la composition spécifique détectée indique la présence de nombreuses espèces thermophiles : Carrassins sp, Carpes sp, Barbeau méridional, Spirilin. Cet élément est révélateur de conditions environnementales, notamment thermiques, peu favorables au maintien du Chabot.

6. 4 Synthèse :

L'ensemble des investigations menées sur le périmètre d'étude a contribué à affiner les contours de l'aire de répartition du Chabot sur le bassin de l'Aude ainsi que sur la distribution des sous populations. Une synthèse par cours d'eau est présentée ci-dessous :



- **L'Aiguette :**

De par la qualité de ces habitats et sa connexion directe avec l'Aude, la présence d'une population de Chabot est suspectée dans l'Aiguette. Les échantillonnages piscicoles réalisés dans ce cours d'eau n'ont pas permis la détection du Chabot. Néanmoins, bien qu'en faible quantité, la détection d'ADN au niveau du pont de la carrière pourrait indiquer la présence de l'espèce sur cet axe sur un linéaire assez important (Sainte Colombe sur Guette ?).

Selon les précautions d'usage, la population potentiellement présente sur ce cours d'eau ne présenterait que de faibles densités.

- **L'Aude :**

Les résultats de cette étude mettent en évidence une population de Chabot globalement de faible à très faible abondance et potentiellement fragmentée en plusieurs pools en dépit d'une bonne qualité de l'eau et des conditions habitationnelles à priori plutôt favorables sur le périmètre d'étude.

L'aire de répartition de l'espèce se caractérise par une zone centrale de présence continue de l'espèce sur les faciès lotiques peu colmatés qui s'étend de la sortie des Gorges de Saint Georges à la confluence du Saint Bertrand / barrage de Charla. Sur ce tronçon, les caractéristiques morphologiques et les moyennes thermiques journalières de l'Aude paraissent tout à fait compatibles avec les exigences du Chabot. Néanmoins, plusieurs contraintes majeures d'origines anthropiques contribuent à limiter le développement de l'espèce :

- Le régime hydraulique d'éclusés induisant des impacts directs physiques sur les populations par exondation de frayère, piégeage d'individus, dérive forcée et des modifications profondes des conditions habitationnelles des milieux. De plus, des effets délétères indirects sont associés aux stress physiologiques chroniques liés à la répétition des événements (reflexe de fuite, fortes variations thermiques infrahoraires) engendrant une perturbation au niveau des stades critiques et des cycles vitaux de l'espèce.
- La présence de nombreux obstacles à l'écoulement qui contribue à cloisonner les populations et dégrade localement la qualité habitationnelle par accumulation de sédiments et colmatage dans la zone de remous hydrauliques (section comprise entre Quillan et Pierre Lys).
- Le déficit sédimentaire chronique responsable de la raréfaction / disparition des classes granulométriques favorables au Chabot et des affleurements de roches mères notamment dans la partie basse du tronçon.

Au sein de cet épicerie populationnel, il est possible de distinguer l'entité singulière correspondant aux Gorges de Pierre Lys, dont l'étranglement hydraulique favorise une accélération des vitesses d'écoulements. Pour des raisons de sécurité, ce tronçon n'a pas fait l'objet de sondage. Cependant, les conditions environnementales semblent proches de celles rencontrées à hauteur des Gorges de Saint Georges. Dès lors, il paraît vraisemblable que les populations de Chabot y soient marginales et / ou transitoires en association avec des phénomènes de dérives forcées. En périphérie de cette zone centrale, l'occupation du cours d'eau par le Chabot semble plus discontinue. De cette façon, il faut différencier les limites avals des limites amonts de l'aire.

Concernant la partie aval, l'analyse des données historiques complétées par les sondages tend à montrer une présence intermittente ou selon des densités extrêmement faibles de Chabots entre le seuil de la Maureille (Espérasa) et le seuil de Charla (Quillan). Ainsi, la pêche complète réalisée à Campagne sur Aude le 10/10/2019 (capture de 12 individus adultes) correspond au point de contact

le plus bas de l'espèce. En 2021, la capture d'un seul individu de grande taille en aval de la centrale de Charla lors des sondages (espèce non contactée lors de l'EPA de 2016 sur cette même station) conforte cette hypothèse. Il reste notable que l'échantillonnage d'ADNe sur ce tronçon n'a permis la détection que d'un nombre limité de séquences attribuables au Chabot.

En dessous du seuil de la Maureille nulle mention du Chabot n'apparaît sur les données historiques, ni même lors des sondages sur des faciès potentiellement attractifs. Cependant, les prélèvements réalisés en amont immédiat de la confluence avec la Salz révèlent plus de 140 000 séquences génétiques de Chabots. Ainsi, ceci confirmerait une présence importante de l'espèce dans cette zone.

Les enregistrements thermiques réalisés à hauteur de Couiza (en aval de la confluence avec la Salz) confèrent à l'Aude un régime thermique et une instabilité physico-chimique peu favorables au maintien de l'espèce sur ce secteur. Il s'agit vraisemblablement ici de la limite inférieure de l'aire de répartition du Chabot sur le fleuve Aude.

Par ailleurs, l'étude des inventaires piscicoles réalisés sur les secteurs de Campagne sur Aude et d'Espérazza témoignent de l'apparition d'espèces plus thermotolérantes. Sur cette partie du périmètre d'étude, les apports thermiques conjugués des affluents et résurgences (Saint Bertrand, Granès, Brézilhau, Faby et Salz) associés au réchauffement induit par les lâchers d'eau de Nentilla semblent déterminants vis-à-vis du dépassement des seuils de viabilité du Chabot. Les individus observés sur ce tronçon seraient le fait de dévalaisons forcées des larves suite à des crues ou éclusées. Ainsi, certains individus se retrouveraient « coincés » en aval de seuils infranchissables dans des zones peu propices au développement d'une population équilibrée et viable.

La zone périphérique amont apparaît comme déconnectée de l'aire de répartition principale du fait des contraintes hydrauliques présentes dans les Gorges de Saint Georges. Celles-ci résultent de la combinaison entre une configuration naturelle (étranglement hydraulique) et l'influence anthropique (fonctionnement par éclusées) et contribuent à son inhabitabilité vis-à-vis du Chabot (confirmée par sondage et inventaires piscicoles en 2021).

La population présente en amont de la confluence avec l'Aiguette se caractérise par une abondance très faible et une occupation discontinue du cours d'eau jusqu'au seuil de Saint Georges. Cependant, les conditions habitationnelles de ce tronçon court-circuité ne sont vraisemblablement pas optimales pour le Chabot en lien avec un important colmatage du substrat grossier par les sables. À ce titre, l'examen de l'importante chronique d'inventaires piscicoles (26 années) sur ce secteur montre une chute drastique des densités populationnelles à la suite des opérations de vidange du lac de barrage de Puyvalador (Juin- Septembre 1995). Il est ainsi envisageable que les sables libérés à l'occasion de cette maintenance (massif cristallin) soit l'élément instigateur de la dégradation de la qualité habitationnelle de ce tronçon. En tout état de cause, la limite de colonisation amont du Chabot sur l'Aude n'est aujourd'hui pas clairement définie.

En effet, les captures de Chabots par pêche électrique se limitent au secteur aval du barrage de Saint Georges en dépit de conditions environnementales identiques au-dessus de celui-ci. Les prélèvements d'ADNe mettent en évidence des résultats contradictoires avec une non détection d'ADN de Chabot en aval du seuil et une détection (très faibles quantités) en amont du seuil. Ceci pourrait suggérer qu'une petite population pourrait subsister sur ce tronçon. Néanmoins, il semblerait que ces sous populations isolées de l'aire principale de répartition constituent une communauté piscicole relictuelle potentiellement très vulnérable.

- **Le Rebenty :**

Si la présence de Chabot sur le Rebenty était jusqu'à ce jour avérée et globalement bien bornée, les résultats de l'étude fournissent de nombreuses précisions qualitatives vis-à-vis de celle-ci.

Dans un premier temps, l'analyse du compartiment physique du cours d'eau notamment en période d'étiage met en évidence quelques altérations de la qualité habitationnelle. Cela se traduit par un léger colmatage du substrat et un régime thermique estival situé en limite supérieure de l'optimum vital du Chabot. La tendance à la faible hydrologie d'étiage a certainement un lien étroit avec ce dernier constat. Le rôle de régulateur thermique que peuvent localement avoir les résurgences karstiques semble primordial pour l'espèce.

En complément des informations fournies par la station RCS du Moulin de Cailla, la réalisation de sondages démontre la nature discontinue de son occupation du cours d'eau et sa faible abondance. Les prélèvements visant recherche d'ADN apportent toutefois des éléments nouveaux du fait d'une potentielle extension vers l'amont du tronçon colonisé. En effet, toujours selon des séquençages plutôt faibles, l'ADN du Chabot est détecté sur les deux stations de prélèvements du Rebenty.

Sous réserve de confirmation, la limite de l'aire du Chabot pourrait s'étendre vers l'amont au-dessus du barrage de la centrale de Marsa.

7 Détermination et étude sur des habitats de référence :

7.1 Détermination des stations d'études :

Le découpage en tronçons homogènes du périmètre d'étude ne permet pas d'identifier d'optimum habitationnel sur cette échelle de grandeur. Cependant, les investigations réalisées dans le cadre de cette étude ont mis en perspective les caractéristiques physiques générales de chaque section, identifié les points forts et les pressions, et enfin qualifié les abondances des populations de Chabots sur son aire de répartition.

Sur l'axe de l'Aude, le principal pool de population a été identifié sur le tronçon s'étirant d'Axat à Quillan. Ce périmètre intègre déjà une station RCS d'Etat à hauteur du pont de chemin de fer d'Axat. Cependant, les informations se font particulièrement lacunaires en aval des Gorges de Pierre Lys jusqu'au barrage de Marides à Quillan. Les sondages piscicoles ont indiqué que les densités les plus fortes de Chabots se situent au niveau de la commune de Belvianes et Cavirac. Outre le manque de connaissance, cette zone présente un intérêt particulier du fait de son positionnement stratégique vis-à-vis de la principale résurgence de la haute vallée de l'Aude : la source de Fontmaur. En effet, avec des débits de pointes pouvant aller jusqu'à 15 m³/s, le potentiel effet tampon de cette singularité vis-à-vis des variabilités thermiques et physico-chimiques est potentiellement important.

Sur le bas Rebenty, il est possible d'identifier la station RCS du Moulin de Cailla située sur la partie supérieure de l'aire de répartition du Chabot en aval de la « résurgence de Cailla ». Le Chabot semble occuper le cours d'eau de manière très hétérogène en lien probable avec son trait biologique cryophile et la tendance au réchauffement mesurée sur le Rebenty. Dans ce cas aussi, la présence de sources aux vertus potentiellement climatisantes paraît essentielle au maintien de l'espèce.

Ainsi, le site sélectionné dans le cadre de la présente étude se localise au droit d'une résurgence permanente de faible débit au lieudit le Bac. L'inventaire piscicole réalisé par l'OFB en 1986 à proximité de ce secteur avait par ailleurs permis la capture d'une densité élevée de Chabots pour le secteur (667 ind. / Ha).

7.2.1 Inventaire piscicole par pêche complète à plusieurs passages successifs

7.2.2.1 Caractéristiques de l'opération et méthodologie d'échantillonnage :

<u>Caractéristiques de l'effort de pêche mis en œuvre dans le cadre du suivi</u>	
Date de l'opération	17 Septembre 2021 entre 10h et 14h
Matériel utilisé	Deux générateurs de type « Héron » et « aigrette » et un dispositif portatif de type martin pêcheur
Type de prospection	Inventaire complet à 4 anodes
Nombre de passages	3 passages
Nombre d'épuisette	8 opérateurs
Méthode de prospection	À pied
Conditions de Pêche	Débit naturel reconstitué
Cloisonnement station	Néant
Coordonnées Lambert 93	X : 245308.9 ; Y : 5288720.6
<u>Caractéristiques générales de l'opération</u>	
Longueur (m)	180 m
Largeur moyenne (m)	23.41 m
Profondeur moyenne (m)	0.21 m
Altitude	311 m.
Surface prospectée	4213.8 m ²
Dureté / conductivité / Température	56 mg de Calcium /L ; 325 µS/cm ; 17.3° C
Gammes de débits mesurés au moment de l'inventaire	2.93 / 3.54 m ³ / s

Illustration photographique de la réalisation de l'inventaire piscicole par pêche à l'électricité et du traitement biométrique des poissons capturés.



7.2.2.2 Caractéristiques morpho dynamiques :

Définition des faciès d'écoulements	Granulométrie principale	Colmatage du substrat
COURANT (43%)	Cailloux grossier (Ø 3.2 / 6.4 cm)	Graviers (Ø 0,2-1,6 cm)
PLAT (50%)	Cailloux grossier (Ø 3.2 / 6.4 cm)	Graviers (Ø 0,2-1,6 cm)
PROFOND (7%)	Bloc (Ø 25.6 à 102.4 mm)	Cailloux grossier (Ø 3.2 / 6.4 cm)
Habitat principal	Granulométrie /	
Habitat secondaire	Sous berges et systèmes racinaires	
Colmatage	Sables et dépôts incrustants	
Végétation aquatique	Bryophytes (recouvrement inférieur à 5%)	



Les sections aval et médiane de la station sont dominées par des faciès d'écoulement courants et plat. Sur la largeur du cours d'eau le substrat préférentiellement grossier constitue l'essentiel des opportunités habitationnelles. Un colmatage partiel des fractions granulométriques génératrices d'interstices et exploitables pour la faune piscicole, dont le Chabot, reste à noter. Les sous berges et chevelus racinaires présents sur deux rives de l'Aude contribuent de façon secondaire la capacité d'accueil totale de la station.

En période de basses eaux, un atterrissement central induit la présence d'un bras secondaire en rive gauche présentant des écoulements plus lenthiques.

La partie amont de la station est caractérisée par des faciès d'écoulements plus profonds accompagnés d'une fraction granulométrique plus grossière mais moins colmatée.

D'une manière générale, la végétation rivulaire ne participe que peu à la qualité habitationnelle de la section échantillonnée. En effet, ces habitats de berge, plus attractif que la granulométrie pour les gros individus, ne sont peu ou pas exploitable en raison de son en période de basses eaux du fait de leur exondation.

En lien avec les importantes hauteurs d'eau rencontrées au niveau et en aval immédiat de la résurgence de Font Maures, la station de pêche complète a dû être décalée d'environ 200 mètres par rapport à la source.

7.2.2.3 Composition spécifique :

Surface : 4213.8 m²		Estimation de peuplement (Méthode Carle & Strub) ; station « Aude à Belvianes » ; Opération du 17/09/2021										
Espèces		P1	P2	P3	PT	Efficacité	Effectif estimé	Intervalle de confiance	Densité Hectare	% de l'effectif	Biomasse Kg/Hectare	% du poids
Barbeau méridional	BAM	1	1	0	2	50	2	+/- 0	5	«	«	«
Chabot	CHA	120	89	42	251	37	322	+/- 47	764	12	4	41
Ombre commun	OBR	394	194	151	739	42	935	+/- 77	2219	36	77	7
Truite de rivière	TRF	512	249	142	903	49	1046	+/- 52	2482	44	54	20
Vairon	VAI	70	63	38	171	-	171	-	406	8	1	22
TOTAL - Nb Esp : 5		1097	596	373	2066				5876		137	

Les densités estimées sont calculées par espèce selon la méthode de Carl et Strub lorsque la réduction d'effectif capturé entre les deux passages est suffisante. Dans ce cas, la faible efficacité de capture du Chabot entre le premier et le second passage a nécessité la réalisation d'un troisième.

Qualification de l'Abondance d'une espèce (Verneau 1973 ; CSP 1995) : 0 : Absence ; 0.1 marginale ; 1 : très faible ; 2 : faible ; 3 : Moyenne ; 4 : forte ; 5 : très forte.

Espèce	Classe de densité	Classe de biomasse	Abondance globale de l'espèce
Barbeau méridional	0.1	0.1	Marginale
Chabot	2	3	Faible
Ombre commun	5	5	Très Forte
Truite de rivière	4	3	Moyenne
Vairon	1	1	Très Faible

Le tableau page suivante, présente la liste des 5 espèces de poissons capturées sur la station de l'Aude à Belvianes et Cavirac associées à leurs principales caractéristiques en termes d'autoécologie, leur caractère endémique ainsi que leurs statuts au titre de la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) au niveau national.

Éléments d'autoécologie des espèces capturées le 17/09/2021 dans l'Aude à Belvianes et Cavirac.

Nom commun	Espèce	Éléments d'autoécologie	Endémisme	Liste rouge		Statut de protection	Directive Habitat
				Monde	France		
Barbeau Méridional	<i>Barbus Meridionalis</i>	Espèce rhéophile et lithophile	×	NT	NT	PN1, PN2, BE3	Annexes II et IV
Chabot	<i>Cottus Gobio</i>	Espèce rhéophile, lithophile, invertivore et cryophile.	×	LC	LC	PN2	Annexe II
Ombre Commun	<i>Thymallus Thymallus</i>	Espèce rhéophile, lithophile et invertivore.		LC	VU	PN1, PN2, BE3	Annexe V
Truite fario	<i>Salmo Trutta fario</i>	Espèce rhéophile, lithophile, invertivore et cryophile.	×			PN1, PN2	
Vairon	<i>Phoxinus Septimanie</i>	Espèce lithophile et omnivore	×	LC	LC		

PN 1 : Protection nationale. Arr. de 8 déc.1988 fixant la liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national.

PN 2 : Protection nationale. Arr. de 23 Avril 2008 fixant la liste des espèces de poissons et de crustacés et la granulométrie caractéristique des frayères en application de l'article R. 432-1 du code de l'environnement

BE2 - BE3: espèce protégée au titre de la convention de Berne relative à la vie sauvage et au milieu naturel de l'Europe, annexe II et III

DH : Directive Habitat, annexes II & IV (NATURA 2000 : espèces d'intérêt communautaire) - **DH2** : Espèces d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation -

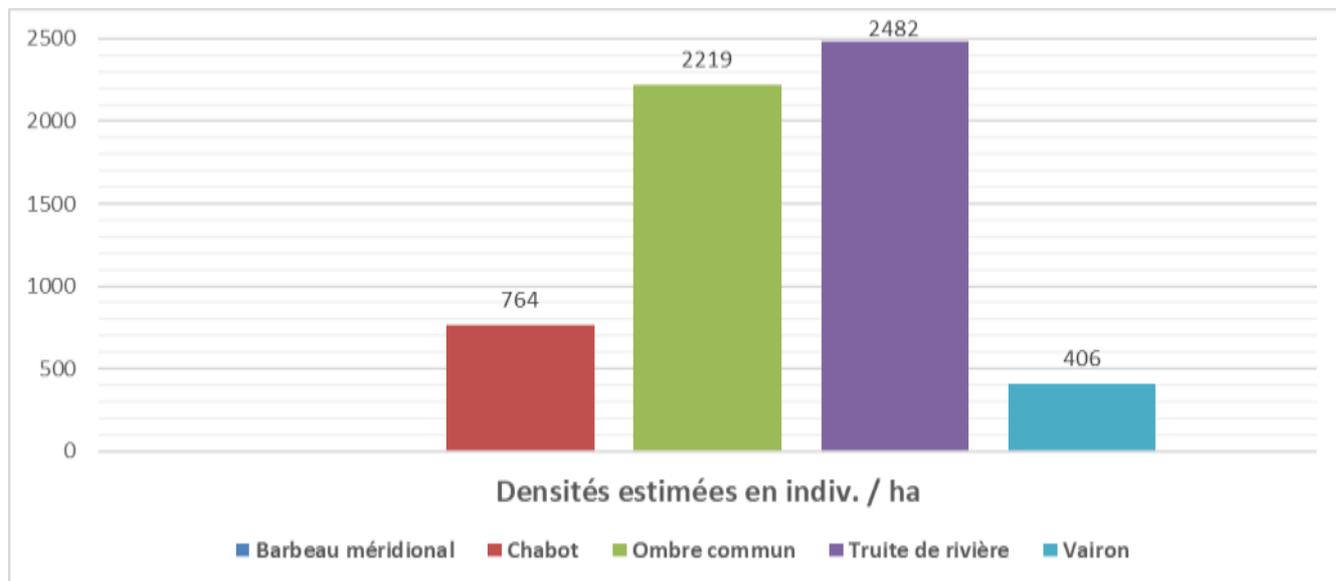
Liste rouge des espèces menacées de France métropolitaine (2019) - Statut U.I.C.N. : Six niveaux de menaces ont été déterminés : L.C. : préoccupation mineure ; N.T. : quasi menacé ; VU : vulnérable ; EN : en danger, CR : en Danger Critique d'Extinction ; DD : données Insuffisantes, NA : non applicable

La figure suivante illustre par des photos d'individus capturés sur la station, les espèces de poissons jugées remarquables au titre de leurs statuts de conservation et d'endémisme.



7.2.2.4 Densités estimés et classes de taille :

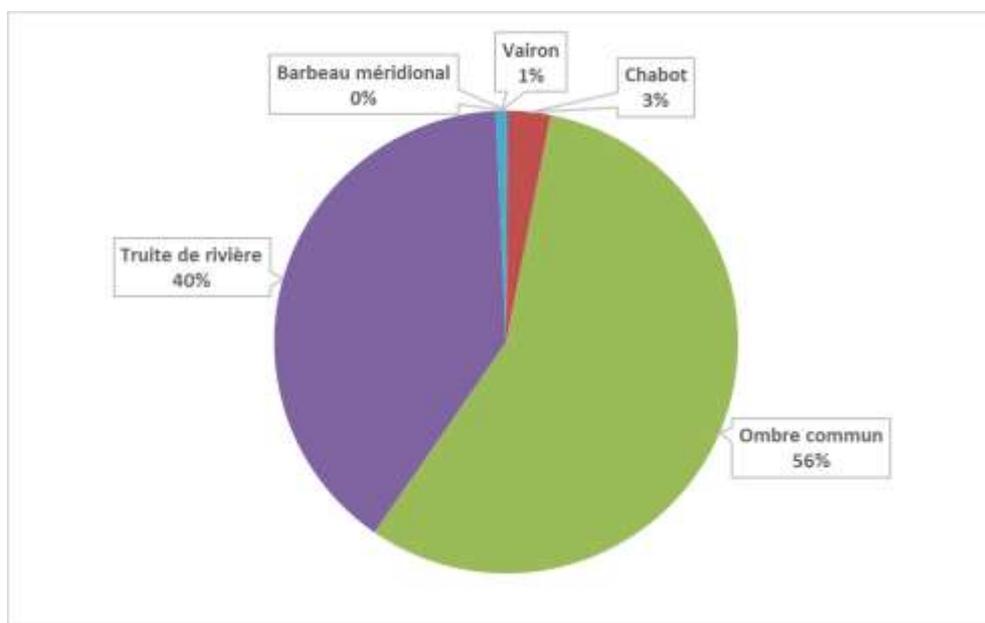
- **Analyse des densités numériques estimées (Méthode Carle & Strub) :**



La station de l'Aude à Belvianes est largement dominée par les salmonidés. Ainsi, les densités d'Ombres Communs et de Truites fario concentrent 80% des densités totales. Avec 764 individus par Ha, le Chabot ne représente que 13% des densités totales. Il reste aussi notable que les densités de Barbeaux Méridionaux en limite supérieure d'aire de répartition demeurent extrêmement basses (5 indiv. / Ha).

- **Répartition de la biomasse par espèces**

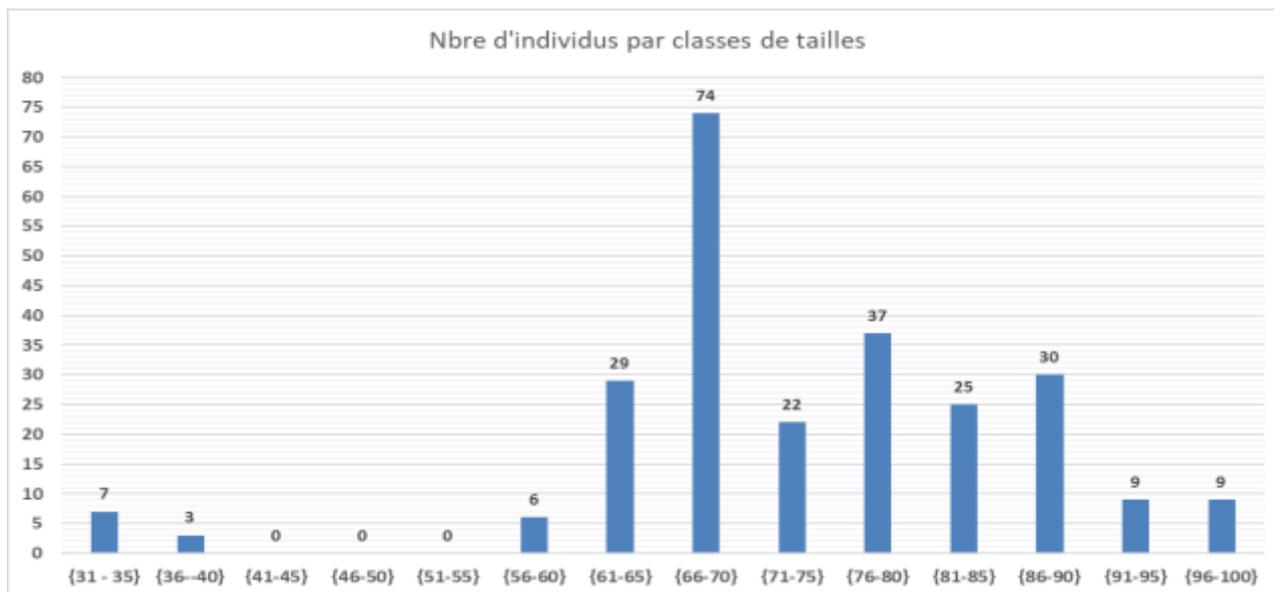
La biomasse spécifique représente la masse de l'ensemble des individus d'une espèce (en Kg) par unité de surface (hectare). Cet élément d'analyse s'avère plus pertinent que les seules densités d'individus pour la mise en évidence des espèces dominantes au sein d'un peuplement piscicole. Cet indicateur permet ainsi **de déterminer les espèces qui tirent le plus profit de la productivité globale du milieu**



L'analyse du graphique par secteurs du peuplement piscicole de l'Aude à Belvianes et Cavirac confirme le précédent constat. Cependant, il reste notable que la Truite Fario supérieure numériquement soit dépassée par l'Ombre Commun en termes de Biomasse. Ceci est notamment dû à la présence significative de gros individus d'Ombre Commun contrairement à la Truite Fario dont la population est nettement dominée par les alevins de l'année.

Les proportions de biomasses en Chabot s'avère tout à fait marginales à l'image des deux autres espèces d'accompagnement (Barbeau Méridional et Vairon).

- **Analyse de la structure des populations de Chabots :**



La répartition des classes de tailles met en évidence la présence de plusieurs cohortes. La distinction précise des classes d'âge est néanmoins difficile (aucune étude de croissance n'existe sur le chabot de l'Aude). La bibliographie spécifique et les données piscicoles de la FDAAPPMA 11 peuvent cependant donner quelques indications sur le découpage potentiel des classes d'âges : (Maitland et Campbell, 1992 ; Mills et Mann 1983 ; Aquascope, 2017)

- Alevins : tailles inférieures à 50 mm
- Juvéniles et subadultes 50 à 70 mm
- Adultes à partir de 70 mm

Il est ainsi possible de constater que la population échantillonnée ne présente que peu d'alevins de l'année avec un « vide » sur les classes situées entre 40 et 60 mm. Les classes dominantes semblent être celles des subadultes potentiellement issus de la reproduction 2020 (43 % des effectifs) et des adultes (52 %).

Habituellement, les effectifs des jeunes cohortes sont plus élevés que ceux des cohortes plus anciennes (mortalité, déplacement, ...). Les résultats inverses observés dans le cas du chabot peuvent s'expliquer par le fait que les jeunes individus réagissent moins à l'effet du courant électrique et qu'ils sont plus difficilement visibles par les opérateurs.

7.2.2.5 Évaluation du peuplement piscicole

L'utilisation de modèles statistiques constitue un outil important d'aide au diagnostic. Cette étude est basée sur un examen critique des potentielles déviations décelées entre les communautés piscicoles observées sur la station et celles théoriques calées à partir de cours d'eau non perturbés.

- **La biotypologie de Verneaux**

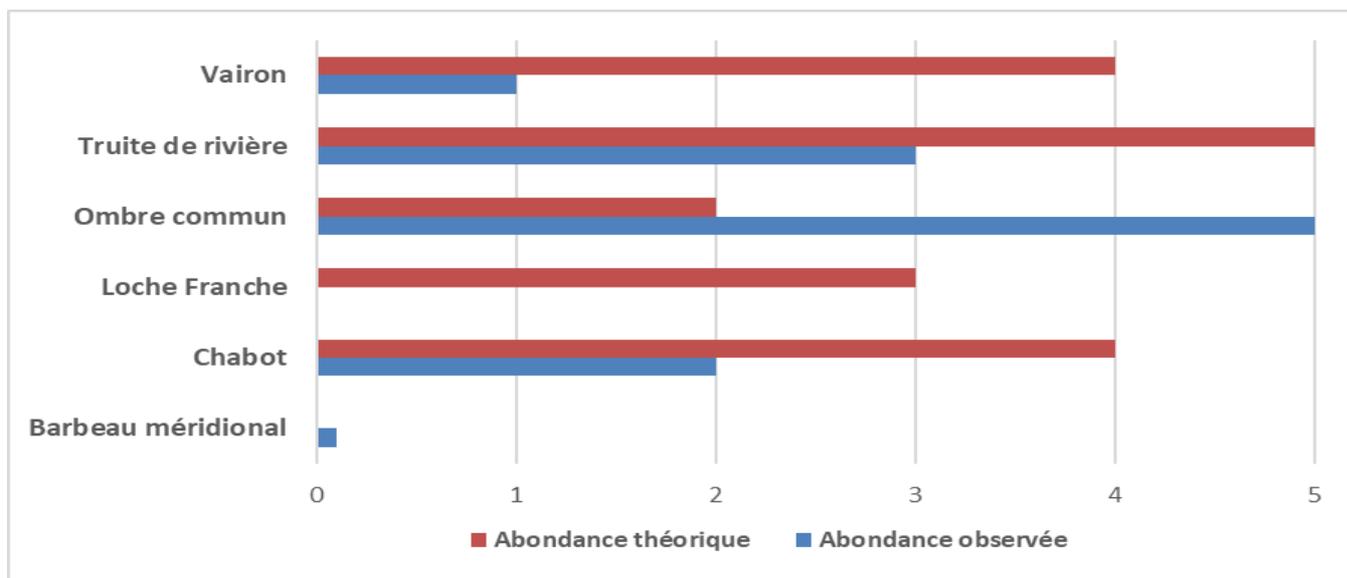
Cette biotypologie prend en compte différentes caractéristiques physiques (T°C (eau) des 30 jours les plus chauds, largeur lit mineur, section mouillée, pente, distance à la source) et chimiques (dureté) de la rivière permettant d'estimer l'abondance globale théorique de certaines communautés d'espèces en fonction de leurs besoins biologiques dans un milieu exempt de pressions.

Température maximale (°C)	16.0
Distance aux sources (km)	64.71
Dureté de l'eau (mg.l-1)	56.0
Section mouillée (m²)	4.68
Pente (‰)	5.3
Largeur du lit (m)	29.5
T1	4.46
T2	5.70041379
T3	-0.0873321
NTT	3.69529111

Le niveau typologique théorique (NTT) calculé pour la station est de 3.69, soit la zone B4- (équivalent de la zone à Truite sur la zonation de Huet). Selon des classes abondances appréciables (≥ 1), le nombre d'espèces théoriques serait de 6.

	B0-B1	Zone à Truite						
		B2		B3		B4		
NTT	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	
CHA	2	3	4	5	5	4	3	■ espèce centrale abondance optimale
TRF	1	2	3	3	4	5	5	■ espèce centrale abondance optimale
LPP		0.1	1	2	3	3	4	■ espèce intermédiaire abondance moyenne
VAI			0.1	1	3	4	5	■ espèce marginale abondance faible
LOF				1	2	3	4	
OBR				0.1	1	2	3	
CHE						0.1	1	
GOU						0.1	1	

Les spécificités de la haute vallée de l'Aude induisent que certaines des espèces modélisées ne soient naturellement pas présentes sur le bassin versant (Lamproie de Planer) ou aient été introduites (Ombre commun).



D'une façon générale, même si le cortège piscicole semble plutôt bien apprécié, les écarts d'abondances entre le peuplement théorique et celui observé sont importants.

Dans le détail les discordances portent sur un bilan déficitaire pour la Truite fario (théoriquement en zone optimale), le Vairon et le Chabot. L'Ombre Commun fait figure d'exception avec une importante surabondance.

Finalement, un glissement typologique est mis en évidence sur la station de l'Aude à Belvianes et Cavirac avec des abondances spécifiques qui s'apparenteraient plus à une zone à Barbeau (B5+) en termes d'abondance spécifique.

• **Détails des résultats de l'Indice Poisson Rivière (IPR) :**

<i>Effectifs capturés et présence théorique des espèces (prise en compte par le modèle présidant au calcul de l'IPR)</i>			
Nom commune	Code	Effectif capturé	Probabilité de présence théorique
Ablette	ABL	0	0.15
Anguille	ANG	0	0.65
Barbeau fluviatile	BAF	0	0.94
Barbeau méridional	BAM	1	0.53
Blageon	BLN	0	0.44
Bouvière	BOU	0	0.03
Brème	BBB	0	0.11
Brochet	BRO	0	0.06
Carassins	CAS	0	0.01
Carpe commune	CCO	0	0.07
Chabot	CHA	120	0.04
Chevaine	CHE	0	0.95
Epinoche	EPI	0	0.00
Epinochette	EPT	0	0.00
Gardon	GAR	0	0.65
Goujon	GOU	0	0.88
Grémille	GRE	0	0.00
Hotu	HOT	0	0.15
Loche franche	LOF	0	0.39
Lote	LOT	0	0.00
Lamproie de Planer	LPP	0	0.00
Ombre	OBR	394	0.31
Poissons Chat	PCH	0	0.00
Perche	PER	0	0.03
Perche soleil	PES	0	0.22
Rotengle	ROT	0	0.01
Sandre	SAN	0	0.01
Saumon	SAT	0	0.00
Spirin	SPI	0	0.00
Tanche	TAN	0	0.19
Toxostome	TOX	0	0.07
Truite	TRF	512	0.58
Vairon	VAI	70	0.84
Vandoise	VAN	0	0.70

<i>Synthèse des résultats</i>					
Métrique	Abréviation	Valeur théorique	Valeur observée	Probabilité*	Score associé
Nombre d'espèces rhéophiles	NER	3.7	4.0	0.6	1.1
Nombre d'espèces lithophiles	NEL	3.4	5.0	0.9	0.2
Nombre total d'espèce	NTE	9.0	5.0	0.1	4.3
Densité d'individus tolérants	DIT	0.0	0.0	1.0	0.0
Densité d'individus omnivores	DIO	0.0	0.0	1.0	0.0
Densité d'individus invertivores	DII	0.0	0.2	1.0	0.0
Densité totale d'individus	DTI	0.2	0.3	0.6	0.9
Valeur totale de l'I.P.R.					6.6
Classe de qualité / Etat du peuplement					Excellente

Note de FIPR	Classe de qualité
<7	Excellente
]7-16]	Bonne
]16-25]	Médiocre
]25-36]	Mauvaise
>36	Très Mauvaise

Compte tenu des caractéristiques environnementales, le modèle probabiliste associé à l'indice indique qu'en situation de référence :

=> Au niveau de l'occurrence théorique des espèces :

- Une bonne corrélation sur trois taxons à forte probabilité de présence : **Barbeau Méridional, Truite Fario (58%) et Vairon (84%)**.

- Une forte probabilité de présence théorique de six espèces absentes de l'inventaire l'Anguille (65%), Barbeau fluviatile (94%), Chevaine (95%), Gardon (65%), Goujon (88%) et Vandoise (70%).

- Une faible probabilité de présence théorique du **Chabot (4%) et de l'Ombre commun (31%)**

=> Au niveau des métriques basées sur l'abondance des espèces capturées en fonction de leurs traits biologiques (tableau synthèse des résultats), seul le nombre total d'espèce apparaît comme une

métrique pénalisante. Les six autres métriques évaluées pour l'IPR ne présentent que de faibles écarts à la situation de référence.

Finalement, les faibles divergences détectées par le modèle probabiliste sur ses métriques de base se traduisent par une valeur faible de l'IPR (6.6) induisant une **classe de qualité Excellente**.

Analyse critique du résultat de l'IPR :

Il est important de rappeler que les secteurs de sources issues de résurgences sont définis comme entrant dans les limites d'application de l'IPR. Ainsi, les cours d'eau présentant des caractéristiques très spécifiques n'ont pas été pris en compte pour définir les états de référence des modélisations (Beliard et Roset, ONEMA, 2006).

De cette manière, le peuplement piscicole de référence de l'Aude à Belvianes et Cavirac tel que modélisé par l'IPR souffre de plusieurs incohérences :

- La présence naturelle du Chabot dans la haute vallée de l'Aude.
- L'absence tout aussi naturelle d'espèces plus tolérantes Barbeaux Fluviales, Chevesnes, Gardons, Goujons.

La non détection de l'Anguille d'Europe est cependant à associer au mauvais état de conservation de l'espèce et aux problématiques de franchissabilité de seuils sur l'axe de l'Aude (données OFB anciennes faisant état de captures jusqu'à Escouloubre).

En dépit de ces biais, l'IPR fournit cependant dans notre cas une indication tangible sur la conformité de la guilde d'espèces présentes sur la station et de leurs traits biologiques.

7.2.2 Bioévaluation basée sur le compartiment des macroinvertébrés benthiques : I2M2

En 2021, la station de l'Aude à Belvianes présente un bon état écologique (à la limite du très bon) avec une note I2M2 de 0,6516 EQR et donc un écart à la référence relativement réduit. Cette évaluation est soutenue par le fait que le peuplement soit bien diversifié ($H'=0,6971$) malgré une richesse taxonomique très faible (0,0856 EQR). Cela indique un peuplement avec peu de taxons mais des abondances relatives taxonomiques similaires. De plus la métrique ASPT présente une valeur de 0,6548 EQR ce qui traduit une bonne polluosensibilité de l'ensemble des taxons présent et donc une bonne qualité de l'eau vis-à-vis des polluants. Néanmoins le milieu semble être très perturbé sur cette station. En effet, le polyvoltinisme atteint 0,7418 EQR et l'ovoviviparité 0,9188 EQR.

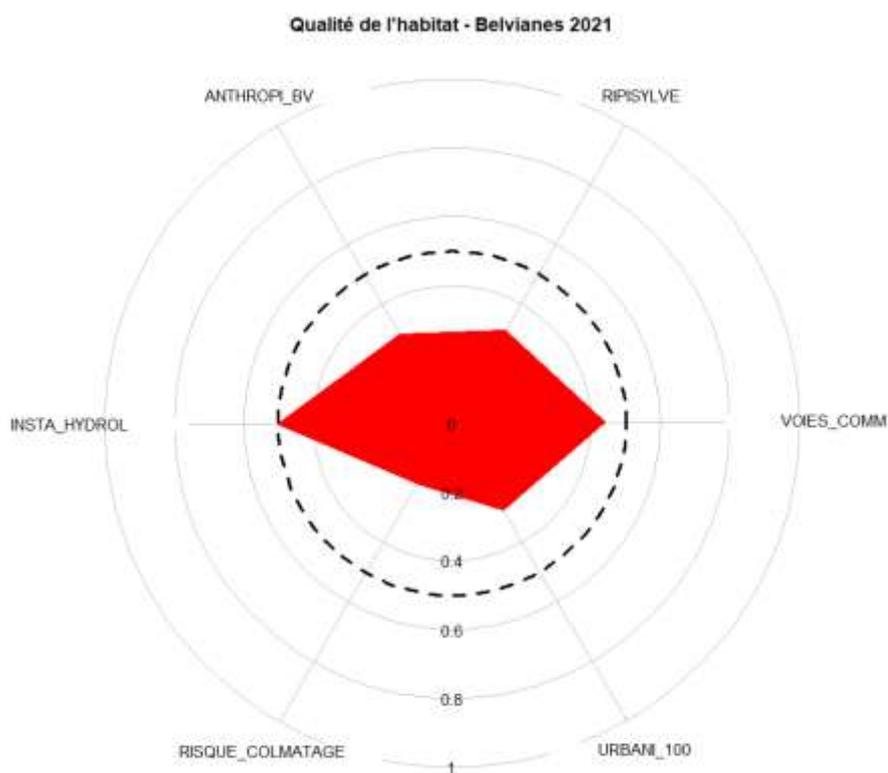


Diagramme radar des pressions s'exerçant sur l'habitat de la station de Belvianes en 2021 d'après l'Outil Diagnostic Invertébrés

En ce qui concerne l'habitat au niveau de la station de Belvianes en 2021, seule l'instabilité hydraulique semble avoir un impact significatif sur la qualité de ce premier en 2021. Cela semble totalement logique dans notre zone d'étude soumise aux éclusées. Néanmoins celle-ci semble assez limitée avec un score pour cette pression de seulement 0,5024 EQR.

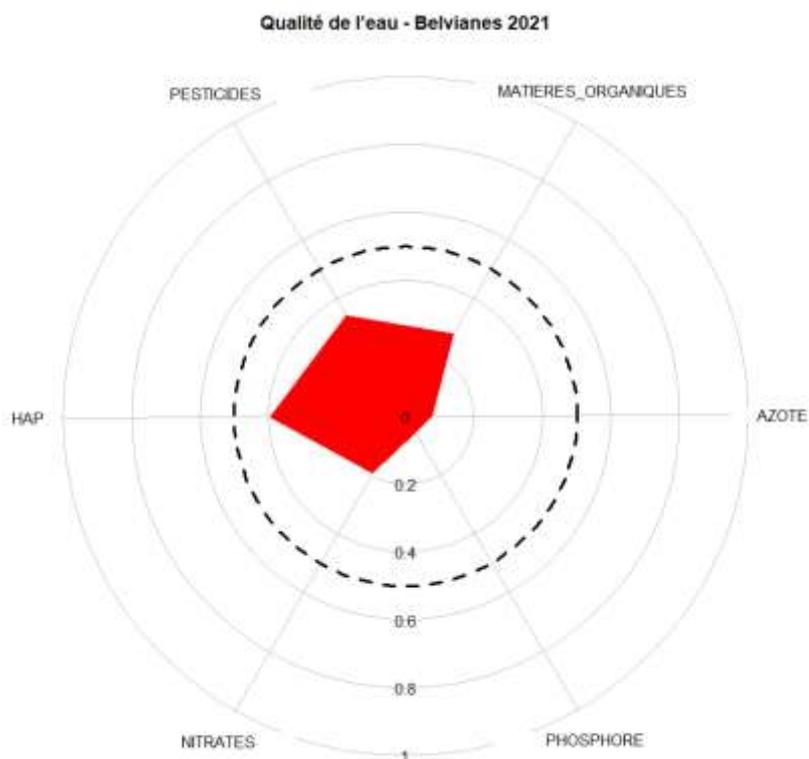


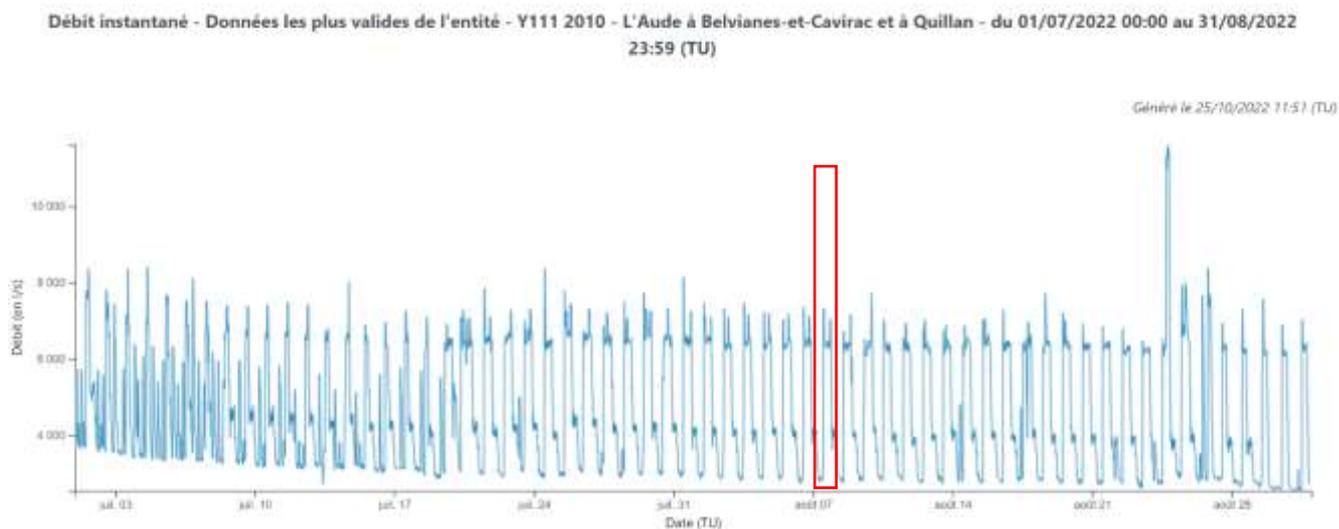
Diagramme radar des pressions s'exerçant sur la qualité chimique de l'eau de la station de Belvianes en 2021 d'après l'Outil Diagnostic Invertébrés

Pour ce qui est de la qualité de l'eau celle-ci ne semble subir aucune pression particulière sur cette station en 2021.

7.2.3 Caractérisation de la qualité des habitats aquatiques

7.2.3.1 Organisation et conditions d'intervention

Sur la station de l'Aude à Belvianes, seulement 7 transects ont été réalisés du fait de l'homogénéité des faciès d'écoulement sur 180 mètres de longueur. Les relevés ont été effectués sur la journée 09/08/2022 afin de pouvoir mesurer l'alternance journalière estivale entre les débits naturels reconstitués 2.8 m³/s en matinée et les périodes de lâchers 6.5 m³/s dans l'après-midi. Cette démarche a pour objectif de mettre en évidence les fluctuations journalières de la qualité habitacionnelle de la station.



Source : <https://www.hydro.eaufrance.fr/>

L'analyse diachronique des débits mesurés souligne la régularité des fluctuations journalières sur la période considérée et valide ainsi le protocole de collecte des données.



7.2.3.2 *Caractérisation des habitats aquatiques et de l'attractivité vis-à-vis des exigences du Chabot sur la station de l'Aude à Belvianes*

• **Vues représentatives de la station :**



Radier aval de la station ; Débit de 2.8 m³/s



Radier aval de la station ; Débit de 6.5 m³/s



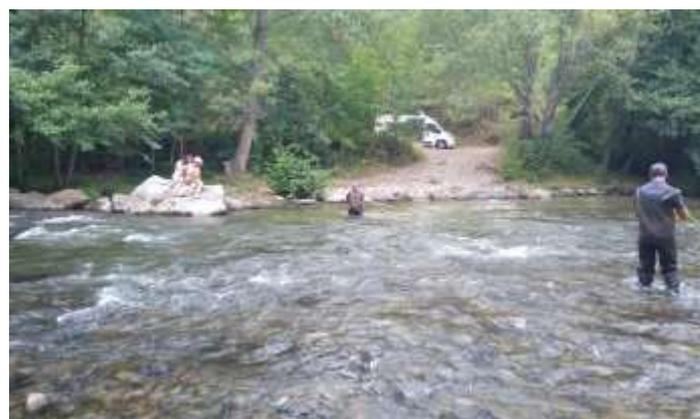
Partie centrale de la station ; Débit de 2.8 m³/s



Partie centrale de la station ; Débit de 6.5 m³/s



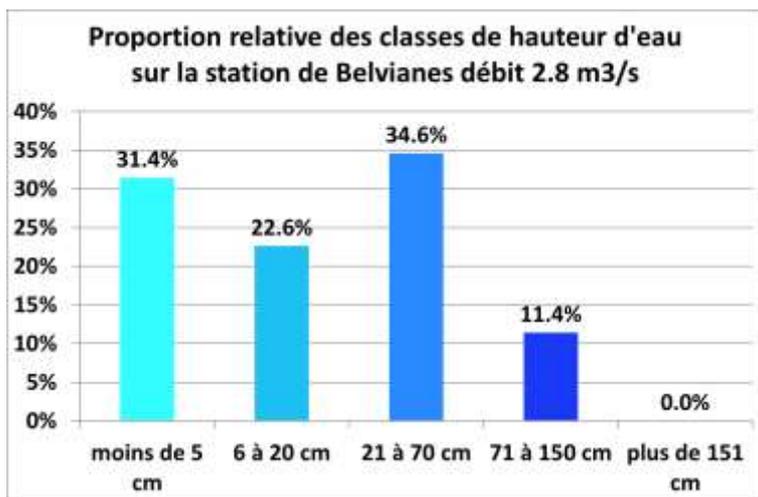
Radier amont de la station ; Débit de 2.8 m³/s



Radier amont de la station ; Débit de 6.5 m³/s

- **Cartographie des mosaïques d'habitats en rivière selon la logique des pôles d'attraction pour des débits de 2.8 et 6.5 m³/s :**

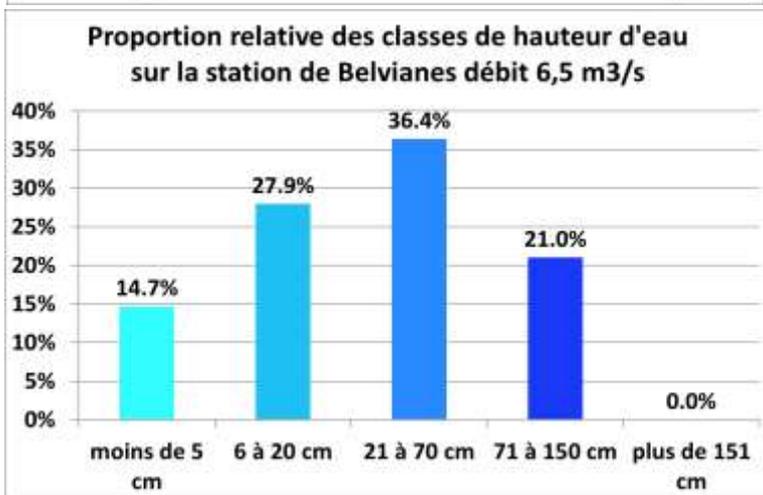
➤ *Cartographie des hauteurs d'eau*



Les classes de hauteurs d'eau inférieures à 5 cm et comprises entre 21 et 70 cm sont dominantes en proportion sur la station de Belvianes pour un débit de 2.8 m³/s.

Variables Hauteur	
Variété	4
Diversité	0,57
Régularité	0,95

Pour un débit de 2.8 m³/s, la station de Belvianes présente une bonne variété de profondeur (4/5), sa diversité demeure moyenne et sa régularité forte.



Pour des débits de 6.5 m³/s, les représentativités de chacune des classes tendent à se modifier. La classe de hauteurs d'eau comprise entre 21 et 70 cm devient largement dominante. Proportionnellement les surfaces liées aux hauteurs d'eau inférieures à 5

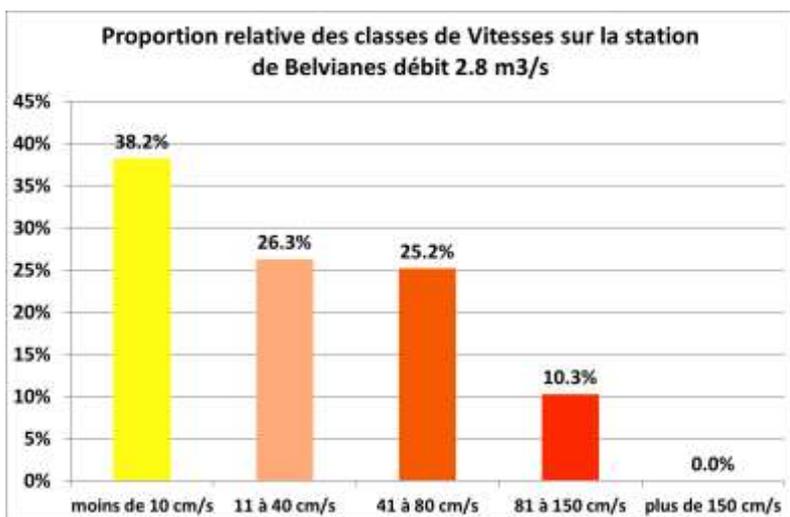
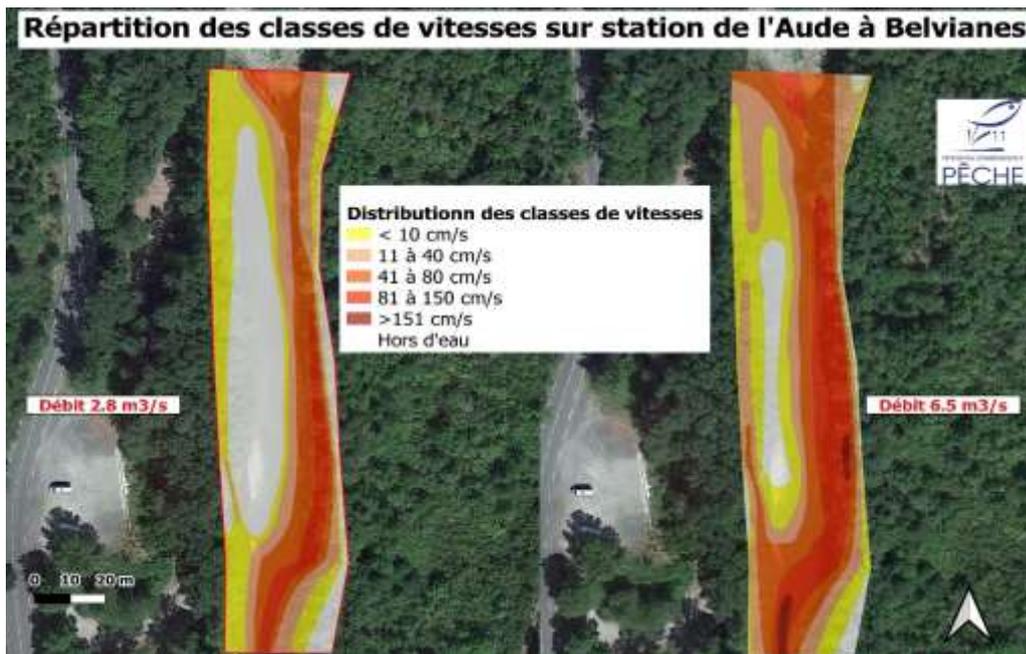
Variables Hauteur	
Variété	4
Diversité	0,58
Régularité	0,96

cm sont divisées par 2. Inversement les surfaces liées aux

hauteurs d'eau comprises entre 71 et 150 cm sont multipliés par 2.

Pour un débit de 6.5 m³/s, peu de changements sont observés sur les variables élémentaires avec une bonne variété de profondeur (4/5), une diversité reste moyenne et une régularité forte.

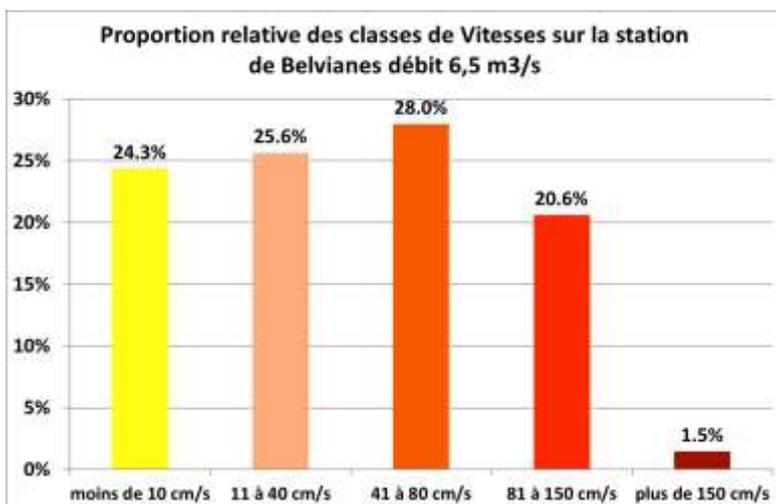
➤ Cartographie des classes de vitesses d'écoulement



La classe de vitesse inférieure à 10 cm/s est dominante pour des débits de 2.8 m³/s. Les gammes de vitesses comprises entre 11 / 40 et 41 / 80 cm/s occupent chacune un quart de la surface totale.

Variables Vitesse	
Variété	4
Diversité	0,56
Régularité	0,94

Pour un débit de 2.8 m³/s, la station de Belvianes présente une bonne variété de vitesse (4/5), sa diversité demeure moyenne et sa régularité forte.

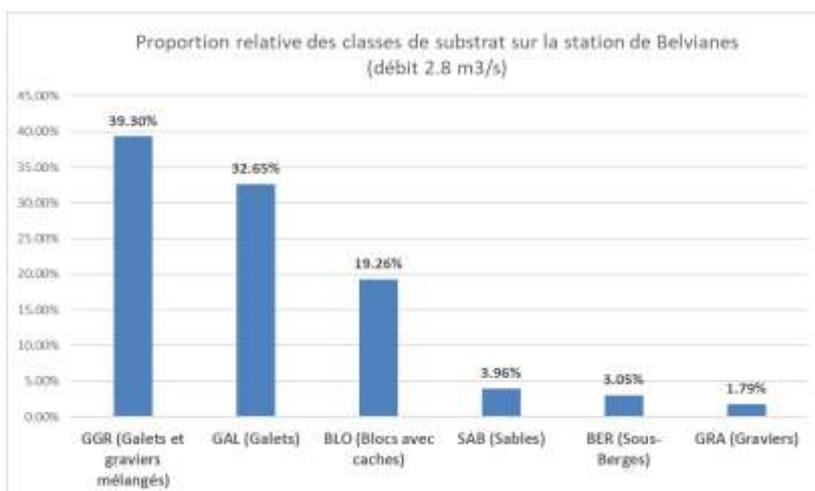
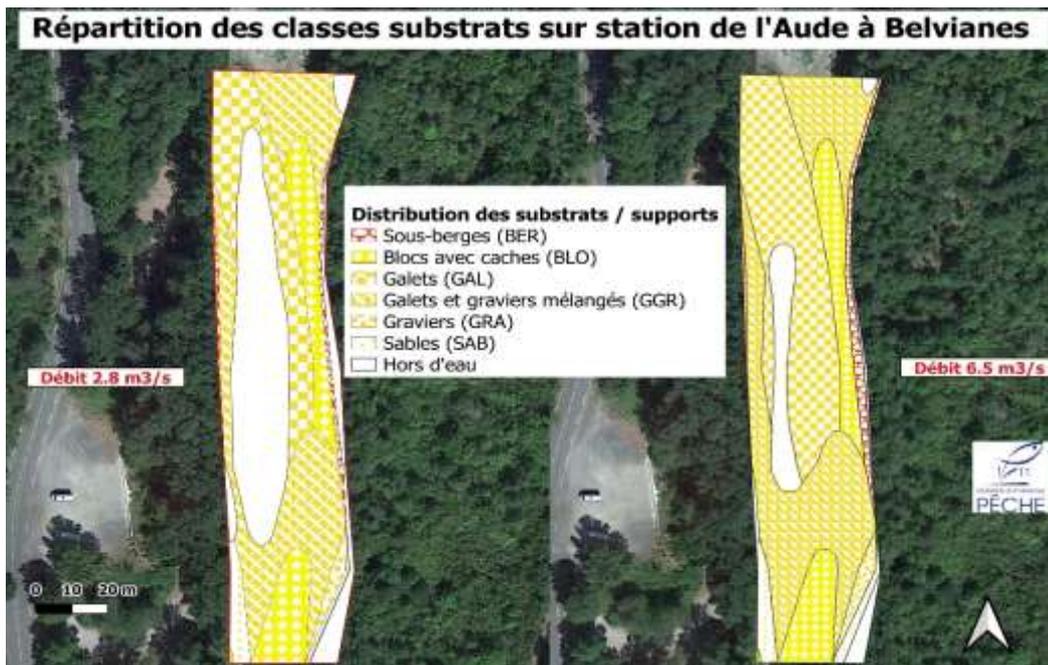


Les proportions relatives de chaque classe évoluent sensiblement pour des débits de 6.5m³/s. Celles-ci se répartissent plus équitablement les trois premières classes comprises entre 0 et 80 cm/s. Les gammes de vitesses comprises entre 81 et 150cm/s sont multipliées par deux. Une faible proportion de la station est intéressée par des vitesses très élevées supérieures à 150 cm/s.

Variables Vitesse	
Variété	5
Diversité	0,62
Régularité	0,89

Pour un débit de 6.5 m³/s, peu de changements sont observés sur les variables élémentaires. Néanmoins, les valeurs maximales de variété sont atteintes avec un score de 5/5.

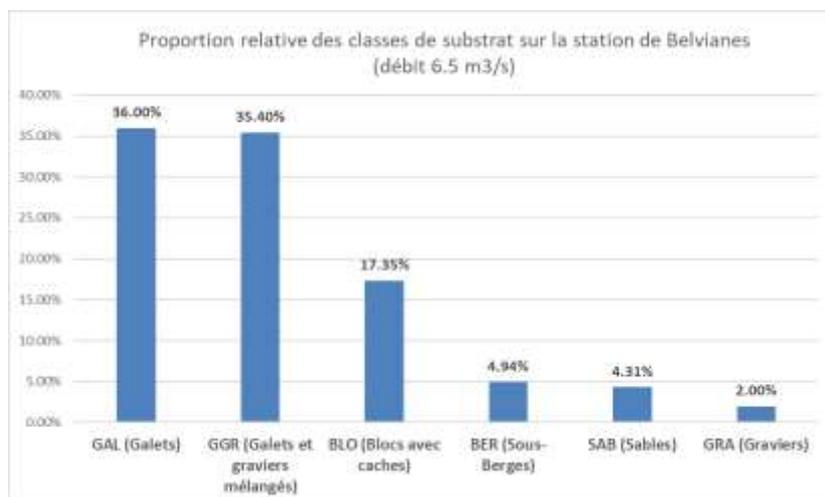
➤ Cartographie des substrat- supports



Pour un débit de 2.8 m³/s, les substrats immergés sont dominés par les GGR (attractivité de 25), les Galets (attractivité de 50) puis les Blocs (attractivité de 60).

Variables Substrats	
Variété	6
Diversité	0,59
Régularité	0,76

Pour ce débit, la station présente une variété plutôt faible de substrats (6/17), sa diversité est moyenne, et sa régularité assez élevée.



Pour un débit de 6.5 m³/s, les proportions de chacune des classes granulométriques immergées varient peu. Les GGR (attractivité de 25), les Galets (attractivité de 50) restent dominants. La proportion de surface occupée par les Blocs est divisée par deux.

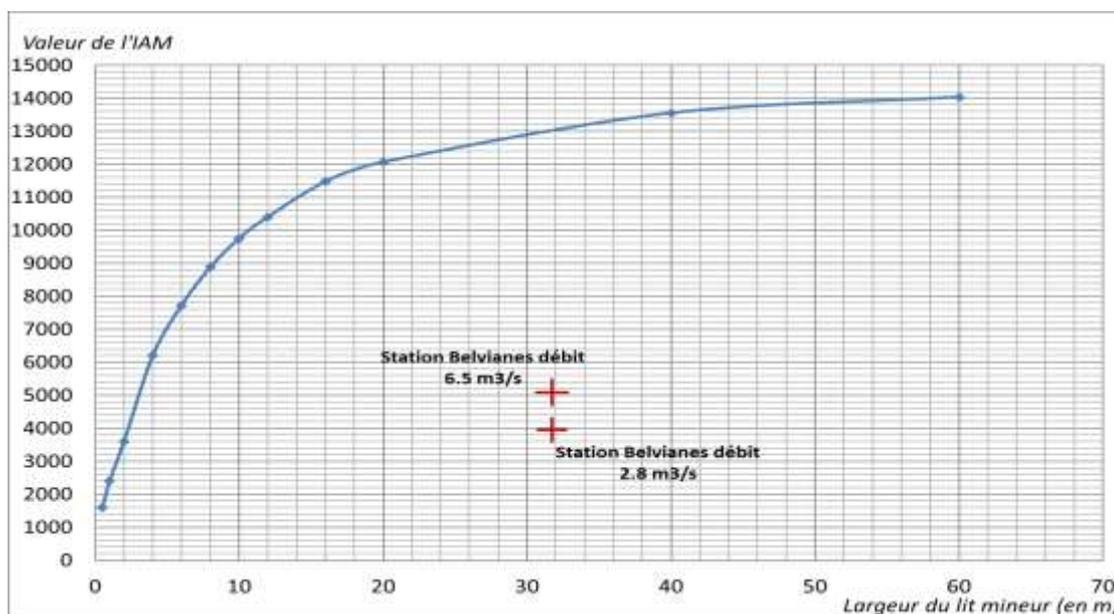
Variables Substrats	
Variété	6
Diversité	0,61
Régularité	0,78

Les variables de substrat ne

connaissent pas d'évolution majeure.

➤ Calcul de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM) et comparaison avec un référentiel

Calcul attractivité des substrats et de la note IAM ; Station de l'Aude à Belvianes pour un débit de 2.8 m³/s				
Type de substrat	Surface (m ²)	Proportions	Attractivités	Surface relative *attractivité substrat
BER (Sous-Berges)	142,89	3,05%	90	2,74
BLO (Blocs avec caches)	903,01	19,26%	60	11,55
GAL (Galets)	1531,05	32,65%	50	16,32
GGR (Galets et graviers mélangés)	1842,85	39,30%	25	9,82
GRA (Graviers)	84,09	1,79%	20	0,36
SAB (Sables)	185,72	3,96%	8	0,32
Total	4689,61	1		
Somme surface relative *attractivité substrat				41,119
NOTE IAM ; débit de 2.8 m³/s				3947,42
Calcul attractivité des substrats et de la note IAM ; Station de l'Aude à Belvianes pour un débit de 6.5 m³/s				
Type de substrat	Surface (m ²)	Proportions	Attractivités	Surface relative *attractivité substrat
BER (Sous-Berges)	257,08	4,94%	90	4,45
BLO (Blocs avec caches)	903,23	17,35%	60	10,41
GAL (Galets)	1873,83	36,00%	50	18,00
GGR (Galets et graviers mélangés)	1842,85	35,40%	25	8,85
GRA (Graviers)	103,85	2,00%	20	0,40
SAB (Sables)	224,25	4,31%	8	0,34
Total	5205,09	1		
Somme surface relative *attractivité substrat				42,452
NOTE IAM ; débit de 6.5 m³/s				5094,20



Pour les deux débits, les notes IAM sont relativement faibles par rapport à ce que l'on pourrait attendre sur ce type de station (largeur du lit mineur 31 mètres). En effet, en situation de référence la note optimale devrait avoisiner les 13500. Or, les notes obtenues sont respectivement de 3947 pour un débit de 2.8 m³/s et de 5094 pour un débit de 6.5 m³/s.

Même si la note tend à s'améliorer avec la hausse des débits et des surfaces inondées, notamment celle constituée de galets, le déficit global d'habitat peut aussi être attribué à la faible représentation des habitats de berges. En effet, les systèmes racinaires de la végétation de bordure restent partiellement exondés même pour des valeurs de débits de 6.5m³/s. D'une manière globale, l'état physique du milieu n'est pas optimal en l'état sur cette station.

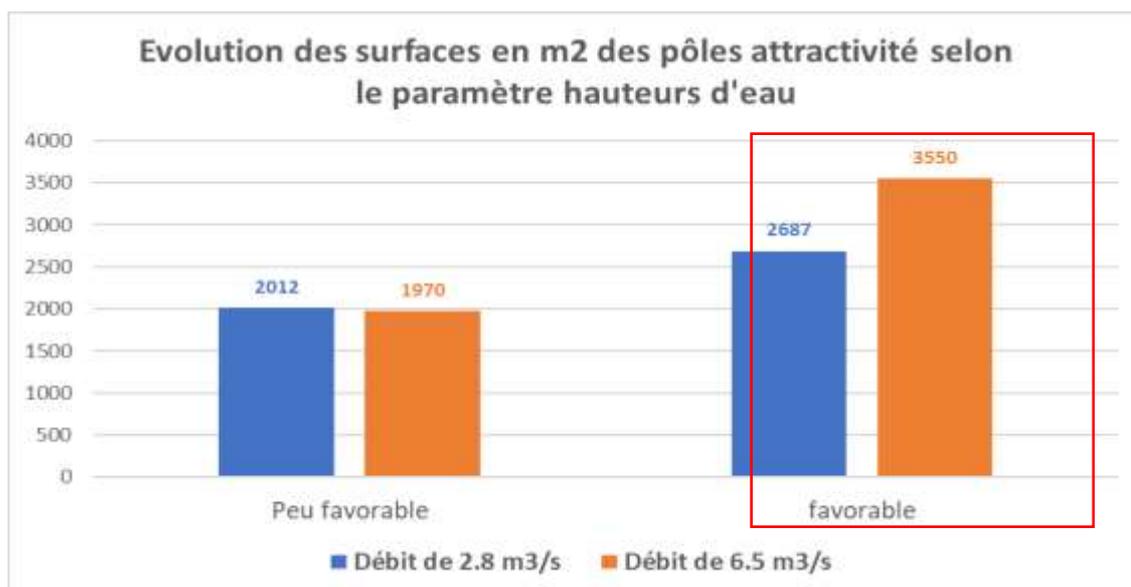
- **Évaluation de l'attractivité de la station vis-à-vis des exigences du Chabot en fonction des débits 2.8 et 6.5 m³/s :**

➤ *Cartographie des classes de hauteurs favorables au Chabot :*



La distribution des hauteurs favorables sur la station évolue sensiblement en fonction des débits étudiés. Ainsi, de larges secteurs présentant des hauteurs d'eau inférieure à 0.05 m pour des débits 2.8 m³/s se retrouvent dans une configuration favorable pour le Chabot en condition de hautes eaux. Cela concerne notamment le chenal d'écoulement secondaire en rive gauche et le radier aval.

Pour ce même débit, les zones peu favorables < 0,05 ou > 0.7 m) se concentrent sur une large zone du chenal central et à proximité de l'îlot central.



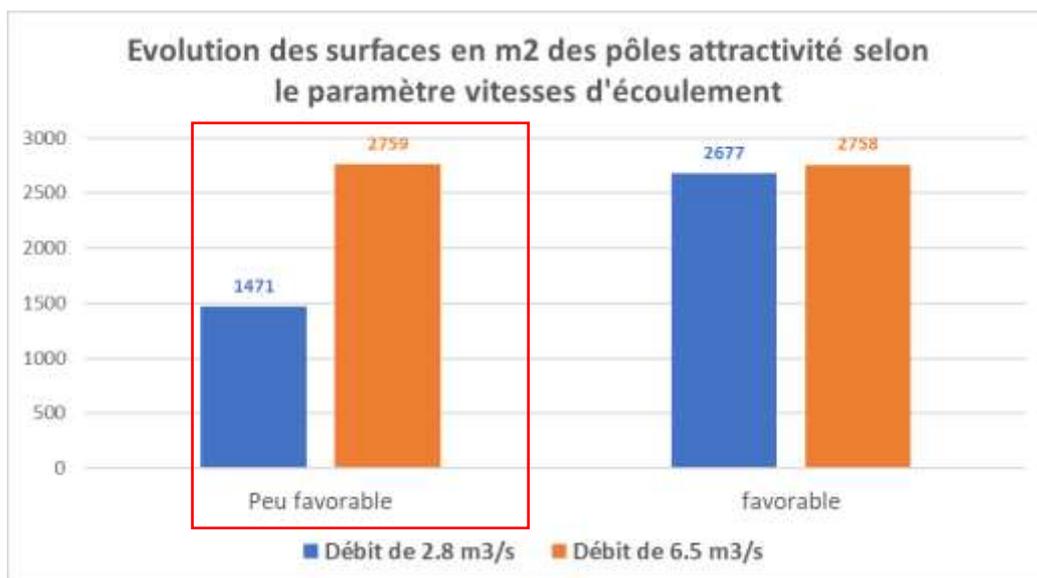
L'analyse comparative met en évidence une stabilité des surfaces peu favorables et une augmentation d'environ 1000 m² des surfaces pour des débits à 6.5 m³/s.

➤ Cartographie des classes de vitesses favorables au Chabot :



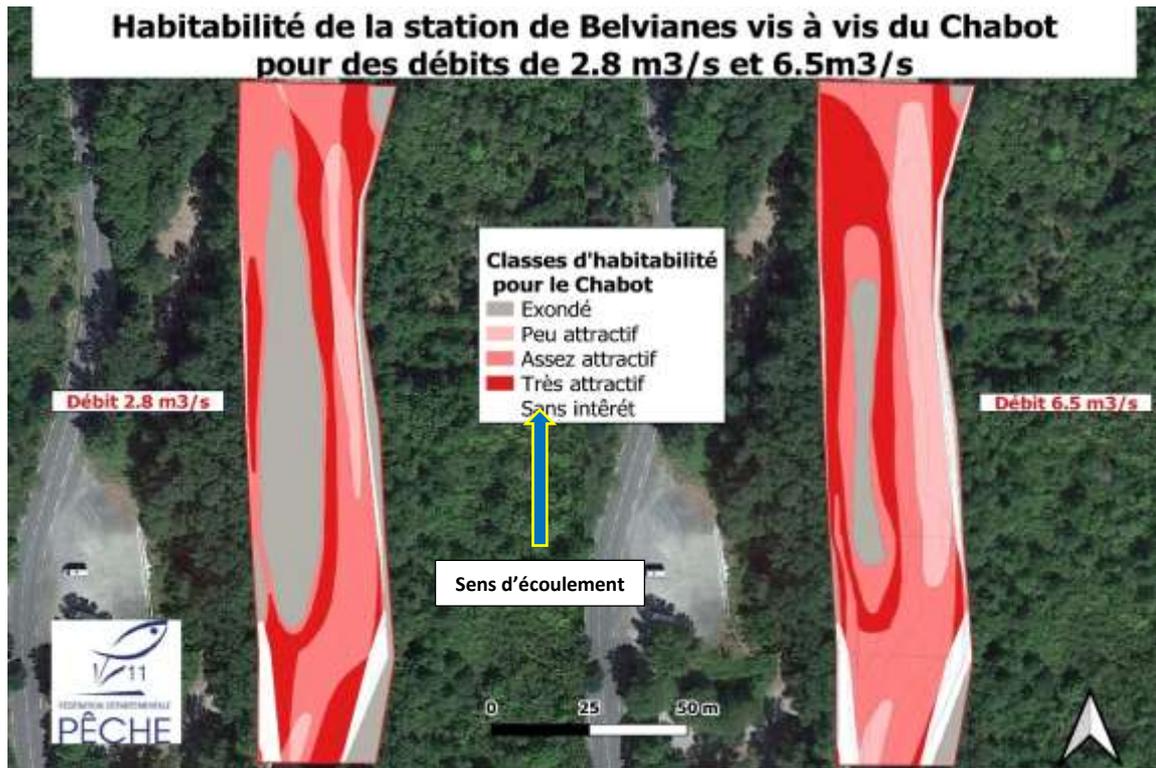
Concernant le paramètre vitesse, les modifications de la distribution des vitesses favorables semblent peu importantes. Néanmoins, les surfaces relatives des zones peu favorables tendent à s'étendre significativement. Ainsi, **pour un débit de 6.5 m³/s, les valeurs supérieures à 0,4 m/s s'étendent sur une vaste surface du chenal principal depuis l'amont jusqu'à l'aval de la station. Les surfaces favorables sont surtout associées aux zones fraîchement inondées en périphérie de l'îlot.**

Pour les deux gammes de débits, les vitesses favorables se concentrent à proximité des berges et du chenal secondaire. Le remous hydraulique associé à l'îlot central semble avoir une influence positive sur ce paramètre en limite aval de station.



Le total des surfaces de vitesses favorables au chabot se maintient entre les deux gammes de débits. Les surfaces peu favorables augmentent significativement pour un débit de 6.5 m³/s en lien avec les franches accélérations en chenal principal.

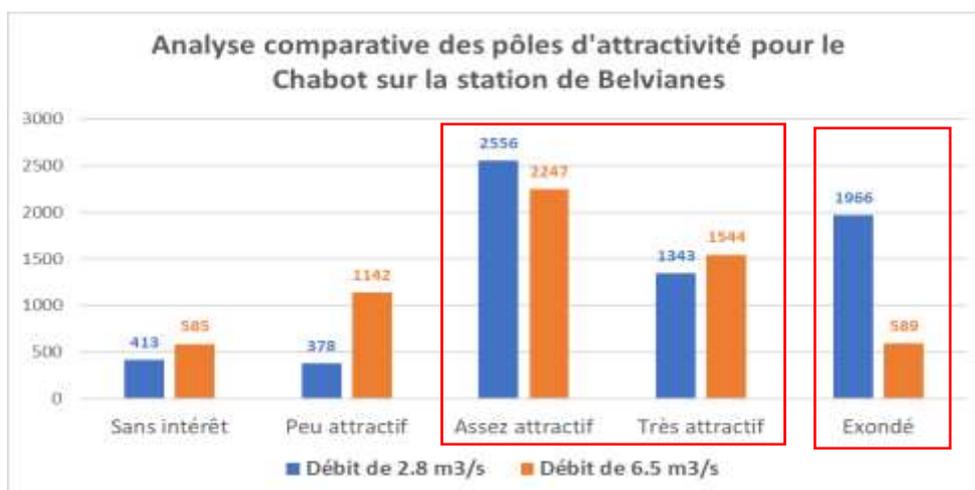
➤ Cartographie des pôles d'attractions et des zones d'exondation à 2.8 et 6.5 m³/s



L'analyse cartographique effectuée sur la base de l'interception des composantes fondamentales Vitesses / Hauteurs / Substrat met en évidence **les variations de distribution des zones répondant aux exigences écologiques du Chabot.**

D'une manière générale, le critère substrat (Cf. Cartographie des substrat-supports ; page 12) ne constitue pas un facteur limitant pour cette station. **Le recouvrement estimé favorable (Galets, Galets/ Gravier et Blocs) atteint près de 90 % de la surface mouillée sur les deux gammes de débits.** Seuls les habitats de berges (cavités sous racines exondés) et les bancs de sables / graviers situés en amont de la station induisent des zones « sans intérêt » pour l'espèce.

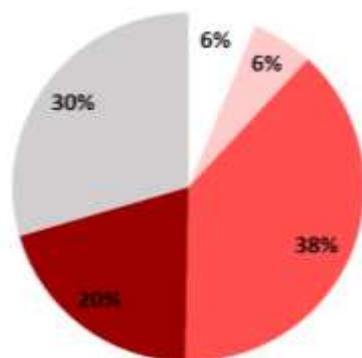
Le paramètre vitesse d'écoulement apparait comme le plus discriminant et induit une localisation préférentielle des zones attractives en rive gauche (chenal secondaire) et à proximité de l'îlot central. Néanmoins quelques nuances peuvent être apportées avec des sectorisations privilégiées sur la partie amont de la station pour le débit 2.8 m³/s et aval pour de débit 6.5 m³/s. Néanmoins, il reste important de noter que **la plupart des pôles très attractifs pour les débits élevés se localisent au niveau des zones exondées par bas débits.** Comme démontré par l'étude d'évaluation et de réduction de l'impact des éclusées diligentée par le SMMAR le risque de piégeage et d'échouage d'individus est réel sur ces zones.



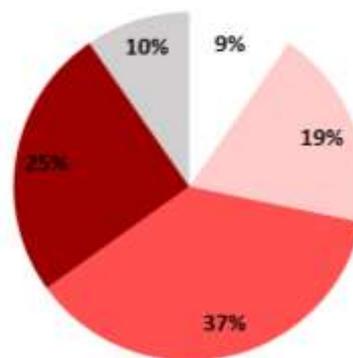
L'examen des variations de valeurs de surfaces des pôles d'attractivité de la station en fonction des débits confirme les éléments suivants :

- La stabilité des valeurs de surfaces qualifiées d'intéressantes à très intéressantes (environ 3800 m²) et des surfaces sans intérêt (environ 5000 m² corrélés au substrat) ;
- L'augmentation significative des surfaces peu attractives pour les plus forts débits (augmentation des hauteurs et des vitesses en chenal principal)
- L'important ennoisement associé à l'augmentation des débits surtout localisé au niveau de l'atterrissement central (surfaces exondées divisées par 4).

Proportions relatives des surfaces des pôles d'attractivité pour un débit de 2.8 m³/s



Proportions relatives des surfaces des pôles d'attractivité pour un débit de 6.5 m³/s



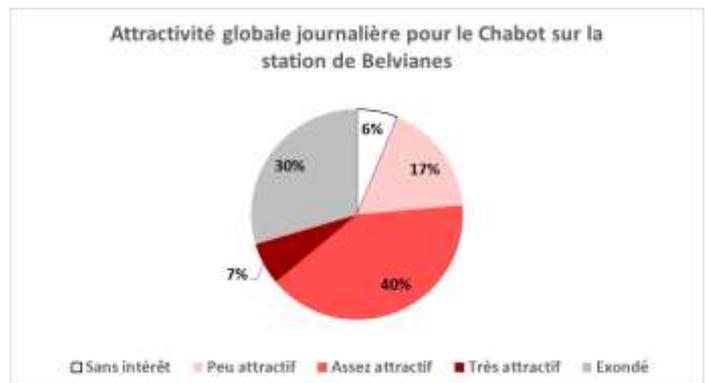
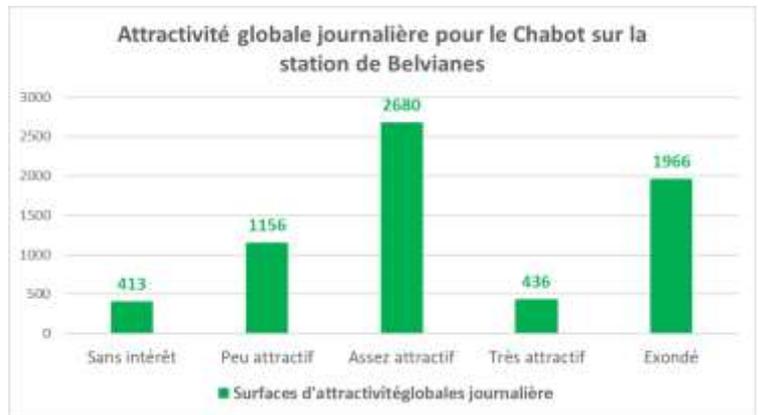
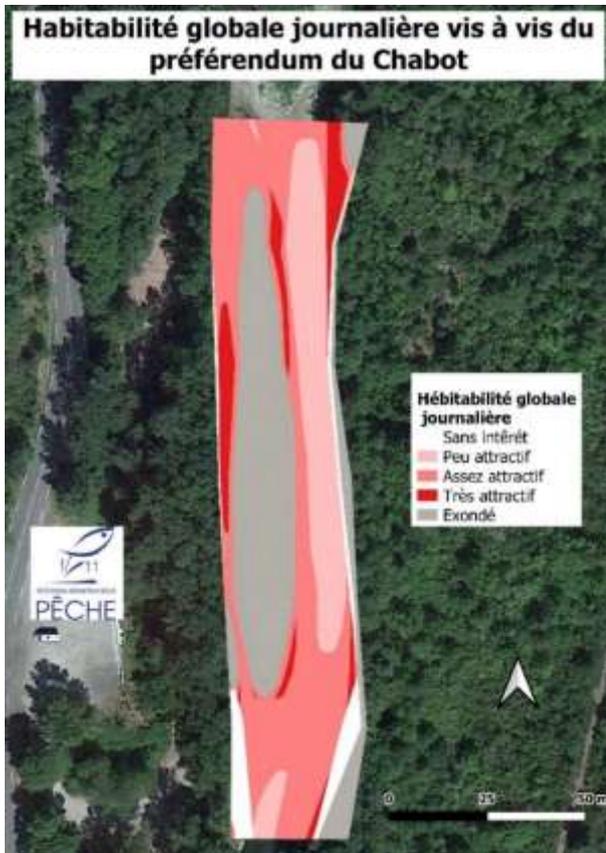
□ Sans intérêt ■ Peu attractif ■ Assez attractif ■ Très attractif ■ Exondé

En termes de proportion relative, l'attractivité globale de la station peut être considérée comme assez stable en fonction des débits étudiés : 58 % pour un débit de 2.8m³/s et 62 % pour un débit de 6.5 m³/s. La part des surfaces très attractive oscille entre 20 et 25 % de la station en faveur des débits hauts.

Ces conclusions tendent à confirmer l'opportunité du choix de la station de Belvianes en qualité d'habitat de référence pour le Chabot.

➤ *Cartographie de synthèse de l'attractivité globale journalière et des risques d'échouages :*

L'examen proposé ci-après vise à qualifier l'attractivité globale journalière de la station de Belvianes en considérant les mœurs territoriales du Chabot et sa faible capacité de déplacement. Elle prend notamment en compte la récurrence journalière de l'oscillation des débits observés lors de la période estivale 2022 par croisement des pôles d'attractions identifiés pour les deux gammes de débits. La classe d'attractivité moins élevée des deux gammes de débits constitue la note finale.



À l'échelle d'une « journée estivale type », les sommes des surfaces assez attractives et très attractives concernent 47 % de la station.

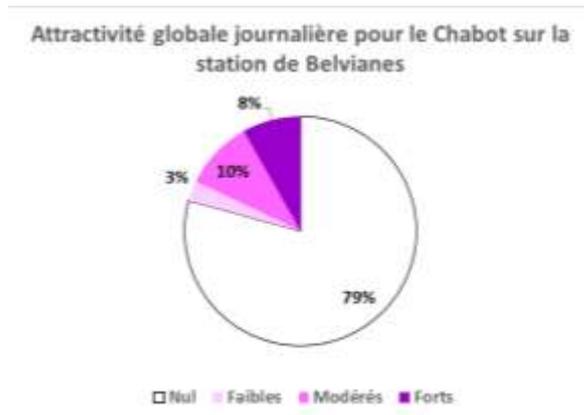
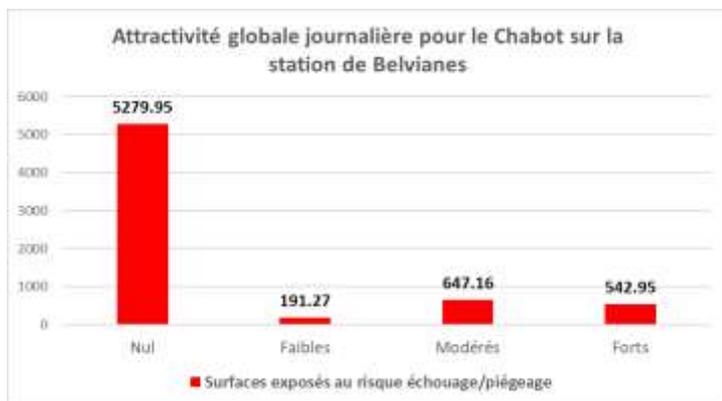
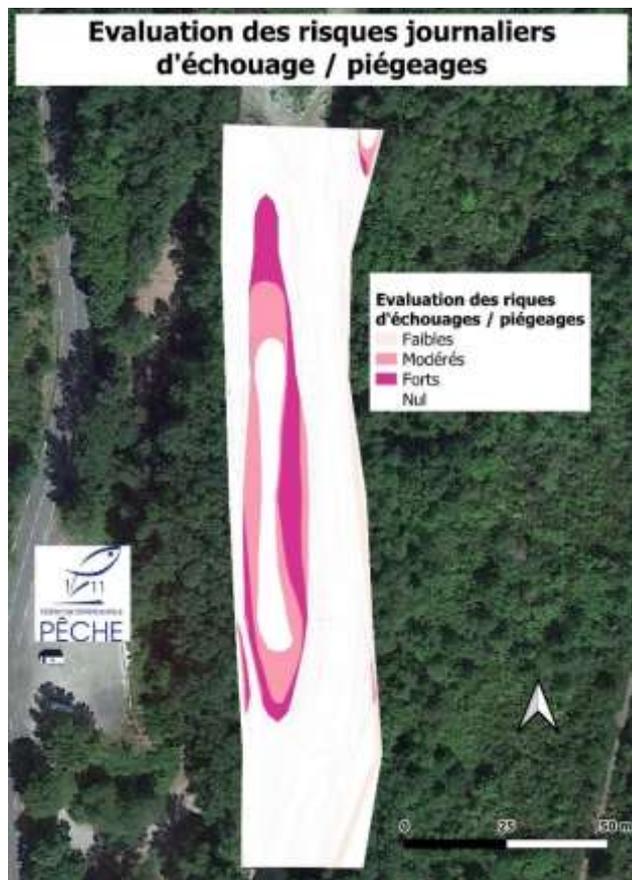
Dans le détail, **les surfaces peu attractives sont surtout associées aux écoulements présents dans le chenal principal au sein duquel les hauteurs et vitesses deviennent rapidement contraignantes.**

Les zones qualifiées d'assez attractives ne remplissent que deux critères simultanément sur les trois métriques élémentaires considérées. Elles occupent 40% de la station pour 2680 m². Une nuance est à apporter car **une partie de ces secteurs peut se retrouver alternativement en situation favorable et défavorable selon les métriques hauteur et vitesse en fonction des conditions hydrauliques.** Ainsi, les conditions habitationnelles ne sauraient y être considérées comme optimales.

Les zones d'attractivité maximale se concentrent au niveau de la partie aval du bras secondaire et plus localement en périphérie extérieure de l'atterrissement central en lien avec la protection hydraulique induite par ce dernier. Un autre secteur se distingue au droit du petit atterrissement rive droite en aval de la station. **Les valeurs de surfaces associées à cet habitat optimum sont grossièrement divisées par 3 (environ 450 m²) avec un recouvrement relatif de 7% (contre 20 à 25 % pour des débits de 2.8 et 6.5 m³/s) ;**

• **Cartographie de zones sensibles au risque d'échouage /piégeage :**

L'analyse précédente ne prend pas en considération les risques de piégeage induits par l'exondation des atterrissements présents au niveau de la station. Une évaluation du risque a été obtenu au travers d'un géotraitement par croisement de l'aléa « surfaces d'exondations maximales » (débit 2.8 m³/s) et des enjeux « surface d'attractivité » définis pour des débits de 6.5 m³/s.



Les surfaces induisant des risques potentiellement significatifs occupent 18 % de la surface de la station soit une surface d'environ 1200m². Le risque d'échouage / piégeage peut être considéré comme maximal sur des surfaces significatives de 550 m².



Perspective de la partie aval de l'atterrissement principal pour des débits de 2.8 m³/s et échouage d'un chabot à Quillan le 27 avril 2021.

- **Conclusions :**

Au cœur de l'aire de répartition du Chabot sur l'Aude, la station de Belvianes et Cavirac présente la particularité d'être soumise à des éclusées liées à la production d'une énergie de pointe et en période d'étiage estival au placement de l'eau au service des besoins agricoles. Ces éclusées se traduisent par une fluctuation des débits instantanés liée à des lâchers d'eau limités dans le temps et qui se superposent au débit de base « naturel » (cumuls des débits réservés Aude/ Aiguette et ceux du Rebenty).

Pour cette raison, les mesures visant à l'évaluation de la qualité habitationnelle ont été réalisées sur deux gammes de débits représentatives des fluctuations journalières observées lors de la période estivales 2022 : débits de 2.8 et 6.5 m³/s.

Dans un premier temps, le calcul de **l'Indice d'Attractivité Morphodynamique indique une certaine dégradation des conditions habitationnelles**. Ce constat reste valable pour les deux débits mesurés, même si la gamme haute tend à démontrer **une amélioration en lien avec une augmentation des surfaces mouillées vis-à-vis de la largeur du lit mineur et une meilleure connectivité avec les habitats de berges** globalement très attractifs selon cette méthodologie.

Ce premier niveau d'analyse permet notamment d'apprécier **les déconnexions latérales (habitats rivulaires associés à la végétation) induites par un fonctionnement hydraulique par éclusée**. Ces éléments confortent les conclusions formulées lors des investigations mises en place pour l'« Étude d'évaluation et de réduction de l'impact des éclusées sur les milieux » portée par l'EPTB SMMAR.

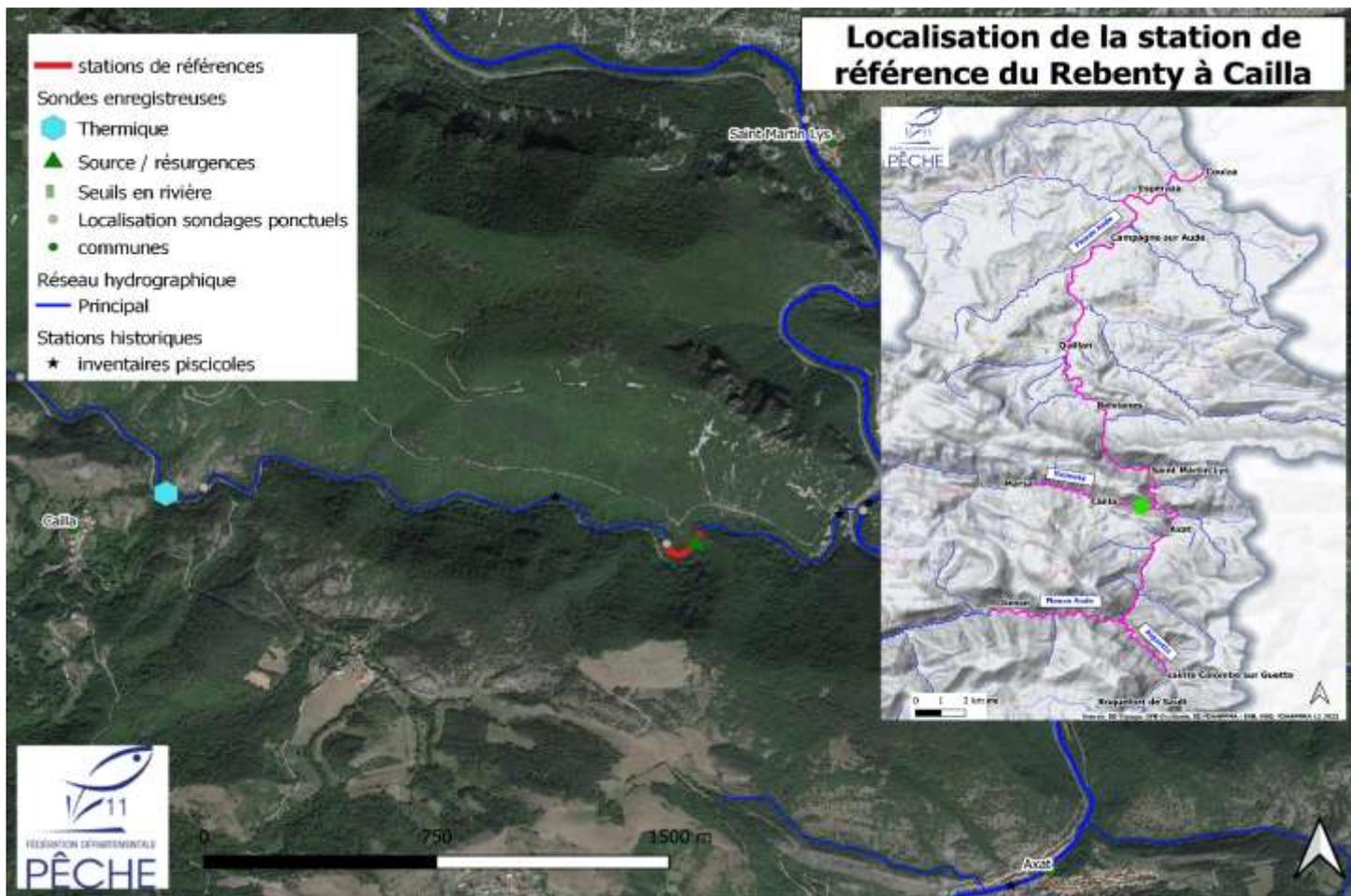
Sur cette même station, l'examen spécifique aux exigences habitationnelles (croisement des Substrat/ Hauteur/ vitesse) propres au Chabot traduit aussi des dysfonctionnements. Il apparaît ainsi que les valeurs de **surfaces qualifiées de très attractives pour le Chabot sont comparables pour les deux débits mesurés (20 à 25 % de la surface mouillés totale et environ 1400 m²)**. Cependant, celles-ci varient assez fortement dans leur localisation.

Une synthèse de l'attractivité globale journalière a été initiée en considération des traits biologiques particuliers du Chabot (territorialité et faible capacité de déplacement). Elle démontre qu'à **l'échelle d'une journée estivale type, les surfaces présentant de façon constante des caractéristiques optimales ne représentent que 7 % de la station, soit environ 450 m²**. Il est aussi notable que **40 % des surfaces de la station considérées comme assez attractives peuvent se retrouver en fonction des conditions hydrologiques alternativement en situation favorable et défavorable selon les métriques hauteur et vitesse**.

Par ailleurs, **les surfaces d'atterrissements soumis successivement à la submersion et à l'exondation ont été mesurées à environ 1500 m²**. Le risque sous-jacent à ce type de phénomène reste celui associé à l'échouage / piégeage observé dans le cadre de l'étude d'impact des éclusées. L'évaluation de ce risque a été réalisée par recoupement des surfaces de forte attractivité pour un débit de 6.5 m³/s et celles exondés pour des débits 2.8 m³/s. Il apparaît ainsi qu'environ **500 m² de surface présente un risque fort de piégeage**. Ceci représente **1/3 des surfaces très favorables pour le Chabot pour des débits de 6.5 m³/s et potentiellement utilisable comme zone refuge suite à l'accélération des vitesses d'écoulement en chenal principal**.

L'ensemble de ces investigations tend à démontrer **qu'en dépit de caractéristiques ponctuelles plutôt favorables à l'espèce, la capacité d'accueil de la station de l'Aude à Belvianes et Cavirac est considérablement affectée par l'instabilité hydraulique et les exondations observés sur ce site**.

7.3 Station de référence sur le Rebenty à Cailla



7.3.1 Inventaire piscicole par pêche complète à plusieurs passages successifs

7.3.2.1 Caractéristiques de l'opération et méthodologie d'échantillonnage :

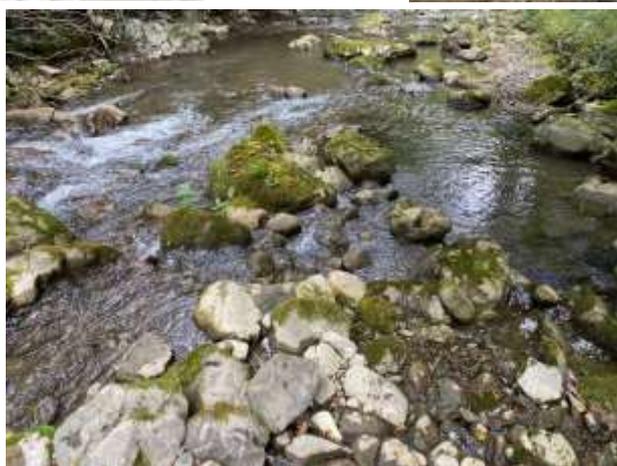
<u>Caractéristiques de l'effort de pêche mis en œuvre dans le cadre du suivi</u>	
Date de l'opération	30 Septembre 2021 entre 14h et 16h
Matériel utilisé	Un générateur de type « Héron ».
Type de prospection	Inventaire complet à 2 anodes
Nombre de passages	2 passages
Nombre d'épuisette	4 opérateurs
Méthode de prospection	À pied
Conditions de Pêche	Débit naturel d'étiage
Cloisonnement station	Néant
Coordonnées Lambert 93	X : 247343.2 ; Y : 5283930.0
<u>Caractéristiques générales de l'opération</u>	
Longueur (m)	131 m
Largeur moyenne (m)	6.53 m
Profondeur moyenne (m)	0.22 m
Altitude	382 m.
Surface prospectée	868.53 m ²
Dureté / conductivité / Température	56 mg de Calcium /L ; 337 µS/cm ; 14.7 ° C
Gammes de débits mesurés au moment de l'inventaire	0.49 m ³ / s

Illustration photographique de la réalisation de l'inventaire piscicole par pêche à l'électricité et du traitement biométrique des poissons capturés.



7.3.2.2 Caractéristiques morpho dynamiques :

Définition des faciès d'écoulements	Granulométrie principale	Colmatage du substrat
COURANT (55%)	Bloc (Ø 25.6 à 102.4 mm)	Pierres grossières (12,5-25,6 cm)
PLAT (45%)	Pierres grossières (12,5-25,6 cm)	Cailloux grossier (Ø 3.2 / 6.4 cm)
PROFOND (0%)	-	-
Habitat principal	Granulométrie	
Habitat secondaire	Sous berges et systèmes racinaires	
Colmatage	Sédiments fins (Limos/Argiles/ MO)	
Végétation aquatique	Bryophytes (recouvrement inférieur à 15%)	



La Station du Rebenty à Cailla « Le Bac » est relativement homogène vis-à-vis de l'alternance des faciès d'écoulements adoptant un profil général plutôt naturel type radiers / mouilles. La résurgence assure une alimentation parfois modeste selon la période mais continue au niveau du tiers aval de la station.

La granulométrie grossière globalement peu colmatée (dominance des blocs et pierres grossières) induisant de grands espaces interstitiels constitue potentiellement un habitat de choix pour la faune piscicole et notamment le Chabot.

Sur la partie amont de la station un chenal secondaire d'écoulement permet une diversification des habitats exploitables caractérisée par des faciès plus lenthiques et la présence de sous berges et de systèmes racinaires. Cette zone est cependant sujette à un fort colmatage par la matière organique (Vase et débris végétaux).

7.3.2.3 Composition spécifique :

Surface : 868.53 m ²		Estimation de peuplement (Méthode Carle & Strub) ; station Rebenty à Cailla « Le Bac » ; Opération du 30/09/2021									
		P1	P2	PT	Efficacité	Effectif estimé	Intervalle de confiance	Densité Hectare	% de l'effectif	Biomasse Kg/Hectare	% du poids
Barbeau méridional	BAM	2	2	4	50	4	+/- 0	46	1	1	1
Chabot	CHA	8	3	11	73	11	+/- 0	127	3	1	1
Truite de rivière	TRF	209	72	281	66	317	+/- 25	3650	81	60	95
Vairon	VAI	30	21	51	38	78	+/- 39	898	15	2	3
TOTAL - Nb Esp : 8		249	98	347				4721		64	

Les densités estimées sont calculées par espèce selon la méthode de Carl et Strub lorsque la réduction d'effectif capturé entre les deux passages est suffisante. Dans ce cas, l'efficacité de capture du Chabot entre le premier et le second passage a été satisfaisante (73%).

Les résultats obtenus sur les Vairons et les Barbeaux Méridionaux traduisent cependant une efficacité plutôt faible sur ces espèces.

Qualification de l'Abondance d'une espèce (Verneau 1973 ; CSP 1995) : 0 : Absence ; 0.1 marginale ; 1 : très faible ; 2 : faible ; 3 : Moyenne ; 4 : forte ; 5 : très forte.

Espèce	Classe de densité	Classe de biomasse	Abondance globale de l'espèce
Barbeau méridional	1	1	Très Faible
Chabot	1	1	Très Faible
Truite de rivière	4	3	Moyenne
Vairon	1	1	Très Faible

Le tableau page suivante, présente la liste des 4 espèces de poissons capturées sur la station du Rebenty à Cailla « Le Bac » associées à leurs principales caractéristiques en termes d'autoécologie, leur caractère endémique ainsi que leurs statuts au titre de la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) au niveau national.

Eléments d'autoécologie des espèces capturées le 30/09/2021 sur le Rebenty à Cailla « Le Bac ».

Nom commun	Espèce	Éléments d'autoécologie	Endémisme	Liste rouge		Statut de protection	Directive Habitat
				Monde	France		
Barbeau Méridional	<i>Barbus Meridionalis</i>	Espèce rhéophile et lithophile	×	NT	NT	PN1, PN2, BE3	Annexes II et IV
Chabot	<i>Cottus Gobio</i>	Espèce rhéophile, lithophile, invertivore et cryophile.	×	LC	LC	PN2	Annexe II
Truite fario	<i>Salmo Trutta fario</i>	Espèce rhéophile, lithophile, invertivore et cryophile.	×			PN1, PN2	
Vairon	<i>Phoxinus Septimanie</i>	Espèce lithophile et omnivore	×	LC	LC		

PN 1 : Protection nationale. Arr. de 8 déc.1988 fixant la liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national.

PN 2 : Protection nationale. Arr. de 23 Avril 2008 fixant la liste des espèces de poissons et de crustacés et la granulométrie caractéristique des frayères en application de l'article R. 432-1 du code de l'environnement

BE2 - BE3 : espèce protégée au titre de la convention de Berne relative à la vie sauvage et au milieu naturel de l'Europe, annexe II et III

DH : Directive Habitat, annexes II & IV (NATURA 2000 : espèces d'intérêt communautaire) - DH2 : Espèces d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation -

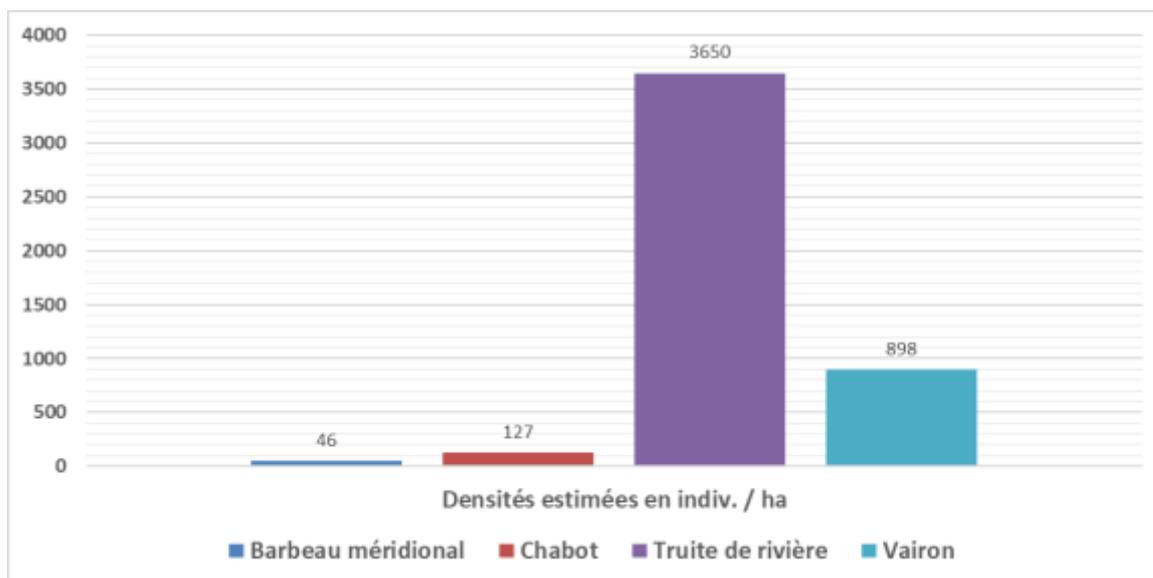
Liste rouge des espèces menacées de France métropolitaine (2019) - Statut U.I.C.N. : Six niveaux de menaces ont été déterminés : L.C. : préoccupation mineure ; N.T. : quasi menacé ; VU : vulnérable ; EN : en danger, CR : en Danger Critique d'Extinction ; DD : données Insuffisantes, NA : non applicable

La figure suivante illustre par des photos d'individus capturés sur la station, les espèces de poissons jugées remarquables au titre de leurs statuts de conservation et d'endémisme.



7.3.2.4 Densités estimés et classes de taille :

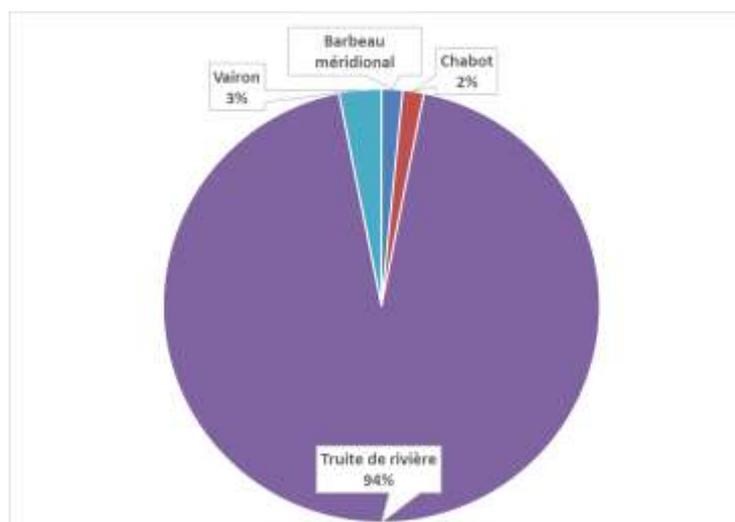
- **Analyse des densités numériques estimées (Méthode Carle & Strub) :**



La station du Rebenty à Cailla est largement dominée par la Truite Fario. Cette espèce occupe 77% de la densité totale échantillonnée sur la station. Les 23% restants sont occupés par l'ensemble des trois autres espèces d'accompagnement parmi lesquelles le Chabot. Ce dernier présente une densité très faible de 127 indiv. / ha.

- **Répartition de la biomasse par espèces**

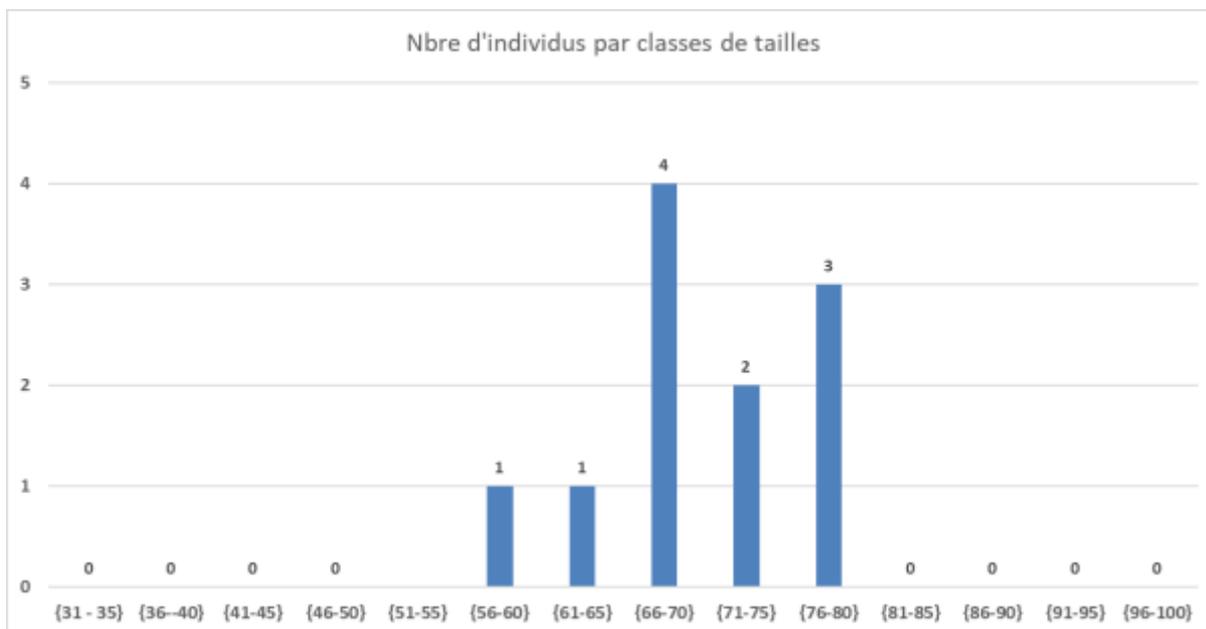
La biomasse spécifique représente la masse de l'ensemble des individus d'une espèce (en Kg) par unité de surface (hectare). Cet élément d'analyse s'avère plus pertinent que les seules densités d'individus pour la mise en évidence des espèces dominantes au sein d'un peuplement piscicole. Cet indicateur permet ainsi **de déterminer les espèces qui tirent le plus profit de la productivité globale du milieu**



L'analyse du graphique par secteurs du peuplement piscicole du Rebenty à Cailla confirme le précédent constat en plaçant la Truite Fario comme support de 94% de la biomasse piscicole totale.

Les autres espèces, parmi lesquelles le Chabot, ne concentrent qu'une part marginale de cet indicateur.

- **Analyse de la structure des populations de Chabots :**



La répartition des classes de tailles met en évidence la présence de plusieurs cohortes. La distinction précise des classes d'âge est néanmoins difficile (aucune étude de croissance n'existe sur le chabot de l'Aude). La bibliographie spécifique et les données piscicoles de la FDAAPPMA 11 peuvent cependant donner quelques indications sur le découpage potentiel des classes d'âges : (Maitland et Campbell, 1992 ; Mills et Mann 1983 ; Aquascope, 2017)

- Alevins : tailles inférieures à 50 mm
- Juvéniles et subadultes 50 à 70 mm
- Adultes à partir de 70 mm

La population de Chabot échantillonnée apparaît comme fortement déstructurée. En effet, les cohortes d'alevins de l'année n'ont pas été capturées et les individus en présence correspondent à des classes de subadultes ou d'adultes. Ces résultats peuvent témoigner d'une altération de la capacité de reproduction du chabot dans cette station notamment en lien avec la justesse du paramètre thermique vis-à-vis des exigences de l'espèce.

7.3.2.5 Évaluation du peuplement piscicole

L'utilisation de modèles statistiques constitue un outil important d'aide au diagnostic. Cette étude est basée sur un examen critique des potentielles déviations décelées entre les communautés piscicoles observées sur la station et celles théoriques calées à partir de cours d'eau non perturbés.

- **La biotypologie de Verneaux**

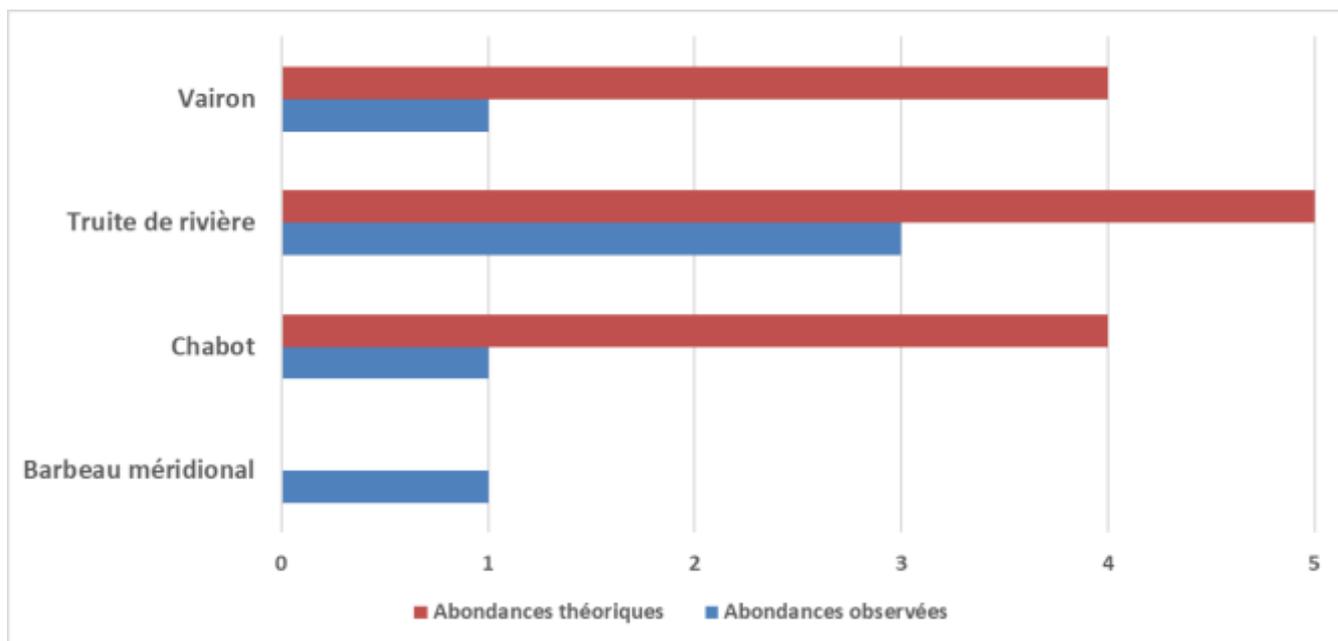
Cette biotypologie prend en compte différentes caractéristiques physiques (T°C (eau) des 30 jours les plus chauds, largeur lit mineur, section mouillée, pente, distance à la source) et chimiques (dureté) de la rivière permettant d'estimer l'abondance globale théorique de certaines communautés d'espèces en fonction de leurs besoins biologiques dans un milieu exempt de pressions.

Température maximale (°C)	16.7
Distance aux sources (km)	33.2
Dureté de l'eau (mg.l-1)	56.0
Section mouillée (m²)	1.4
Pente (‰)	15.0
Largeur du lit (m)	10
T1	4.845
T2	4.91959572
T3	-0.2302614
NTT	3.59856336

Le niveau typologique théorique (NTT) calculé pour la station est de 3.59, soit la zone B4- (équivalent de la zone à Truite sur la zonation de Huet). Selon des classes abondances appréciables (≥ 1), le nombre d'espèces théoriques serait de 6.

	Zone à Truite								
	B0-B1	B2		B3		B4			
NTT	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4		
CHA	2	3	4	5	5	4	3	■ espèce centrale	abondance optimale
TRF	1	2	3	3	4	5	5		
LPP		0.1	1	2	3	3	4	■ espèce intermédiaire	abondance moyenne
VAI			0.1	1	3	4	5		
LOF				1	2	3	4	■ espèce marginale	abondance faible
OBR				0.1	1	2	3		
CHE						0.1	1		
GOU						0.1	1		

Les spécificités du Rebenty induisent que certaines des espèces modélisées ne soient naturellement pas présentes sur le bassin versant (Lamproie de Planer, Loche Franche et Ombre commun).



Une fois remis dans son contexte biogéographique, le cortège d'espèces échantillonné sur la station du Rebenty à Cailla semble assez proche du peuplement de référence.

Il reste notable que la Truite fario, sans atteindre son abondance optimale, reste l'espèce centrale de la communauté piscicole.

Néanmoins, un déficit d'abondance affecte l'ensemble des taxons identifiés. Le Chabot se trouve ainsi intégré à une classe inférieure de trois niveaux à son abondance théorique.

• **Détails des résultats de l'Indice Poisson Rivière (IPR) :**

<i>Effectifs capturés et présence théorique des espèces (prise en compte par le modèle présidant au calcul de l'IPR)</i>			
Nom commune	Code	Effectif capturé	Probabilité de présence théorique
Ablette	ABL	0	0.05
Anguille	ANG	0	0.56
Barbeau fluviatile	BAF	0	0.73
Barbeau méridional	BAM	2	0.61
Blageon	BLN	0	0.29
Bouvière	BOU	0	0.01
Brème	BBB	0	0.03
Brochet	BRO	0	0.03
Carassins	CAS	0	0.01
Carpe commune	CCO	0	0.04
Chabot	CHA	11	0.07
Chevaine	CHE	0	0.85
Epinoche	EPI	0	0.00
Epinochette	EPT	0	0.00
Gardon	GAR	0	0.29
Goujon	GOU	0	0.70
Grémille	GRE	0	0.00
Hotu	HOT	0	0.03
Loche franche	LOF	0	0.25
Lote	LOT	0	0.00
Lamproie de Planer	LPP	0	0.00
Ombre	OBR	0	0.24
Poissons Chat	PCH	0	0.00
Perche	PER	0	0.01
Perche soleil	PES	0	0.21
Rotengle	ROT	0	0.01
Sandre	SAN	0	0.00
Saumon	SAT	0	0.00
Spirilin	SPI	0	0.00
Tanche	TAN	0	0.06
Toxostome	TOX	0	0.03
Truite	TRF	209	0.80
Vairon	VAI	30	0.80
Vandoise	VAN	0	0.26

<i>Synthèse des résultats</i>					
Métrique	Abréviation	Valeur théorique	Valeur observée	Probabilité*	Score associé
Nombre d'espèces rhéophiles	NER	3.1	3.0	0.5	1.5
Nombre d'espèces lithophiles	NEL	3.3	4.0	0.7	0.7
Nombre total d'espèce	NTE	7.0	4.0	0.2	3.1
Densité d'individus tolérants	DIT	0.0	0.0	0.9	0.2
Densité d'individus omnivores	DIO	0.0	0.0	0.9	0.2
Densité d'individus invertivores	DII	0.0	0.3	1.0	0.1
Densité totale d'individus	DTI	0.2	0.3	0.5	1.4
Valeur totale de l'I.P.R.					7.1
Classe de qualité / Etat du peuplement					Bonne

Note de IPR	Classe de qualité
<7	Excellente
]7-16]	Bonne
]16-25]	Médiocre
]25-36]	Mauvaise
>36	Très Mauvaise

Compte tenu des caractéristiques environnementales, le modèle probabiliste associé à l'indice indique qu'en situation de référence :

=> Au niveau de l'occurrence théorique des espèces :

- Une bonne corrélation sur trois taxons à forte probabilité de présence : **Barbeau Méridional (61%), Truite Fario (80%) et Vairon (80%)**.

- Une forte probabilité de présence théorique de quatre espèces absentes de l'inventaire l'Anguille (56%), Barbeau fluviatile (73%), Chevaine (85%) et du Goujon (70%).

- Une faible probabilité de présence théorique du **Chabot (7%)** ;

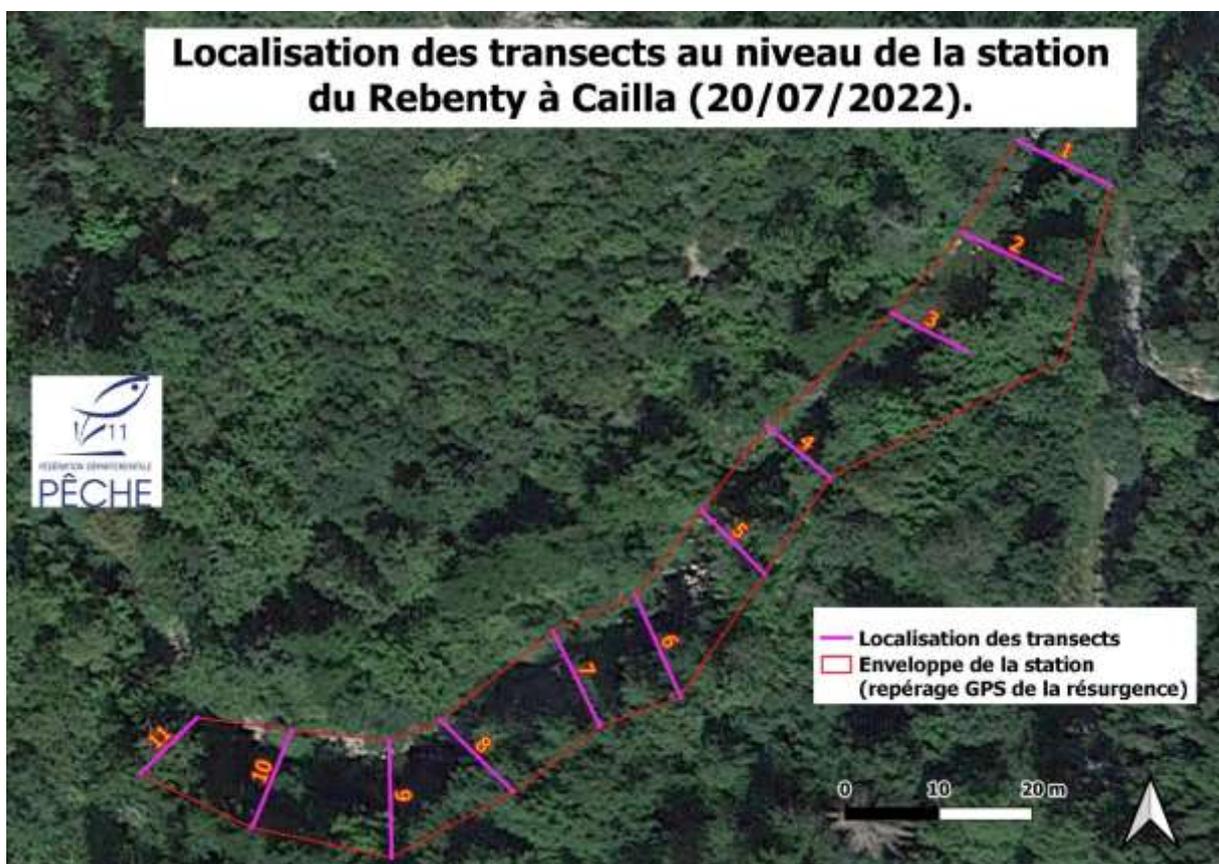
=> Au niveau des métriques basées sur l'abondance des espèces capturées en fonction de leurs traits biologiques (tableau synthèse des résultats), de légers déficits sont observables au niveau du nombre d'espèces appartenant à la guildes des rhéophiles et du nombre total d'espèces. Ceci est en parfaite corrélation avec les éléments présentés précédemment (occurrences théoriques).

Cependant, les faibles divergences détectées par le modèle probabiliste sur ses métriques de base se traduisent par une valeur faible de l'IPR (7.1) aboutissant à une **classe de qualité Bonne**.

7.3.2 Caractérisation de la qualité des habitats aquatiques

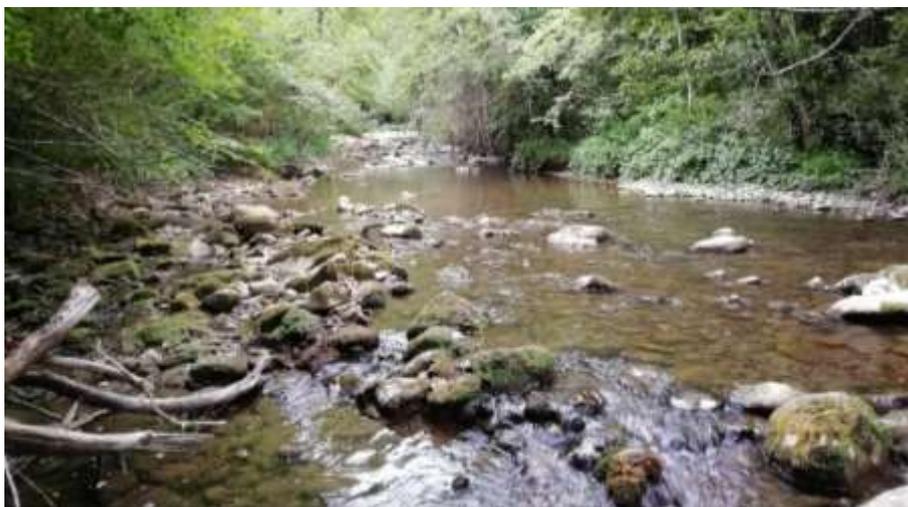
7.3.2.1 Organisation et conditions d'intervention

Sur la station du Rebenty à Cailla, 11 transects ont été réalisés dans la matinée du 20/07/2022 sur une longueur de 131 mètres. Pour cette période les débits mesurés au niveau de la station hydrologique de Saint Martin Lys étaient de l'ordre de 0.2 m³/s. Ceci correspond à des niveaux d'occurrence de quinquennale sèche.

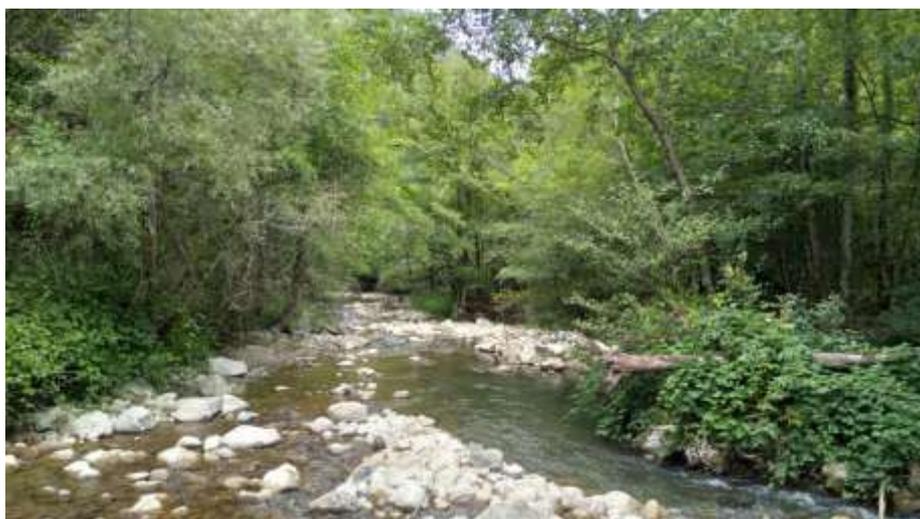


7.3.2.2 *Caractérisation des habitats aquatiques et de l'attractivité vis-à-vis des exigences du Chabot sur la station du Rebenty à Cailla*

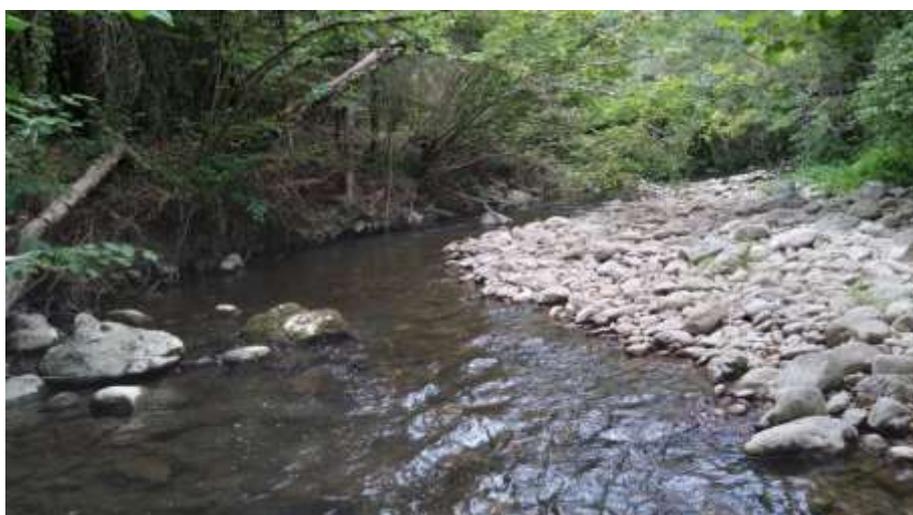
- **Vues représentatives de la station :**



Radier aval de la station



Partie centrale de la station



Radier amont de la station.

- **Cartographie des mosaïques d'habitats en rivière selon la logique des pôles d'attraction :**

➤ *Cartographie des métriques élémentaires : Hauteurs / Vitesses / Substrat et supports*

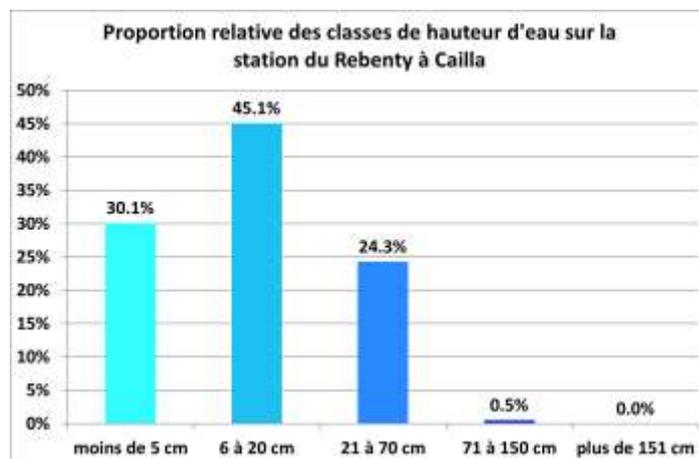
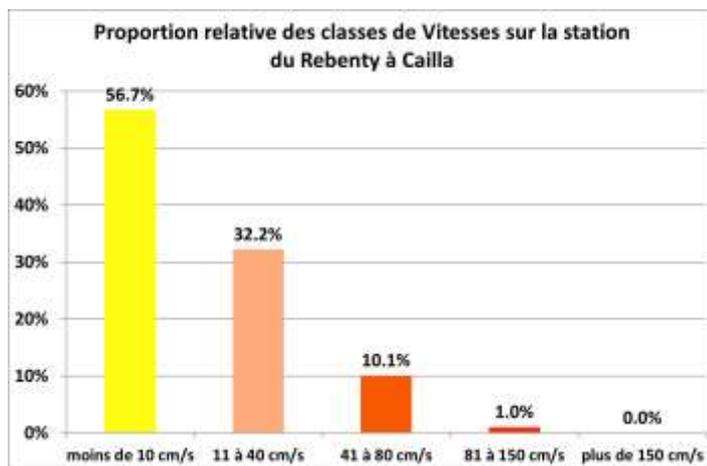
La station décrite par le protocole IAM a une longueur de 130 m de long pour 11,7 m de largeur moyenne et 1036 m² de surface totale. Les différents relevés de terrain ont été réalisés le 20 Juillet 2022 en période d'étiage pour une débit de 0.185 m³/s.

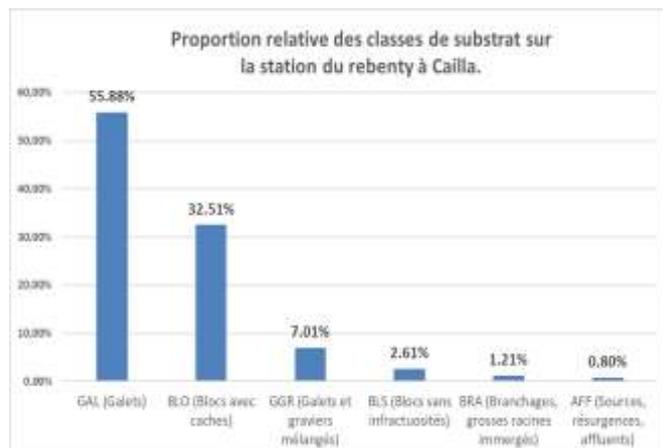
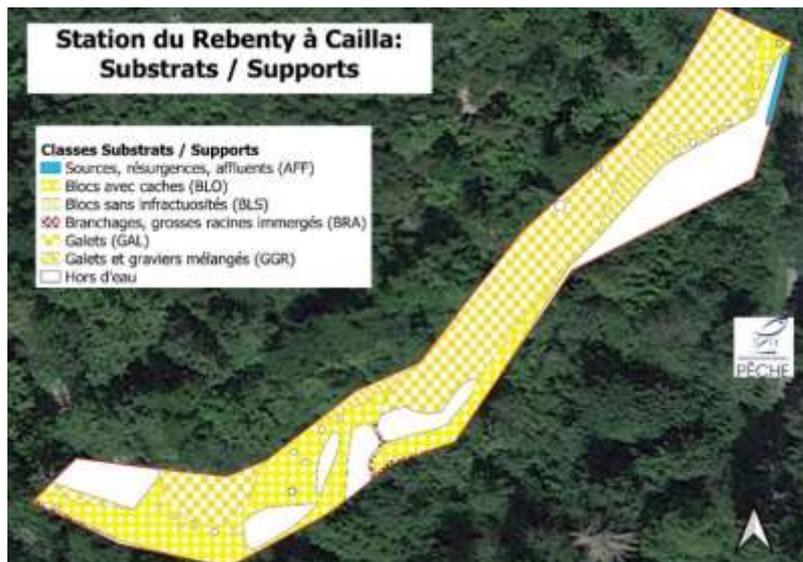
Le tableau suivant présente un récapitulatif des résultats obtenus sur la station prospectée :

Paramètres d'analyses	Variables Hauteur	Variables Vitesses	Variables substrat	Variable Pôles d'attractions
Variété	4	4	6	64
Diversité	0.47	0.42	0.46	1.84
Régularité	0.79	0.70	0.59	1.02

Il apparait que la station prospectée présente une variété et une diversité moyenne pour le paramètre substrat mais assez élevé pour les deux autres éléments (profondeur et vitesse) constituant le morphodynamisme du cours d'eau.

L'examen de la cartographie des vitesses et des hauteurs d'eau sur la station (figure 3), permet de visualiser l'hétérogénéité des métriques Hauteur/Vitesse traduisant la diversité des faciès d'écoulements.

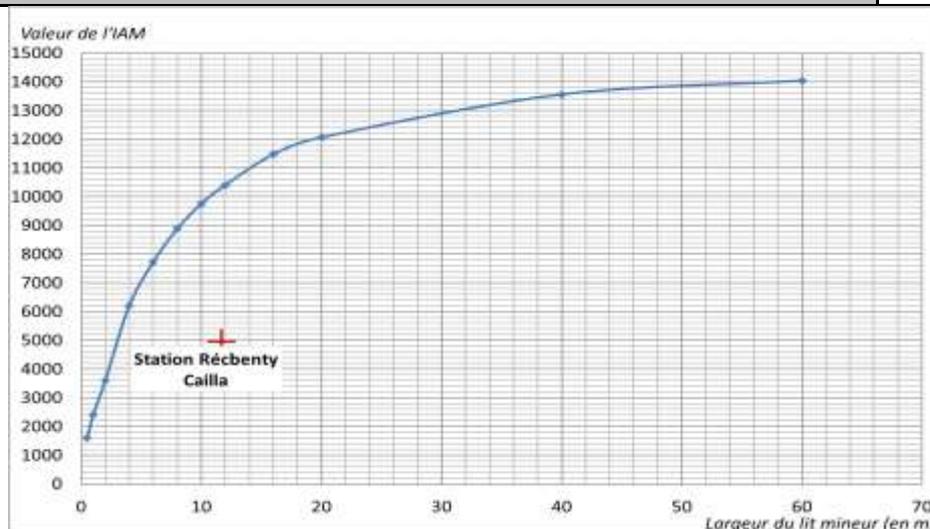




La station du Rebenty à Cailla est largement dominée par des substrats potentiellement favorables au Chabot (GAL, BLO et GGR) avec un recouvrement 96 % de la surface totale.

➤ *Calcul de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM) et comparaison avec un référentiel*

Calcul attractivité des substrats et de la note IAM				
Type de substrat	Surface (m ²)	Proportions	Attractivités	Surface relative *attractivité substrat
AFF (Sources, résurgences, affluents)	8.27	0.80%	70	0.56
BLO (Blocs avec caches)	336.92	32.51%	60	19.50
BLS (Blocs sans anfractuosités)	27.03	2.61%	30	0.78
BRA (Branchages, grosses racines immergés)	12.51	1.21%	100	1.21
GAL (Galets)	579.18	55.88%	50	27.94
GGR (Galets et graviers mélangés)	72.54	7.00%	25	1.75
Total	1036.45	1		
Somme surface relative *attractivité substrat				51.742
NOTE IAM				4967.28

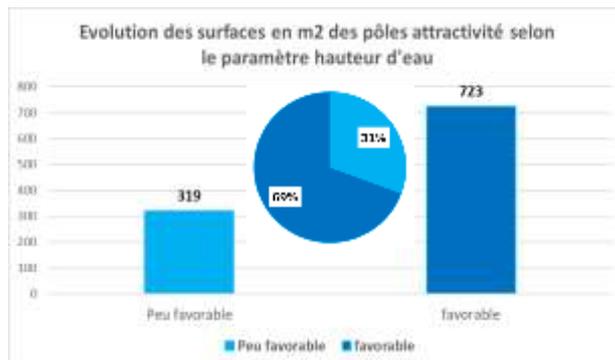


Au vu de la largeur moyenne du lit mineur du cours d'eau (11,7 m), l'Indice d'Attractivité Morphodynamique optimal, calculé d'après des cours d'eau de référence, se situe entre 9 750 et 10 400 (DEGIORGI F. et al). Sur le tronçon étudié, l'IAM observé est de 4967.28.

En dépit d'une bonne diversité de pôles d'attractivité, cette faible valeur de l'indice traduit surtout un déficit d'habitats piscicoles en lien avec le fort étiage observé sur la station au moment des mesures. En effet, l'exondation de large surface d'atterrissement en lit mineur et la déconnexion avec les habitats rivulaires induisent une perte importante de capacité d'accueil pour la faune piscicole.

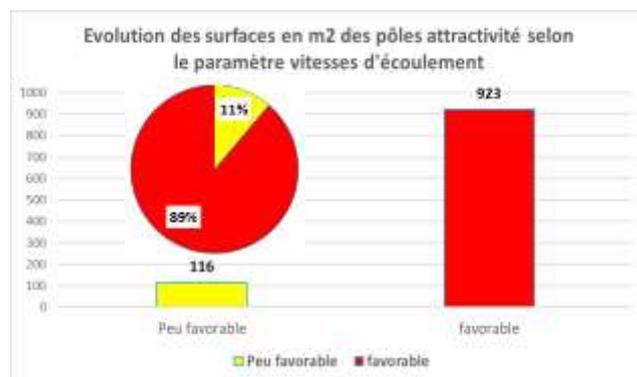
- **Évaluation de l'attractivité de la station vis-à-vis des exigences du Chabot :**

➤ *Cartographie des classes de hauteurs favorables au Chabot :*



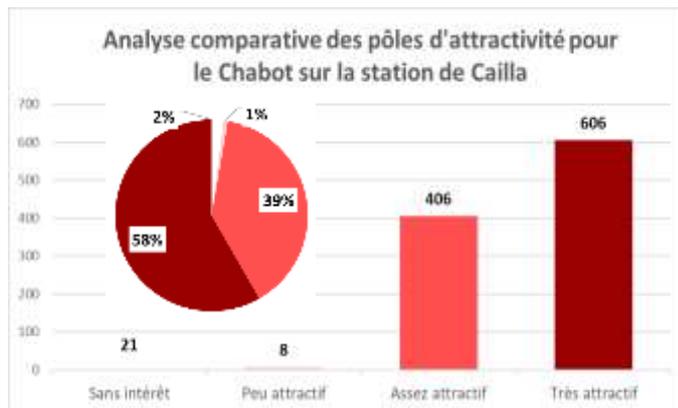
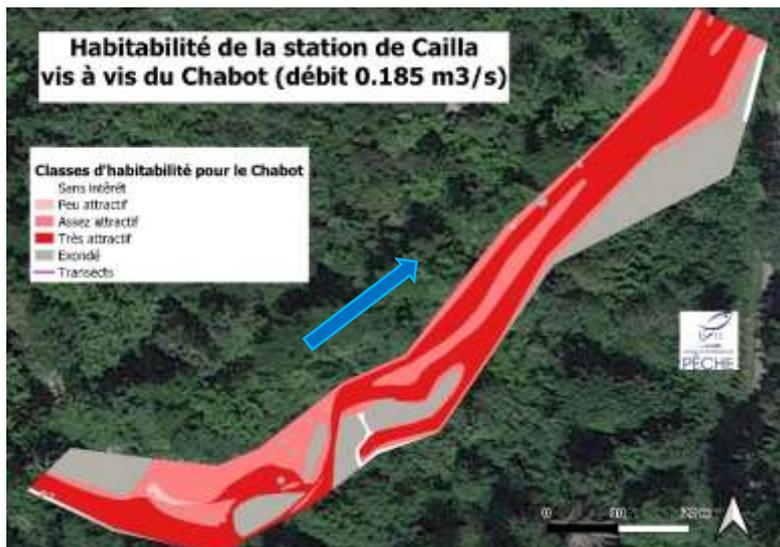
Les hauteurs d'eau identifiées comme favorables sont dominantes sur la station du Rebenty à Cailla avec un recouvrement de 69 %.

➤ *Cartographie des classes de vitesses favorables au Chabot :*



Les vitesses d'écoulement identifiées comme favorables restent largement dominantes sur la station du Rebenty à Cailla avec un recouvrement de 89 %.

➤ Cartographie des pôles d'attractions pour un débit de à 0.185 m³/s



L'analyse cartographique effectuée sur la base de l'interception des composantes fondamentales Vitesses / Hauteurs / Substrat permet d'identifier les vastes secteurs répondant aux exigences écologiques du Chabot sur la station du Rebenty à Cailla.

Les habitats identifiés comme très attractifs sont largement majoritaires en proportion avec 58% des surfaces mouillées totales, soit plus de 600m².

Les surfaces ne répondant qu'à deux critères élémentaires sur trois sont réputées « assez attractives » et recouvrent l'essentiel des autres surfaces mouillées avec une représentation de 39%. Les facteurs limitants identifiés sont alternativement les vitesses d'écoulements en partie centrale et les hauteurs au niveau du radier amont de la station.

Comme indiqué précédemment, **la station présente un substrat qualifié de favorable sur près de 96 % de sa surface mouillée.** Il reste à signaler, qu'en termes de qualité d'habitat, les apports, à priori bénéfiques, de la résurgence ne peuvent être considérés comme significatifs en lien avec les faibles débits observés.

Enfin, les surfaces identifiées comme sans intérêt ou peu attractives ne concernent que 3 % des surfaces mouillées totales. Elles se cantonnent très ponctuellement aux habitats de berges encore submergés malgré l'étiage sévère : Sous berges et Branchages / Grosses racines immergés. Il est par ailleurs intéressant de noter qu'en dépit d'une conformité jugée nulle vis-à-vis des exigences du Chabot, ce type d'habitat présente une attractivité jugée maximale pour la faune piscicole selon les critères de l'IAM.

- **Conclusions :**

Au niveau de la station du Rebenty à Cailla, l'expertise menée au travers de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique fait ressortir **une bonne diversité de pôles d'attractivité mais une faible valeur de l'indice (note de 4967.28 pour une valeur optimale de 10000 en situation de référence).**

Cette note traduit aussi dans ce cas un déficit d'habitats piscicoles en lien avec le fort étiage observé sur la station au moment des mesures. En effet, **l'exondation de large surface d'atterrissement en lit mineur et la déconnexion avec les habitats rivulaires induisent une perte importante de capacité d'accueil pour la faune piscicole.**

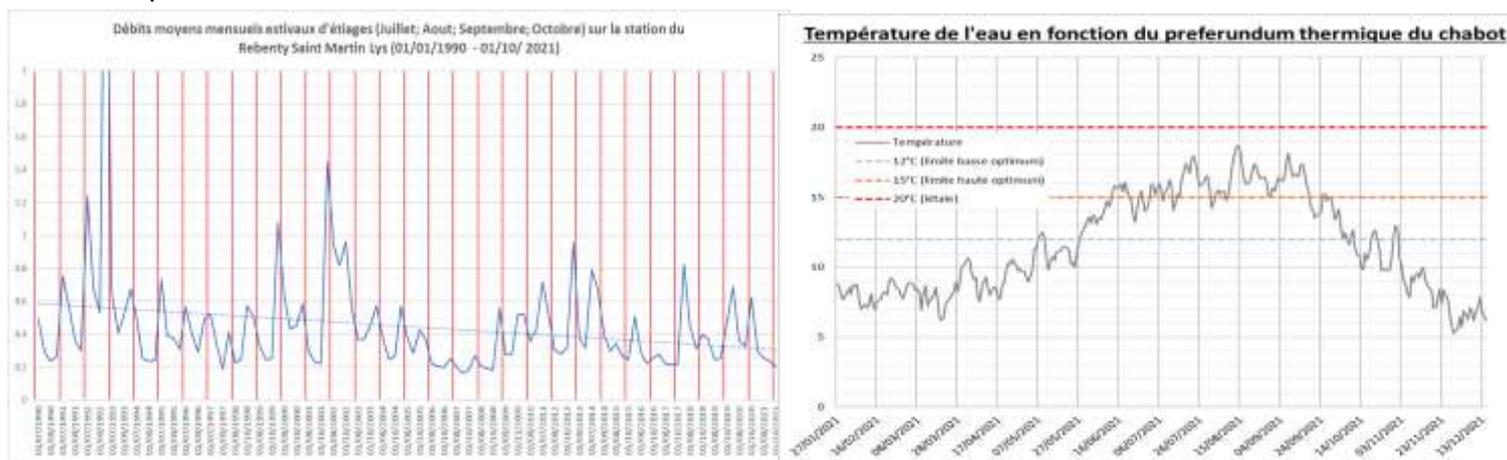
Concernant la conformité de la station vis-à-vis des exigences du Chabot, la cartographie des surfaces potentiellement favorables fait ressortir une importante attractivité pour l'espèce. En effet, **les secteurs qualifiés de très attractifs recouvrent 58% de la station et 39% pour ceux assez attractifs.**

De cette façon, **l'étude des conditions habitationnelles potentiellement très favorables pour le Chabot ne saurait expliquer les très faibles abondances observées sur cette station.**

L'étude **des régimes thermiques et hydrologiques du bas Rebenty** réalisée en 2021 pourrait cependant constituer une piste sérieuse concernant les effondrements globaux d'abondances piscicoles observés sur le bas Rebenty.

Dans ce contexte, l'examen des chroniques de la station hydrométrique de Saint Martin Lys a mis en évidence **une baisse significative des débits moyens mensuels observés sur la période d'étiage (Juillet, Août, Septembre et Octobre) sur les 31 dernières années. Ainsi, la courbe de tendance passe d'une valeur de 0.6 m3/s pour l'étiage 1990 à 0.3m3/s en 2021.**

En lien probable avec ce constat, **les mesures thermiques réalisées à proximité de cette station indiquent un régime thermique potentiellement perturbant pour le Chabot.** Les températures relevées supérieures à 16°C en moyenne sur les 30 jours les plus chauds et des pics instantanés supérieurs à 20°C.

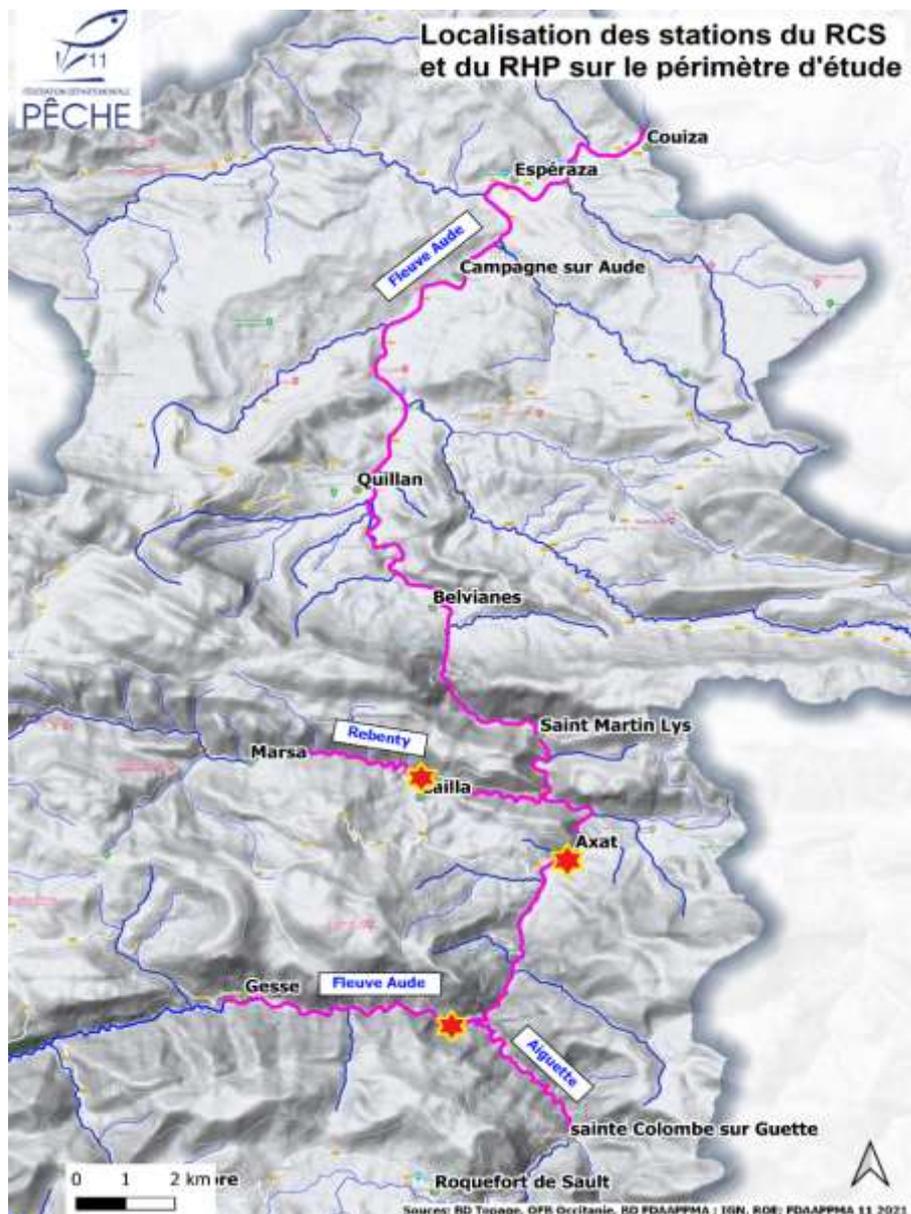


8. Analyse diachronique de l'évolution du compartiment biologique à l'échelle de l'aire de répartition du Chabot :

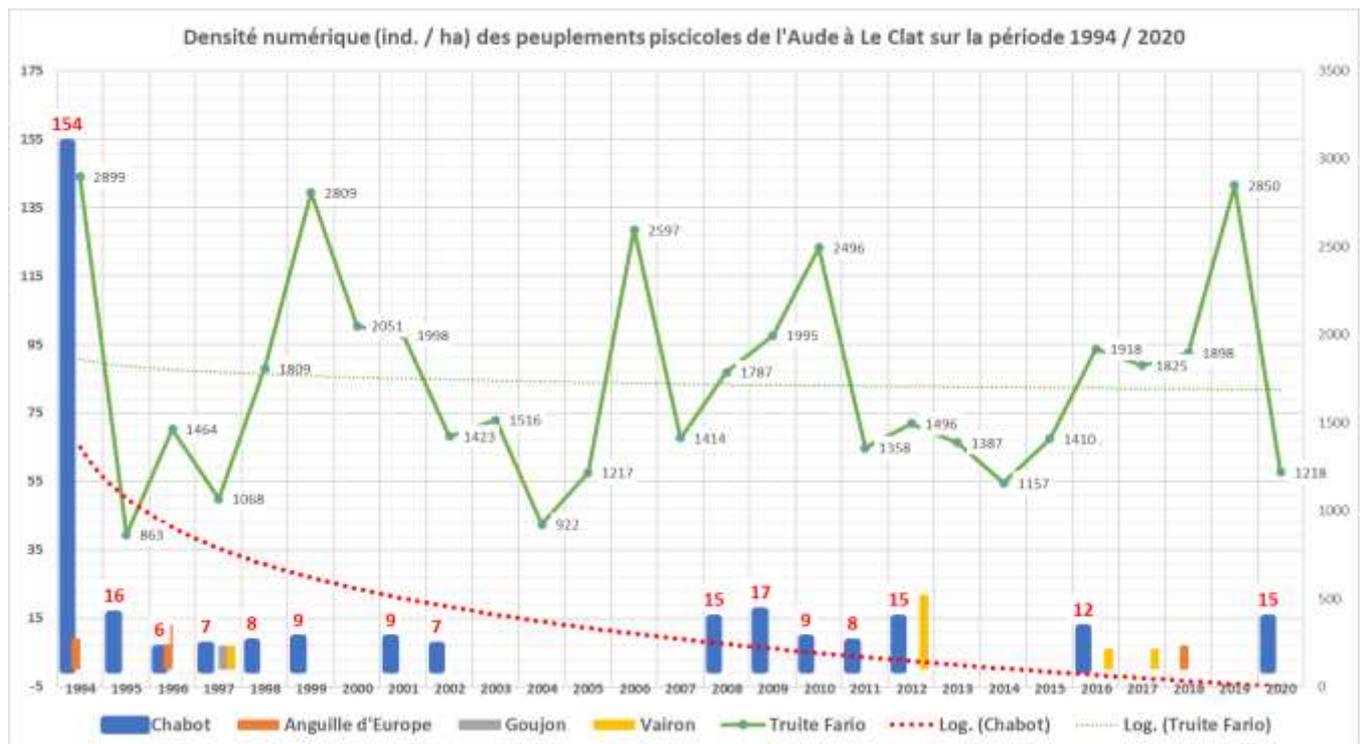
8.1 Evolution des peuplements piscicoles sur le périmètre d'étude :

Comme vu précédemment, l'aire de répartition du Chabot dans l'Aude intègre trois stations bénéficiant de chroniques de données sur des périodes significatives permettant de dégager une tendance fiable (pêches complètes). Ces dernières sont associées aux réseaux de suivis et de surveillance de l'Etat (RCS et RHP) : Rebenty à Cailla (06175645) et l'Aude à Le Clat (06175620). Ces stations représentatives offrent l'avantage de s'intégrer au sein de tronçons soumis à des pressions distinctes précédemment identifiées.

Dans le cadre de cette partie, une interprétation de l'évolution des densités de l'ensemble des espèces capturées a été réalisée au niveau de chaque station. Les résultats analysés sont issus de la base de données ASPE mise à disposition par l'OFB. Les densités numériques utilisées correspondent au nombre total d'individus réellement capturés, divisé par la surface échantillonnée quelques soit le procédé d'échantillonnage.



8.1.1 L'aude à Le Clat « Saint Georges » (06175620) :



L'importante chronique de donnée de la station de Saint Georges (26 années d'opérations) met en évidence un peuplement piscicole dont la richesse spécifique tend à s'appauvrir au fil du temps. Ainsi, 4 espèces ont été identifiées de façon discontinue sur cette station. Une distinction doit cependant être apportée concernant les taxons présents de façon naturelle, et ceux potentiellement introduits dont la colonisation, éphémère et en faible densité, peut être favorisée par la présence de retenues et barrages en amont. Les Goujons (1 occurrence) et Vairons (4 occurrences) semblent entrer dans cette catégorie.

La communauté piscicole naturelle de cette station est composée de l'Anguille d'Europe, du Chabot et de la Truite Fario. En qualité d'espèce migratrice amphihaline anadrome et de son mauvais état de conservation, l'Anguille ne peut pas être considérée comme marqueur pertinent des perturbations environnementales et des variations de la qualité habitationnelle infra-stationnelle.

L'analyse des densités de Truite fario et de Chabot permet de constater la large dominance du salmonidé sur l'ensemble de la chronique. L'interprétation de l'évolution de ces deux populations est mise en évidence par les courbes de tendances.

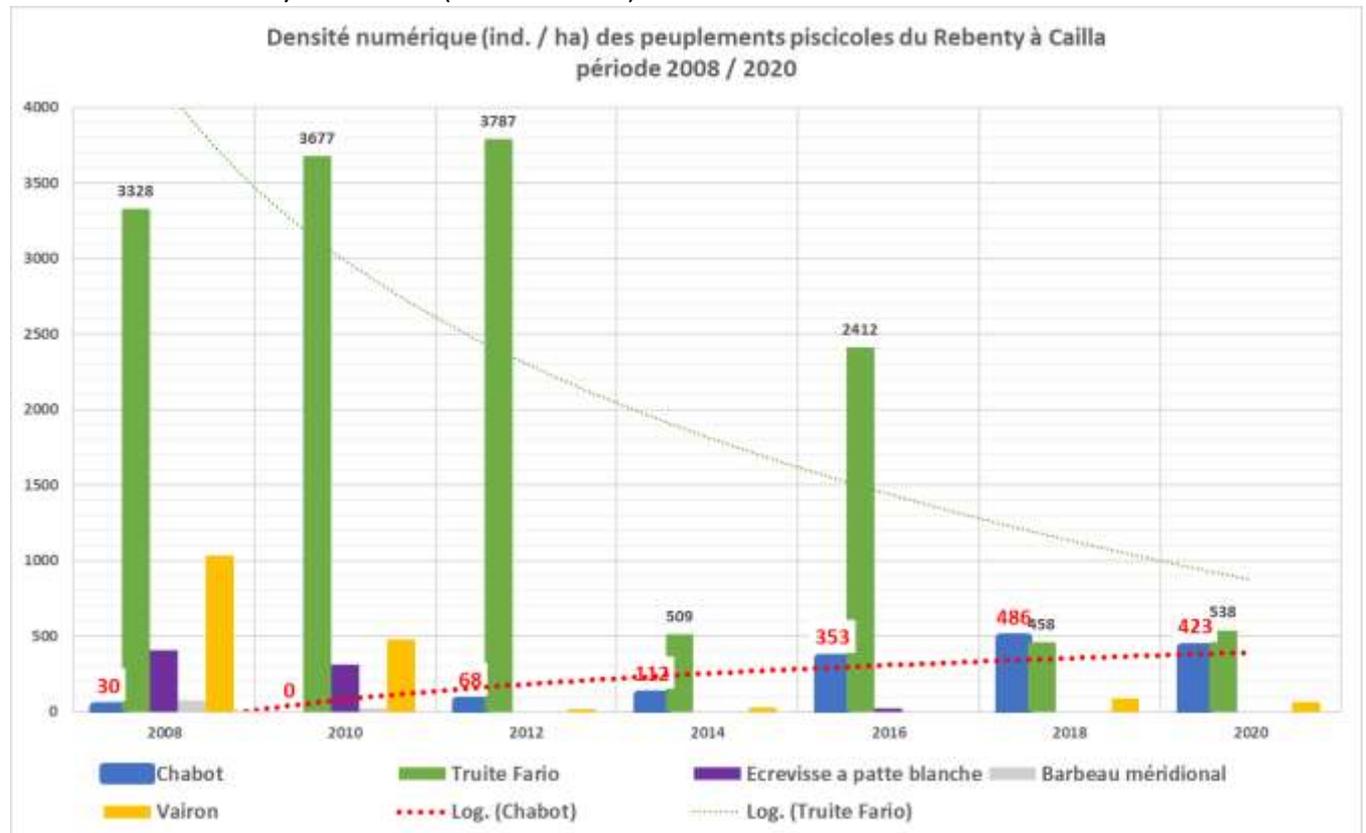
Les densités de Chabots ont connu un fort déclin dès 1995 (division de facteur 10) sans que les niveaux initiaux soient à nouveaux atteints sur la chronique. Par ailleurs, les fréquences d'occurrences des captures sur les inventaires piscicoles tendent aussi à graduellement diminuer sur les trois dernières décennies : Intervalle 1994 / 2003 : 80%, Intervalle 2004 / 2013 : 50%, Intervalle 2014 / 2020 : 25%.

Les densités de Truite Fario connaissent aussi un important décrochage entre les années 1994 / 1995 avec une division de facteur 3. Cependant, l'ensemble de la chronique ne permet pas de déceler une tendance franche sur l'évolution des densités. En effet, conformément à la biologie et la résilience naturelle de l'espèce, les fluctuations interannuelles peuvent être importantes du fait de recrutements plus ou moins efficaces selon l'hydrologie de l'hiver précédent. Contrairement à la biomasse, la mesure des densités est particulièrement sensible à ce facteur.

Il est cependant possible de noter que les fortes baisses de densités en Truites Fario sont souvent concomitantes à celles des Chabots. La chute observée entre 1994 et 1995 est particulièrement prégnante car il s'agit de la limite au-delà de laquelle les abondances de Chabots deviennent invariablement marginales.

Dans un contexte hydrologique fortement anthropisé, l'historique des manœuvres de maintenances ayant concernés les grands ouvrages gestionnaires des débits permet l'identification de la procédure de vidange du barrage de Puyvalador réalisée lors de l'été 1995. Dès lors, des modifications des caractéristiques environnementales de la station (morpho dynamique et habitationnelle) sont démontrées par les relevés effectués par les agents du CSP. Il est ainsi possible d'observer la disparition des faciès profonds, des fractions granulométriques moyennes (Pierres) et l'inflation des proportions en sables grossiers. L'important colmatage du substrat et la dégradation générale des conditions habitationnelles pour le Chabot est certainement la cause primaire de cette baisse durable des densités sur ce tronçon.

8.1.2 Le Rebenty à Cailla (06175645) :



Le cortège d'espèces contacté à hauteur de la station regroupe 5 espèces piscicoles (Barbeau Méridional, Chabot, Truite fario et Vairon) et 1 astacicole d'intérêt patrimonial (Écrevisse à patte blanche). Détecté pour la première fois en 2004 sur le Rebenty (confluence avec l'Aude), le Vairon semble avoir été introduit sur ce bassin.

Dans ce contexte salmonicole, la Truite fario correspond logiquement à l'espèce centrale du peuplement. Ses effectifs ont cependant connu une chute importante en 2014 (division de facteur 8) et se maintiennent depuis sur des classes de densités faibles à très faibles.

Le Barbeau méridional (espèce thermophile) et l'écrevisse à patte blanche qui présentaient des densités marginales à très faibles en début de chronique n'ont plus été capturés depuis 2010.

Avec une augmentation significative de ses densités (rapport >10) le Chabot constitue une exception. En effet, les densités d'abord marginales et / ou discontinues observées entre 2008 et 2012 amorcent

une hausse dès 2014 pour se stabiliser entre 2018 et 2020 à des niveaux faibles (classes de densités : 2).

Il est probable que dans un milieu plus contraint que le cours de l'Aude, le Chabot ait bénéficié de la « place libérée » (baisse de concurrence interspécifique) et / ou d'une plus faible pression de prédation vis-à-vis de la Truite.

Il reste cependant notable que les densités toutes espèces confondues sur la station aient été divisées par un facteur 5 entre 2008 et 2020.

8.2 Bioévaluation basée sur le compartiment des macroinvertébrés benthiques : I2M2

8.2.1 Stations de prélèvements :

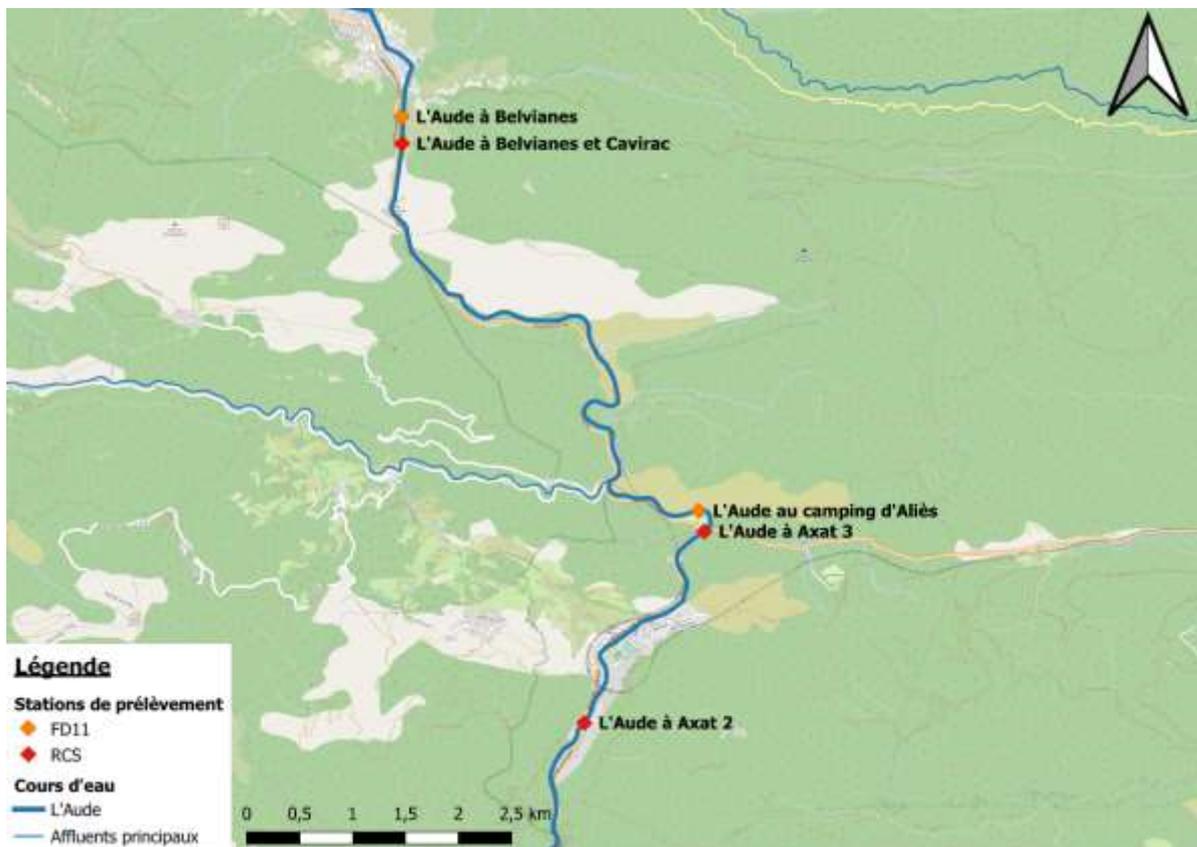


Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques dans la Haute Vallée de l'Aude

- **L'Aude à Belvianes**



Figure 2 : Photographie de la station de l'Aude à Belvianes

La station de l'Aude à Belvianes est située à la sortie des gorges de la Lys, à environ 1 km en amont de Belvianes-et-Cavirac. L'échantillonnage par la FDDAAPPMA11 du compartiment des macroinvertébrés benthiques selon le protocole I2M2 (Indice Invertébrés Multi Métriques) a été réalisé le 10 août 2021.

Un site d'échantillonnage recensé sur Naïade appelé « 6175650 – L'Aude à Belvianes-et-Cavirac » est situé environ 250 mètres en amont de la station de la FDAAPPMA11, au droit du parking le long de la D117 en amont de Belvianes-et-Cavirac. Les données qui seront utilisées résultent d'un protocole d'échantillonnage de type IBG (Indice Biologique Global) en 2001, 2006, 2011 et 2013 et d'un protocole I2M2 en 2016.

- **L'Aude au camping d'Aliès**

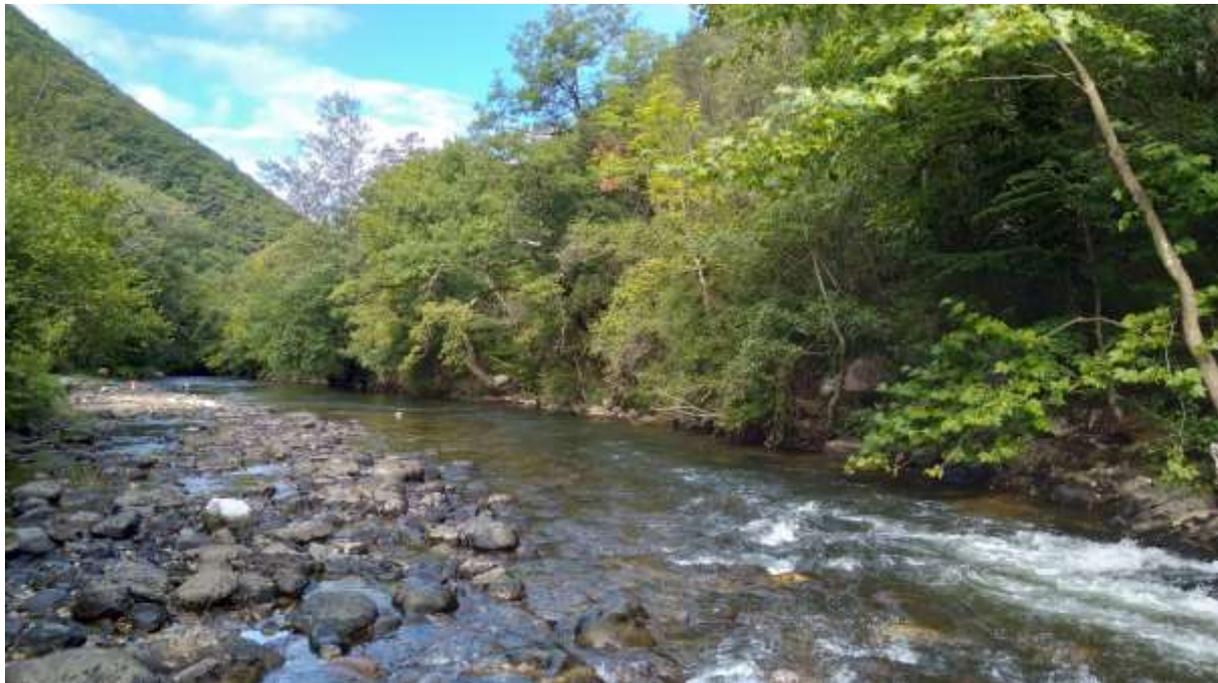


Figure 3 : Photographie de la station de l'Aude au camping d'Aliès

La station de l'Aude au camping d'Aliès est située juste à l'aval du pont d'Aliès au droit du camping en aval d'Axat. L'échantillonnage par la FDDAAPPMA11 du compartiment des macroinvertébrés benthiques selon le protocole I2M2 (Indice Invertébrés Multi Métriques) a été réalisé le 20 septembre 2021.

Un site d'échantillonnage recensé sur Naïade appelé « 6175630 – L'Aude à AXAT 3 » est situé environ 300 mètres en amont de la station de la FDAAPPMA11 au niveau exact du pont d'Aliès. Les données qui seront utilisées résultent d'un protocole d'échantillonnage de type IBG en 2001, 2006, 2011 et 2013.

- **L'Aude à Axat 2**



Figure 4 : Photographie de la station de l'Aude à Axat 2

Enfin, afin d'approfondir notre diagnostic nous nous intéresserons aux données de la station RCS nommée « 6175600 – L'Aude à AXAT 2 » qui se situe au droit du pont sur la D118 en amont d'Axat. En effet, cette la population de macroinvertébrés aquatiques de cette station est suivie annuellement depuis les années 2000 et avec des données issues d'un protocole I2M2 depuis 2008 ce qui permettra de disposer d'un ensemble important de données robustes.

7.4.2 L'Aude à Belvianes

Données antérieures :

En 2016, la station de l'Aude à Belvianes-et-Cavirac présente aussi un bon état écologique avec une note I2M2 de 0,544 EQR. Cette évaluation est soutenue par le fait que la richesse taxonomique soit assez importante (0,571 EQR). Néanmoins la diversité du peuplement est nulle, probablement à cause de la dominance écrasante d'un seul taxon sur le peuplement (Gammarus). De plus la métrique ASPT présente une valeur de 0,816 EQR ce qui traduit une très bonne polluosensibilité de l'ensemble des taxons présent et donc une bonne qualité de l'eau vis-à-vis des polluants. Néanmoins le milieu semble être assez perturbé sur cette station. En effet, le polyvoltinisme atteint 0,519 EQR et l'ovoviviparité 0,696 EQR.

Métrique	EQR
Indice de Shannon (H')	0,0
AverageScorePerTaxon (ASPT)	0,816
Polyvoltinisme	0,519
Ovoviviparité	0,696
Richesse taxonomique	0,571
Note I2M2	0,544

Pour ce qui est de l'état écologique de l'Aude sur la station de Belvianes-et-Cavirac entre 2001 et 2016, d'après les notes Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (Figure 7), il semble y a voir une légère amélioration ou du moins une stabilité de ce premier avec une note à la limite supérieure du bon état écologique en 2001 et des notes dans la classe de qualité du très bon état écologique le reste de la chronique.

Néanmoins ces données de IBGN surestiment probablement légèrement la qualité écologique du cours d'eau sur cette station. En effet cet indice est basé uniquement sur la sensibilité à la pollution (essentiellement organique) des taxons échantillonnés et ne tient absolument pas compte des impacts d'ordre physique sur le milieu. Cette hypothèse est appuyée par le fait que la note IBGN de 2016 sur cette station a été recalculée à partir du prélèvement I2M2 fait cette année et dont nous parlions plus haut. Or, l'IBGN place l'état écologique local en haut de la classe « Très bon état » alors que l'I2M2, prenant en compte plus de paramètres dans son calcul et notamment des pressions physiques sur le milieu, la place à la limite supérieure de la classe « Bon état ».

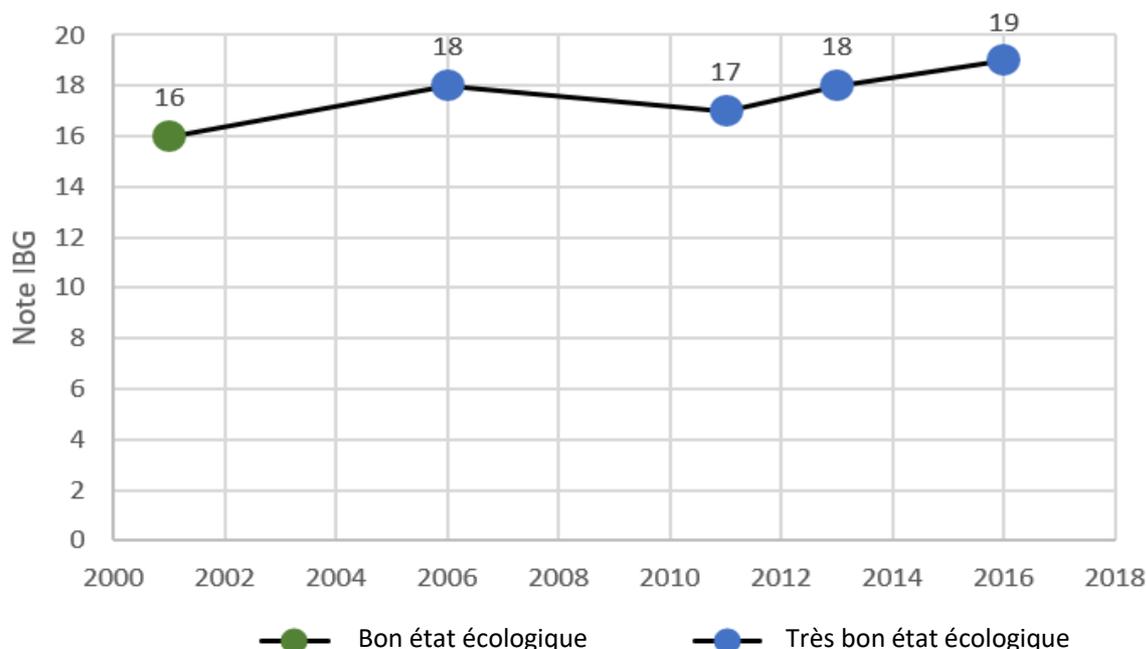


Figure 5 : Chronique temporelle des notes IBGN de la station de Belvianes-et-Cavirac entre 2001 et 2016

En conclusion, il semble de cette station soit en bon état écologique, et ce sur le long terme d'après les données I2M2 et IBGN dont nous disposons. Néanmoins, cette station semble perturbée de manière assez notable (que ce soit en 2016 ou en 2021). En effet, on observe des scores de métriques de l'ovoviviparité et du polyvoltinisme importants en 2016 mais aussi de manière bien plus notable en 2021. De plus, la richesse taxonomique de la station semble assez variable selon les années et le peuplement peut être dominé par un seul taxon conduisant à une diversité taxonomique très basse comme en 2016. Enfin, le peuplement de la station indique une bonne qualité locale de l'eau vis-à-vis des polluants en 2016 et 2021, au travers d'une bonne polluosensibilité générale du peuplement. La bonne qualité physico-chimique générale de l'eau en 2016 (comme sur le reste de la période de 2012 à 2020) est confirmée par les données « eaufrance » (Annexe 1). Ainsi, tout cela conduit à conclure à une instabilité du milieu d'ordre physique sur cette station. Cela est en effet confirmé et précisé par l'outil diagnostique nous indiquant une pression due à l'instabilité hydraulique s'exerçant sur la station en 2021.

7.4.3 L'Aude au camping d'Aliès

En 2021, la station de l'Aude au camping d'Aliès présente un état écologique moyen avec une note I2M2 de 0,4092 EQR et donc un écart à la référence assez important. Cette évaluation est soutenue par le fait que le peuplement soit pauvre taxonomiquement (0,1141 EQR) et extrêmement peu diversifié ($H'=0,0162$). Cette diversité inexistante peut être expliquée par la pauvreté taxonomique du peuplement mais surtout par l'abondance relative écrasante d'un seul taxon (*Gammarus*) vis-à-vis des autres taxons. Néanmoins l'ensemble du peu de taxons présents est assez polluosensible ($ASPT=0,5673$ EQR) et la station présente donc une qualité de l'eau vis-à-vis des polluants assez bonne. Enfin le milieu sur cette station est perturbé de manière significative. En effet, le polyvoltinisme atteint 0,5477 EQR et l'ovoviviparité 0,62 EQR.

Métrique	EQR
Indice de Shannon (H')	0,0162
AverageScorePerTaxon (ASPT)	0,5673
Polyvoltinisme	0,5477
Ovoviviparité	0,62
Richesse taxonomique	0,1141
Note I2M2	0,4092
Nb taxons contributifs	26

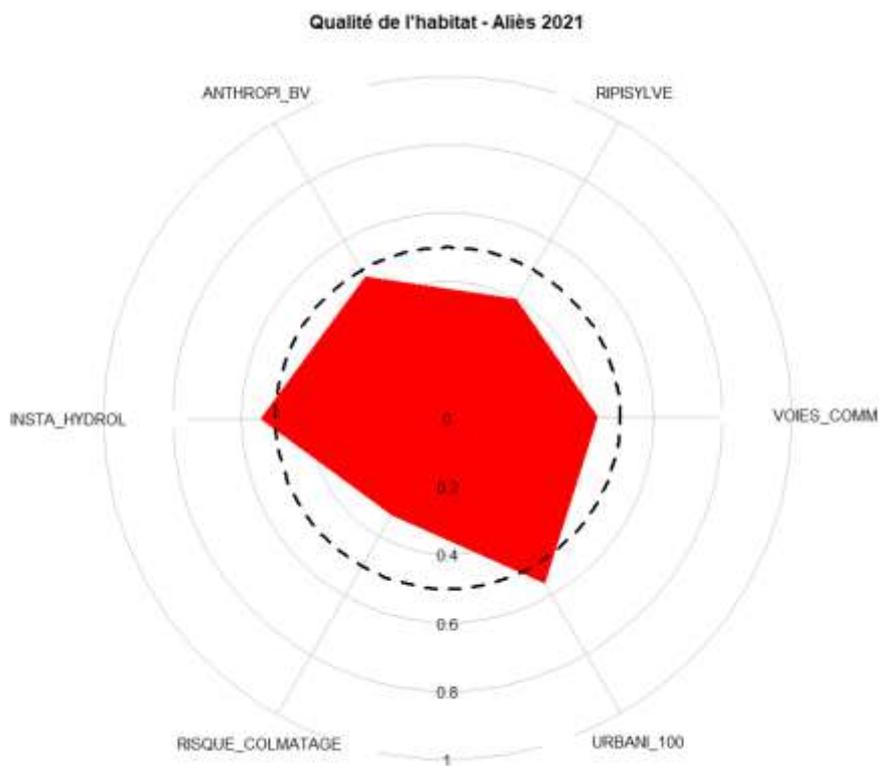


Figure 6 : Diagramme radar des pressions s'exerçant sur l'habitat de la station d'Aliès en 2021 d'après l'Outil Diagnostic Invertébrés

En ce qui concerne l'habitat au niveau de la station d'Aliès en 2021, seule l'instabilité hydrologique et l'urbanisation riveraine (100m autour de la station) semblent être des pressions impactant significativement ce premier (Figure 8). Ces perturbations sont logiques et attendues sur cette station. En effet notre zone d'études est soumise aux éclusées et cette station est située au droit immédiat d'un camping. Néanmoins, ces deux pressions restent limitées ayant toutes deux des scores de 0,55 EQR.

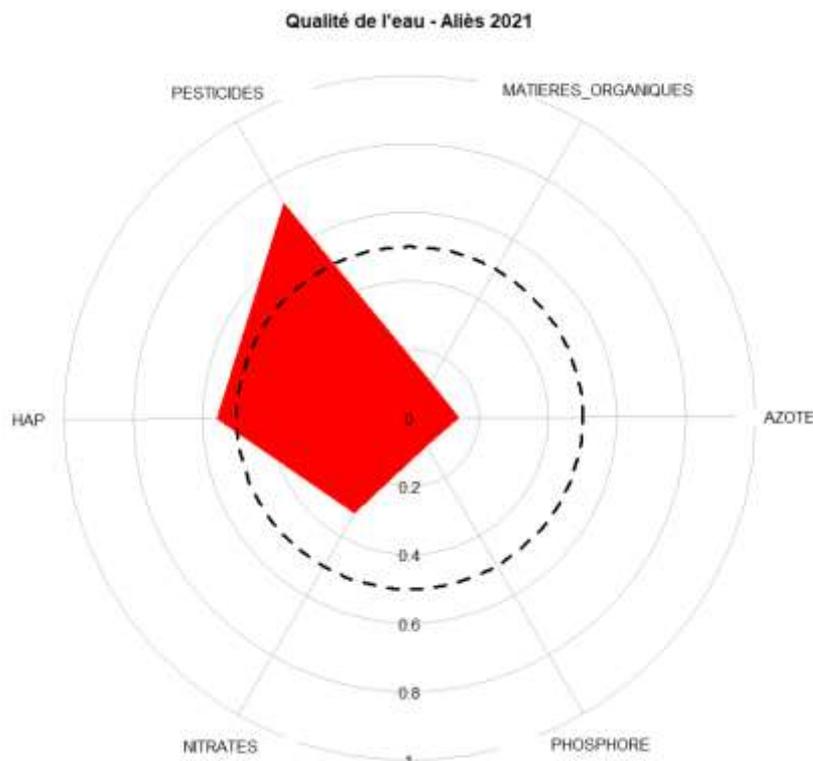


Figure 7 : Diagramme radar des pressions s'exerçant sur la qualité chimique de l'eau de la station d'Aliès en 2021 d'après l'Outil Diagnostic Invertébrés

En revanche pour ce qui est de la qualité de l'eau au niveau de la station d'Aliès en 2021, ce sont la présence de pesticides et d'hydrocarbures qui sont des pressions impactant significativement cette première (Figure 9). L'impact des pesticides semble être plus impactante que celle des hydrocarbures avec respectivement des scores de 0,72 EQR et 0,55 EQR. La présence d'hydrocarbures peut être expliqué par le fait que notre station se situe sous un pont routier et à proximité immédiate d'une route. Pour ce qui est des pesticides cela pourrait s'expliquer par leur utilisation dans le camping bordant notre station ou bien à Axat situé juste en amont de cette dernière. Néanmoins il est aussi probable que ce soit aussi un artefact du calcul de l'I2M2. En effet, il semble que ce problème de diagnostic par l'I2M2 de pression de pesticides sur le milieu là où cela n'a pas lieu d'être soit connu.

Données antérieures :

Pour ce qui est de l'état écologique de l'Aude sur la station de AXAT 3 entre 2001 et 2013, d'après les notes Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (Figure 10), il semble y avoir eu une amélioration de ce premier entre 2001 et 2006 avec respectivement des notes IBGN de 13 (bon état) en 2001 et de 17 (très bon état) en 2006. Par la suite entre 2006 et 2013 il semble y avoir eu une relative stabilité de l'état écologique d'après le peu de données disponibles sur cette station. Néanmoins, comme dit précédemment, ces données de IBGN surestiment probablement la qualité écologique du cours d'eau sur cette station en ne prenant pas en compte les pressions physiques s'exerçant sur le milieu.

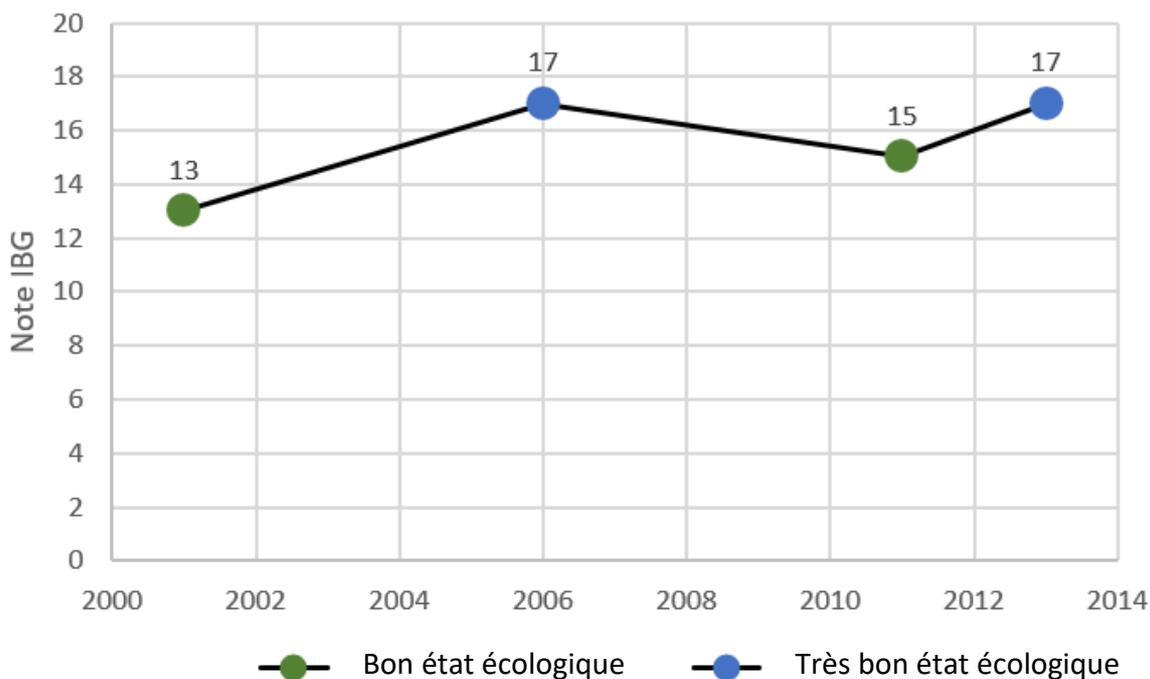


Figure 8 : Chronique temporelle des notes IBGN de la station d'Axat 3 entre 2001 et 2013

En conclusion, il semble de cette station ait un état écologique variable au cours du temps. En effet, la station est classée en état écologique moyen en 2021 d'après la note I2M2 et a varié entre le bon état et le très bon écologique d'après l'IBGN entre 2001 et 2013. Néanmoins, il est probable que l'état écologique ait été surestimé, faute de prise ne compte des pressions physiques dans le calcul, par l'IBGN entre 2001 et 2013. De plus, cette station semble perturbée en 2021. En effet, on observe des scores de métriques de l'ovoviviparité et du polyvoltinisme notables cette année-là. De plus, la richesse taxonomique de la station est très faible en 2021 et le peuplement est dominé par un seul taxon conduisant à une diversité taxonomique très basse. Enfin, le peuplement de la station indique une bonne qualité locale de l'eau vis-à-vis des polluants, au travers d'une assez bonne polluosensibilité générale du peuplement cette année-là. Ainsi, tout cela conduit à conclure à une instabilité du milieu d'ordre physique sur cette station. Cela est en effet confirmé par l'outil diagnostic nous indiquant que l'instabilité hydraulique et l'urbanisation dans un rayon de 100m autour de la station affectent significativement le milieu. Néanmoins, il semble aussi exister des pressions chimiques s'exerçant sur la station en 2021 d'après l'outil diagnostic. En effet, ce dernier nous fait remonter une problématique de pollution aux HAP et aux pesticides sur la station. Et si la pression due aux pesticides est peut-être un artefact de calcul, la pollution aux HAP semble plus certaine et logique avec la présence d'un pont routier sur la station.

7.4.4 L'Aude à Axat 2

En 2021, la station de l'Aude à Axat 2 présente un bon état écologique moyen avec une note I2M2 de 0,493 EQR et donc un écart à la référence moyen. Cette évaluation est soutenue par le fait l'ensemble du peuplement est très polluosensible (ASPT=0,796 EQR) et la station présente donc une bonne qualité de l'eau vis-à-vis des polluants. De plus, le milieu sur cette station est perturbé de manière significative sans être trop importante. En effet, le polyvoltinisme atteint 0,528 EQR et l'ovoviviparité 0,662 EQR. Néanmoins, le peuplement est assez pauvre taxonomiquement (0,314 EQR) et extrêmement peu diversifié (H'=0,0). Cette diversité inexistante peut être expliquée par la pauvreté taxonomique du peuplement mais surtout par l'abondance relative écrasante d'un seul taxon vis-à-vis des autres taxons

Métrique	EQR
Indice de Shannon (H')	0,0
AverageScorePerTaxon (ASPT)	0,796
Polyvoltinisme	0,528
Ovoviviparité	0,662
Richesse taxonomique	0,314
Note I2M2	0,493

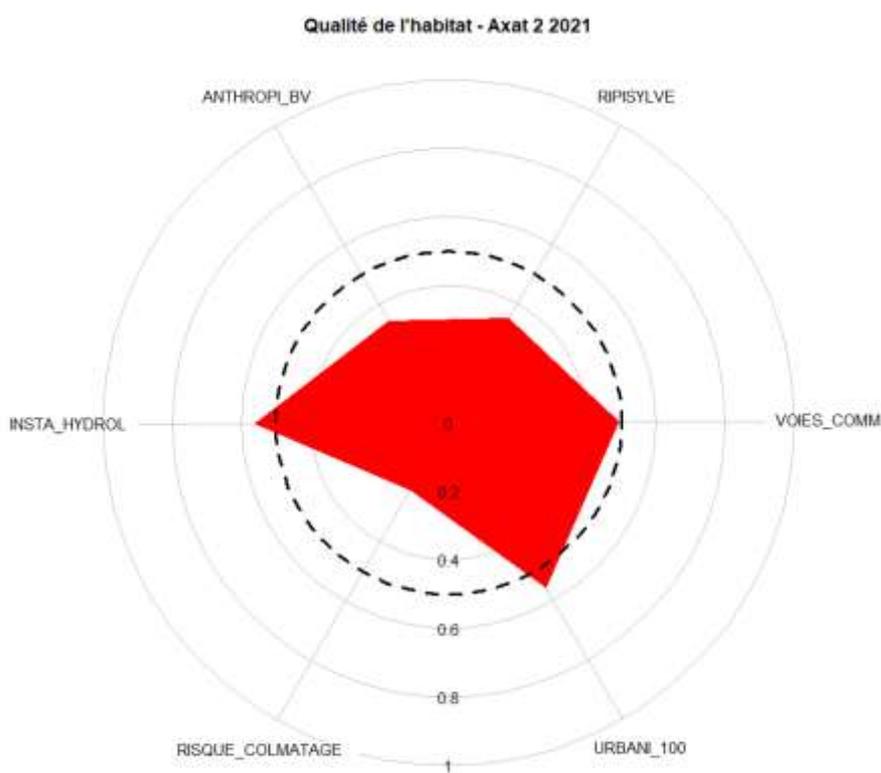


Figure 9 : Diagramme radar des pressions s'exerçant sur l'habitat de la station d'Axat 2 en 2021 d'après l'Outil Diagnostic Invertébrés

En ce qui concerne l'habitat au niveau de la station d'Axat 2 en 2021, seule l'instabilité hydrologique et l'urbanisation riveraine (100m autour de la station), comme à Aliès, semblent impacter significativement ce premier (Figure 11). Ces perturbations sont logiques et attendues sur cette station. En effet notre zone d'études est soumise aux éclusées et cette station est située dans le village d'Axat, au droit d'un pont routier. Néanmoins, ces deux pressions restent encore une fois limitées ayant toutes deux des scores d'environ 0,55 EQR.

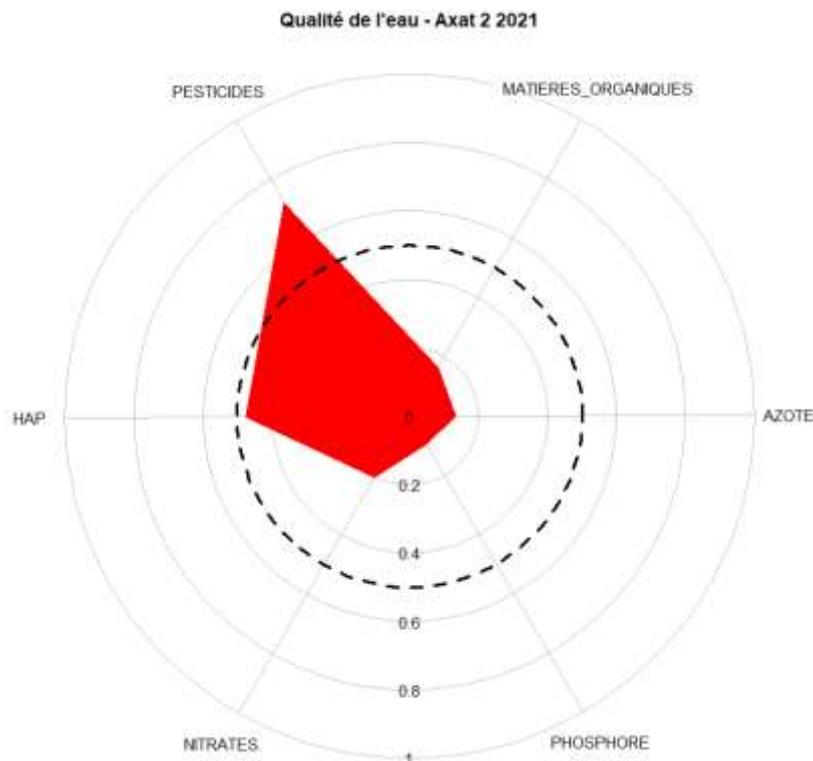


Figure 10 : Diagramme radar des pressions s'exerçant sur la qualité chimique de l'eau de la station d'Axat 2 en 2021 d'après l'Outil Diagnostic Invertébrés

Pour ce qui est de la qualité de l'eau au niveau de la station d'Axat 2 en 2021, c'est la présence de pesticides qui semblent impacter significativement cette première (Figure 12). Cette pression associée aux pesticides cela pourrait s'expliquer par leur utilisation dans le village. Néanmoins, tout comme à Aliès, il se peut que ce soit aussi un artefact du calcul de l'I2M2. Cela semble en effet être le cas au vu de la bonne qualité physico-chimique générale de l'eau en 2021 et notamment des polluants spécifiques (comme sur le reste de la période de 2012 à 2021) d'après les données sur la station disponible sur « eaufrance » (Annexe 2).

Concernant l'état écologique de l'Aude sur cette station entre 2008 et 2021, d'après les notes I2M2 (Figure 13), il semble y avoir eu une relative stabilité de l'état écologique durant toutes ces années à l'exception d'une dégradation de ce dernier en 2015 et 2016. En effet, les notes I2M2 diminuent à 0.473 EQR en 2015 et 0.379 EQR en 2016 conduisant l'état écologique à passer à la classe « état moyen » en 2016 avant un retour au bon état écologique en 2017. Cette dégradation de l'état écologique évalué par l'I2M2 est en accord avec les importantes sécheresses ayant eu lieu ces deux années et coïncide avec un important effondrement piscicole local lors de la plus forte des sécheresses en 2016.

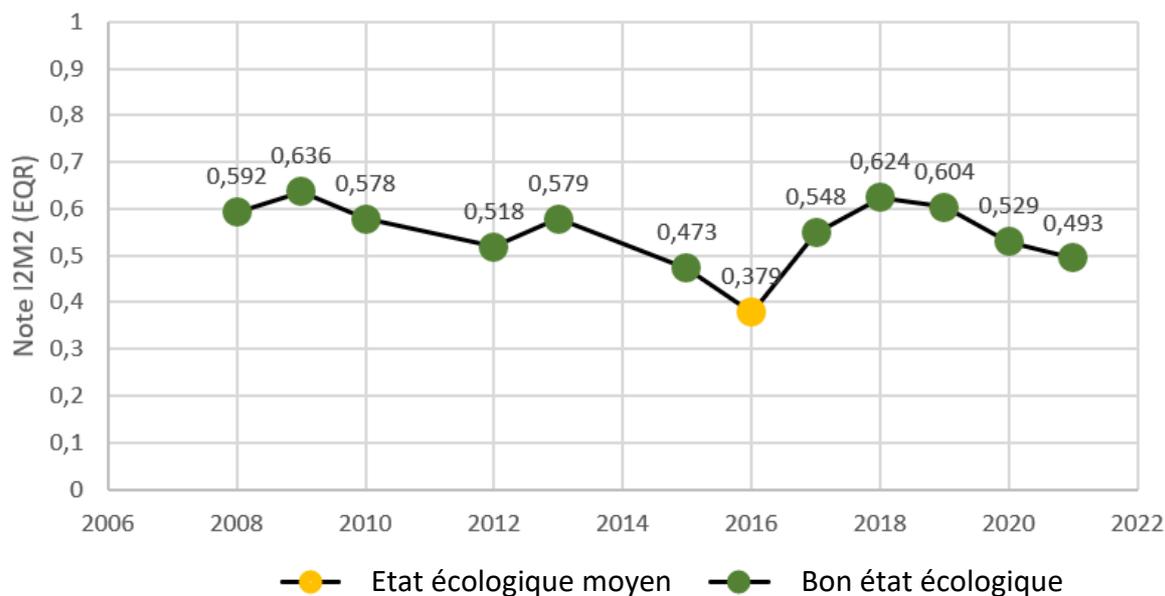


Figure 11 : Chronique temporelle des notes I2M2 de la station d'Axat 2 entre 2008 et 2021

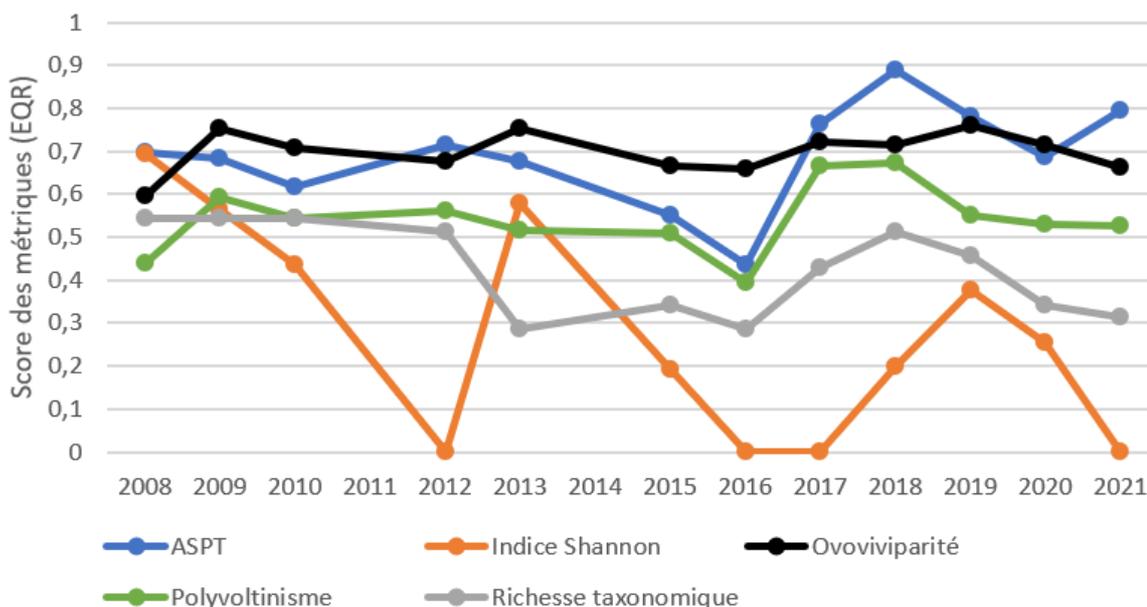


Figure 12 : Chronique temporelle des différentes métriques de l'I2M2 de la station d'Axat 2 entre 2008 et 2021

Pour la métrique ASPT durant cette période, cette dernière présente de bonnes valeurs sur l'ensemble de la chronique à l'exception de 2015 et 2016 où les valeurs sont plus faibles (Figure 14).

Ainsi, le peuplement de macroinvertébrés sur cette station semble être assez polluosensible sur le long terme malgré de petites variations dans le temps et donc que la qualité de l'eau vis-à-vis des polluants est bonne et relativement stable elle aussi. Il est à noter que l'année 2018 a été particulièrement favorable aux individus polluosensibles avec un score de la métrique ASPT de 8.9 EQR traduisant une très bonne qualité de l'eau vis-à-vis des polluants cette année-là.

La métrique de l'ovoviviparité est elle assez stable dans le temps avec des valeurs comprises entre 0.65 et 0.76 EQR sur les dix dernières années (Figure 14). Cela démontre un peuplement au mode de reproduction relativement conforme à la référence mais à un milieu assez perturbé.

La métrique du polyvoltinisme est elle aussi relativement stable dans le temps à l'exception de l'année 2016 où les individus polyvoltins ont été moins favorisés par le milieu que les autres modes de reproduction et les années 2017 et 2018 où c'est la conclusion inverse (Figure 14). Dans tous les cas, la métrique de polyvoltinisme indique elle aussi un milieu assez perturbé sur la quasi totalité de sa chronique.

Pour ce qui est de la richesse taxonomique, cette dernière était relativement stable et indiquait un milieu avec un nombre d'espèces moyen et assez éloigné de la référence jusqu'en 2012. Par la suite cette dernière a baissé de presque de moitié en 2013 pour réaugmenter graduellement jusqu'en 2018. Il est possible que cette diminution du nombre d'espèce soit due aux travaux ayant été réalisés entre 2010 et 2013 sur les centrales hydroélectriques de Nentilla et Escouloubre situées juste en amont de cette station. Après 2018, la richesse taxonomique est repartie à la baisse (Figure 14). Ainsi, la richesse taxonomique sur notre période d'intérêt est au mieux moyenne et subit des pertes brusques régulières cela traduit, encore une fois, un milieu assez instable.

Enfin, l'indice de Shannon présente de très fortes variations temporelles sur notre période (Figure 14). En effet, l'indice de Shannon de notre peuplement sur la station d'Axat 2 est en forte baisse de 2008 à 2010, en passant d'environ 0,7 EQR, soit une bonne diversité assez proche de la référence, à environ 0.43 EQR en 2010 faisant état d'une diversité bien plus faible et médiocre. Par la suite, cette métrique s'effondre à 0 entre 2010 et 2012 avant de réaugmenter fortement à 0,58 en 2013 pour s'effondrer de nouveau immédiatement pour atteindre 0 en 2016 et 2017. Par la suite, il réaugmente jusqu'à atteindre 0,38 EQR en 2019 pour de nouveau s'effondrer et atteindre 0 en 2021. Les récurrentes très mauvaises valeurs de cet indice résultent d'une richesse taxonomique souvent faible mais surtout de la dominance d'un seul groupe taxonomique (principalement les gammareux qui sont très résistants et opportunistes) qui domine totalement le peuplement lorsque l'indice atteint 0. Tout cela démontre un réel déséquilibre et une perturbation forte du milieu local.

En conclusion, il semble de cette station ait un état écologique assez stable au cours du temps. En effet, à l'exception de la baisse de note de 2015 et 2016 due à d'importantes sécheresses et ayant déclassé l'état écologique en état moyen en 2016 sur cette station, cette dernière possède un bon état écologique sur l'ensemble du reste de la chronique d'I2M2 dont nous disposons. Néanmoins, cette station, comme les autres stations de cette étude, semble perturbée en 2021. En effet, on observe des scores de métriques de l'ovoviviparité et du polyvoltinisme notables cette année-là. De plus, la richesse taxonomique de la station est assez faible en 2021 et le peuplement est dominé par un seul taxon conduisant à une diversité taxonomique très basse. Enfin, le peuplement de la station indique une bonne qualité locale de l'eau vis-à-vis des polluants, au travers d'une très bonne polluosensibilité générale du peuplement cette année-là. Ainsi, tout cela conduit encore une fois à conclure à une

instabilité du milieu d'ordre physique sur cette station. Cela est en effet confirmé par l'outil diagnostic nous indiquant que l'instabilité hydraulique et l'urbanisation dans un rayon de 100m autour de la station affectent significativement le milieu. Enfin, l'outil diagnostic fait remonter la pression due aux pesticides sur la station mais cela à l'air d'être dû à un artefact de calcul au vu des données disponibles sur la qualité de l'eau sur la station (Annexe 2). De manière générale l'ensemble de ces conclusions sur l'état écologique de la station d'Axat 2 est valable pour toutes les années que couvrent notre chronique d'I2M2 au vu des différentes métriques le composant.

7.4.5 Synthèse des éléments capitalisés :

En conclusion, il semble que l'état écologique de nos stations de la Haute Vallée de l'Aude soit assez bon durant la dernière décennie. Néanmoins, il arrive ponctuellement que les peuplements de macroinvertébrés locaux soient de moins bonne qualité que d'autres années, comme en 2021 pour la station du camping d'Aliès ou en 2016 pour celle d'Axat 2, ayant toutes deux un état écologique moyen d'après l'I2M2.

De plus, les populations locales de macroinvertébrés semblent assez instables dans le temps avec notamment d'importantes variations de richesse et de diversité taxonomique (dus à la dominance d'un seul taxon, le gammare, sur le peuplement) selon les années. De plus, la proportion d'individus polyvoltins et ovovivipares dans le peuplement est systématiquement importante peu importe la station ou l'année. Or, ces individus avec ce type de reproduction sont caractéristiques des milieux perturbés. Il semble donc qu'au moins une perturbation relativement constante impacte le milieu aquatique de la Haute vallée de l'Aude, comme le laissait présager les importantes variations de richesse et diversité taxonomique locales. En revanche, la polluosensibilité moyenne des taxons des différents peuplements est systématiquement assez élevée peu importe l'année ou la station. Cela indique une bonne qualité de l'eau vis-à-vis des polluants. Ainsi, l'état altéré et instable des populations locales de macroinvertébrés benthiques semble due à une ou des perturbations d'ordre physique et non chimique.

Cette perturbation générale d'ordre physique semble confirmée par l'outil diagnostic associé à l'I2M2 et la précise un peu. En effet, cet outil indique systématiquement un effet significatif de l'instabilité hydraulique sur les peuplements locaux. L'outil diagnostic indique aussi régulièrement un effet significatif sur le benthos de l'urbanisation voisine des stations et des pesticides. Néanmoins, dans le cas des pesticides, ce diagnostic d'impact significatif semble être un artefact du calcul de l'outil diagnostic. En effet, aucun problème local dû à l'utilisation locale de tels produit n'est connue, la polluosensibilité des peuplements de la Haute Vallée de l'Aude est assez bonne dans le temps et enfin une analyse des polluants spécifique a été faite sur la station d'Axat 2 en 2021 et ne révèle aucun problème à l'inverse de l'outil diagnostic.

Ainsi, le milieu aquatique de la Haute Vallée de l'Aude semble impacté de façon générale par l'instabilité hydraulique très probablement imputable aux éclusées, et plus ponctuellement par l'urbanisation. En effet, la centrale hydroélectrique de Saint George se situe seulement 900m en amont de la station d'Axat 2 et celle de Nentilla, délivrant des volumes d'éclusées bien plus important, à environ 3km en amont de la station de prélèvement. Il semble néanmoins essentiel de coupler cette étude sur les seuls macroinvertébrés avec une étude sur les autres compartiments du milieu aquatique et notamment sur la partie hydromorphologique afin de confirmer et préciser ces premières conclusions.

9 Amélioration des connaissances sur l'écologie de l'espèce et de l'impact des activités humaines :

9.1 Analyse génétique sur l'ensemble de l'aire de répartition :

9.1.1 Protocole d'échantillonnage et localisation

Afin d'actualiser l'aire de répartition du Chabot commun, une phase importante a été mise en place par la Fédération de pêche de l'Aude. Plusieurs pêches électriques ont eu lieu sur des points stratégiques afin de borner les limites de répartition de la population du poisson mais également d'évaluer l'abondance relative des populations de Chabot. Des pêches électriques étaient prévues au droit d'anciennes stations mais également dans des zones à fort potentiel de présence de l'espèce où aucun inventaire n'avait été fait (**Figure 13**). Toutes ces pêches ont été préparées et programmées par la Fédération de pêche de l'Aude.

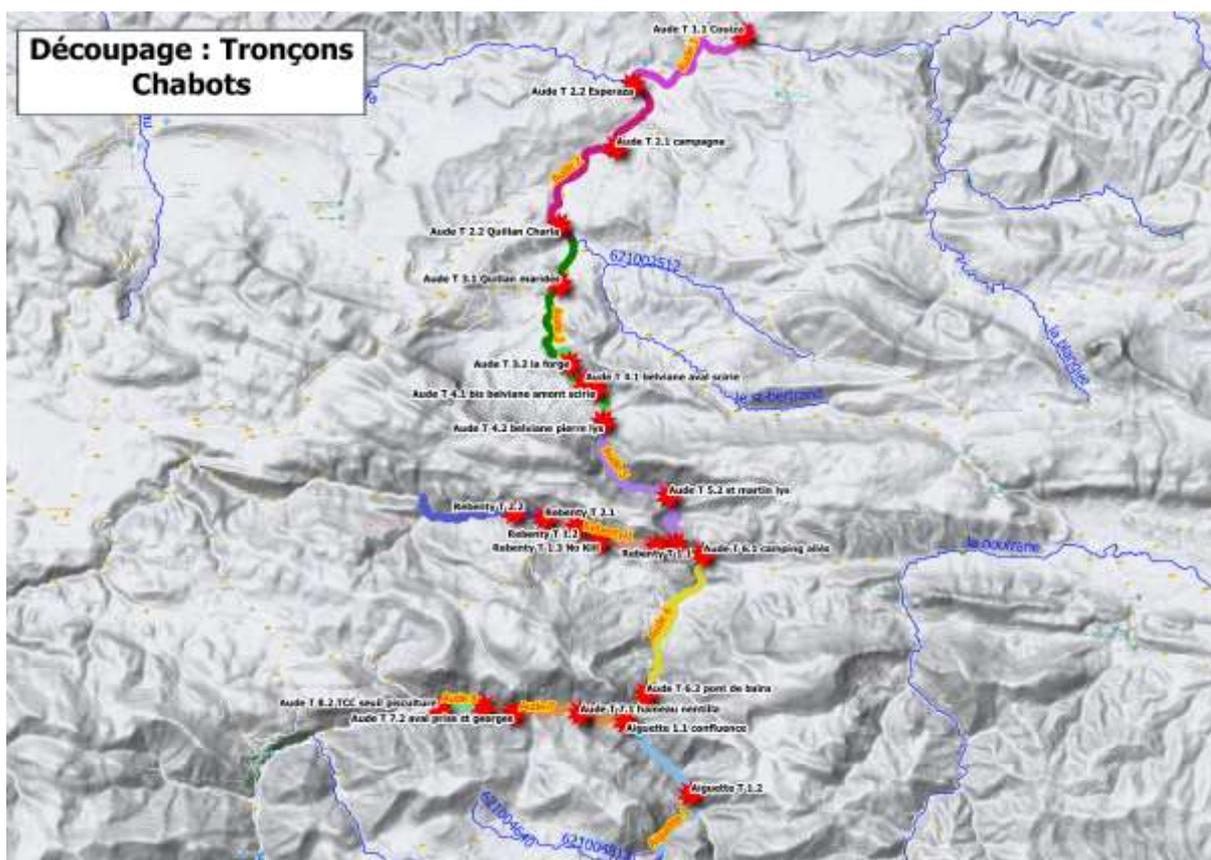


Figure 13. Carte présentant les différents secteurs où les pêches électriques ont été faites. ©Fédération de Pêche de l'Aude

Les prélèvements ont été faits lors de la première journée de pêche électrique. Deux équipes travaillaient simultanément sur des cours d'eau différents. Boris Noyère et Aurélie Bodo faisaient partie chacun d'une équipe. Ils étaient en charge de faire les prélèvements de morceaux de nageoires de Chabot.

9.1.2 Méthodologie pour l'identification génétique et résultats :

C'est le laboratoire de génétique de la conservation de Liège qui a réalisé l'identification. Ils ont sélectionné trois gènes mitochondriaux afin de les séquencer. Les séquences obtenues ont ensuite été comparées avec d'autres séquences de données publiques via un outil bio-informatique nommé BLAST (Basic Local Alignment Search Tool).

Au total, 10 prélèvements ont pu être faits sur les Chabots avec au moins un prélèvement par site de pêche positif.

Le même profil génétique a été retrouvé pour ces trois gènes étudiés dans les dix échantillons analysés. Les analyses semblent indiquer que le profil génétique est celui du *Cottus gobio* soit le Chabot commun.

Le rapport rédigé par le laboratoire de la conservation de Liège est annexé à ce rapport.

9.2 Quantification génétique de l'impact des ouvrages hydrauliques sur la connectivité écologique :

9.2.1 Éléments de contexte :

La présence d'un ouvrage hydraulique – même de petite taille – peut fortement impacter la mobilité des organismes aquatiques, et donc induire un isolement des populations, avec des conséquences importantes sur leur fonctionnement et plus généralement sur le maintien de la biodiversité en rivière. On parle de fragmentation. Afin de restaurer la continuité écologique des cours d'eau, il importe de pouvoir quantifier précisément cet effet barrière des ouvrages, avant d'envisager des mesures de restauration adaptées, en accord avec la réglementation (ex : effacement d'ouvrage, création ou amélioration de passe à poissons). Le cas échéant, il importe également de pouvoir mesurer l'efficacité de ces mesures de restauration.

Comme abordé en première partie, les traits biologiques du Chabot lui confèrent une grande sensibilité aux pressions d'origine anthropiques. De cette façon, les entraves associées aux obstacles transversaux à l'écoulement peuvent rapidement générer un cloisonnement des populations du fait des faibles capacités de franchissement de l'espèce.

Le découpage de l'aire de répartition du Chabot par tronçons d'habitats homogènes a mis en évidence l'importance des problématiques associées à la continuité écologique sur la partie basse de l'aire : en aval des gorges de Pierre lys.

Au sein du pool populationnel principal, le tronçon A 5 semble particulièrement affecté par ce type de pression. Le tableau ci-dessous retranscrit les principales caractéristiques et critères pris en compte pour la notation de la section :

Code tronçons	Granulométrie dominante	Pente en ‰ (Dénivelé en m.)	Densité de seuils artificiels au Km (Nbre de seuil)	Somme des chutes artificielles en m.	Classe granulométriques	Classe Colmatage	Classes de pentes	Taux d' étagement	Taux de Fractionnement	Note habitat /5
A 5	Pierres Grossières Sables	5 (10.78)	2.5 (5)	8.32	2	2	1	78 %	3.32	2

Ce compartiment de l'Aude correspond au secteur de Belvianes et Cavirac en aval du système de Gorges de Pierre lys. L'Aude s'y écoule en chenal unique avec une densité de seuils en rivière très élevée (5 seuils sur 1.8 km). Le colmatage par les sables est important au niveau des remous hydrauliques associés aux barrages.

L'indice de fractionnement du milieu est considéré comme mauvais du fait d'un chute artificielle cumulée supérieure à 8 mètres. Le Référentiel Obstacle à l'Écoulement (ROE) indique les principales caractéristiques de ces ouvrages transversaux :

Code ROE	Nom de l'ouvrage	Type d'ouvrage	Hauteur de chute à l'étiage en mètre (m)	Équipement pour le franchissement piscicole	Espèces prise en compte.
ROE36477	Seuil de la forge	Seuil en rivière déversoir	5 m.	Passé à bassins successifs	Truite fario
ROE36482	Seuil de la scierie	Seuil en rivière déversoir	1.7 m.	Absence de passe.	—
ROE72488	Seuil de Belvianes 3	Seuil en rivière enrochements	Indéterminé	Absence de passe.	—
ROE49379	Seuil de Belvianes 2	Seuil en rivière enrochements	0.69 m.	Absence de passe.	—
ROE72487	Seuil de Belvianes 1	Seuil en rivière enrochements	0.43 m.	Absence de passe.	—

L'analyse des caractéristiques générales met en évidence deux seuils potentiellement très problématiques pour le Chabot notamment vis-à-vis des critères typologiques et hauteur de chute : les seuils de la Forge et de la scierie.

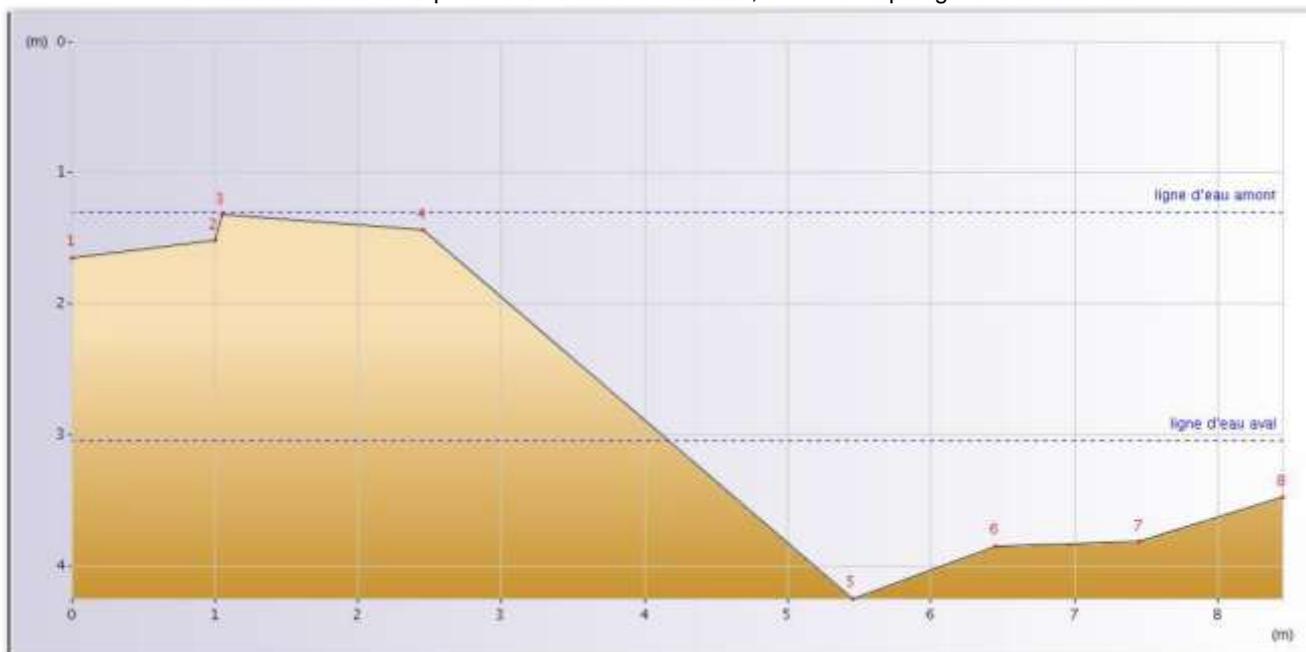
Parmi ces derniers, le seuil de la scierie constitue une entité singulière jusqu'ici dépourvue de tout équipement visant franchissement piscicole. Les échéances d'intervention ont été fixées à une date postérieure à 2023 par la DDTM11.

9.2.2 Diagnostics de franchissabilité appliqués au seuil de la Scierie sur l'Aude à Belvianes et Cavirac : protocole d'Information sur la Continuité Ecologique (I.C.E.).

Le seuil de la Scierie (ROE36482) est un ouvrage complexe ou mixte avec une hauteur de chute totale mesurée à 1.75 m le jour d'application du protocole (09/08/2022 à 13h) pour un débit mesuré à 7 m³/s. Ainsi, deux parties distinctes ont pu être identifiées :

- Partie 1 correspond à un seuil quasi-vertical fonctionnant par surverse ancré en rive droite :

Profil transversal de la partie 1 du seuil de la Scierie ; source : <https://geobs.eaufrance.fr>

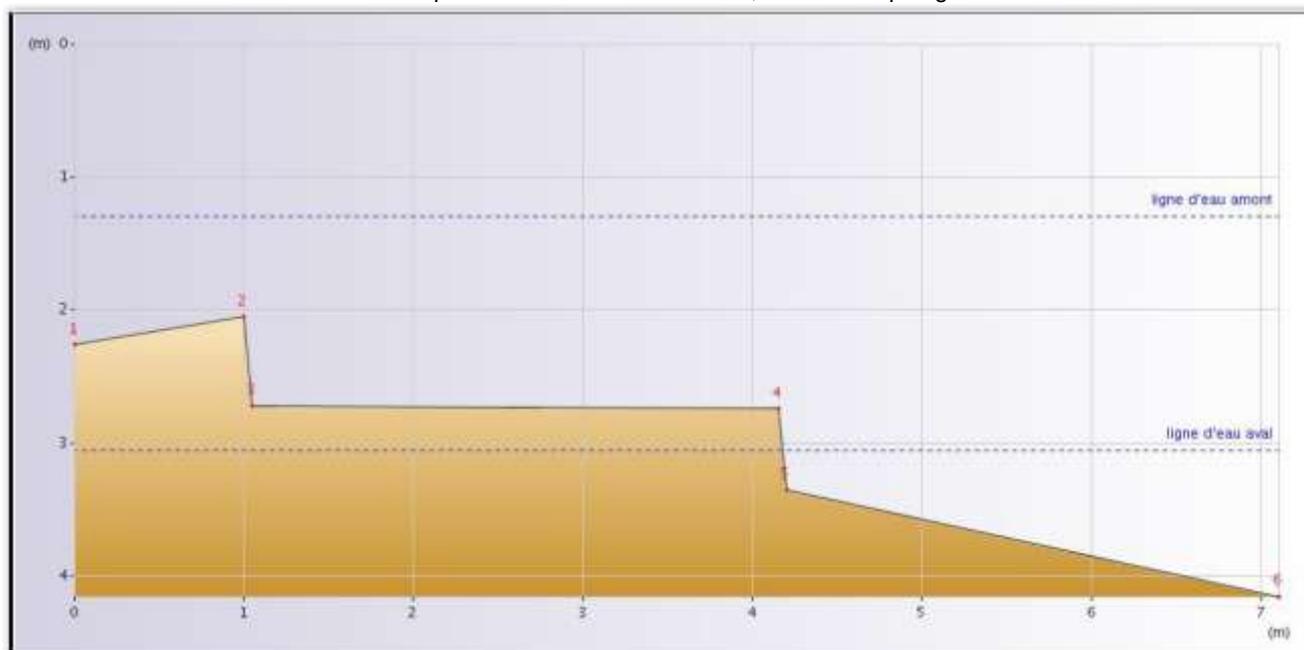


Paramètres pour les déplacements par nage et/ou par saut :

Etape	Règle	Valeur testée	Opérateur	Valeur seuil	Borne inférieure	Borne supérieure	Résultat
Mode de déplacement	Déplacement par nage et/ou par saut	Oui					1
Comparaison hauteur de chute / hauteur de chute extrême (1)	Hauteur de chute	1.75 m	<	2.0 m			1
Analyse de la fosse en pied d'obstacle (3)	Pente du parement du seuil	Oui			50 %	100 %	1
Analyse de la fosse en pied d'obstacle (3)	Hauteur de chute	1.75 m			1.5 m	2.0 m	1
Analyse de la fosse en pied d'obstacle (3)	Profondeur de la fosse aval	3.00 m	≥	0.85 m			1
Analyse du tirant d'eau sur l'obstacle (4)	Tirant d'eau	0.07 m	<	0.1 m			0

- Partie 2 correspond à un élément mobile par surverse ancré en rive gauche et constitué par deux structures verticales successives :

Profil transversal de la partie 2 du seuil de la Scierie ; source : <https://geobs.eaufrance.fr>



Paramètres pour les déplacements par nage et/ou par saut :

Etape	Règle	Valeur testée	Opérateur	Valeur seuil	Borne inférieure	Borne supérieure	Résultat
Mode de déplacement	Déplacement par nage et/ou par saut	Oui					1
Comparaison hauteur de chute / hauteur de chute extrême (1)	Hauteur de chute	1.75 m	<	2.0 m			1
Analyse de la capacité de saut	Espèce sauteuse	Oui					
Analyse de l'éventuelle chute aval (2)	Hauteur de chute aval	0.31 m			0 m	0.5 m	1
Analyse de la fosse en pied d'obstacle (3)	Pente du parement du seuil	Oui			25 %	50 %	0
Analyse de la fosse en pied d'obstacle (3)	Hauteur de chute	1.75 m			1.5 m	2.0 m	0
Analyse de la fosse en pied d'obstacle (3)	Profondeur de la fosse aval	0.57 m	<	0.6 m			0

Seules les voies de franchissement par nage ont été investiguées car aucune des deux parties de l'ouvrage n'offre une voie de franchissement par reptation.

Le diagnostic de franchissabilité est basé sur les capacités biologiques des espèces repères et cibles désignées dans le cadre du PDPG11 (Truite Fario, Ombre Commun, Anguille et Chabot).

De cette manière, la prise en compte de la géométrie de l'ouvrage et des conditions hydrauliques indique un score ICE de 0 pour un franchissement par la nage. Cet obstacle constituerait donc une barrière totale pour ces espèces mais aussi pour l'ensemble des taxons pris en compte par le modèle.
(Voir rapport d'exportation complet en annexe)

Photographie des deux parties du seuil de la scierie le 09/08/2022



9.2.2. Le F-index

Cette partie a été rédigée par Jérôme G. PRUNIER & Simon BLANCHET, docteurs au sein de la Station d'Écologie Théorique et Expérimentale du CNRS à Moulis en Ariège. Elle a simplement été intégrée à ce rapport. Seule la forme a été modifiée afin d'avoir un rendu global et harmonieux.

- **Procédé :**

Le FINDEX a été développé par les Dr. Jérôme G. Prunier et Simon Blanchet au sein de la Station d'Écologie Théorique et Expérimentale du CNRS à Moulis (Ariège) dans le cadre d'un partenariat avec l'Office Français de la Biodiversité. Son principe, succinctement décrit ci-dessous, et sa validation ont fait l'objet d'une publication scientifique dans la revue *Evolutionary Applications* en 2020.

Le FINDEX repose sur le re-échelonnage de la mesure de différenciation génétique (GDobs) observée de part et d'autre d'un ouvrage au sein de sa gamme théorique de variation. À condition que les populations échantillonnées en amont et en aval soient situées aux abords directs de l'ouvrage, cette gamme théorique varie de 0 (ouvrage totalement transparent) à une valeur maximale GDmax (ouvrage totalement bloquant) dépendant de l'âge de l'ouvrage et de la taille des populations qu'il sépare (estimée indirectement par une mesure de diversité génétique). Dans chaque cas d'étude, la valeur GDmax est prédite par apprentissage automatique supervisé à partir de bases de données développées par nos soins, et permettant donc de calculer une valeur de FINDEX pour chaque espèce considérée.

- **Méthode**

Il existe diverses méthodes pour quantifier ces effets barrières : le présent rapport rend compte d'une approche génétique. L'effet barrière d'un ouvrage va en effet se traduire par une évolution indépendante de la signature génétique des populations localisées de part et d'autre de l'ouvrage : avec le temps, les populations amont et aval vont devenir génétiquement de plus en plus différentes l'une de l'autre, alors qu'elles ne formaient qu'une seule entité initialement. Ce mécanisme est d'autant plus marqué que la réduction des flux d'individus (et donc des flux de gènes) de part et d'autre de l'ouvrage est importante (c'est-à-dire que l'obstacle est fragmentant et limite les mouvements). Il est donc possible de quantifier cette structuration génétique de part et d'autre de l'obstacle par le biais de mesures dites de différenciation génétique, suite à un échantillonnage génétique (prélèvement de tissus sur une vingtaine d'individus de chaque espèce) réalisé directement en amont et en aval de l'ouvrage.

Ces mesures de différenciation génétique doivent toutefois faire l'objet d'un traitement (détaillé en annexe) afin qu'elles soient comparables entre ouvrages et entre espèces : on obtient alors un indice génétique standardisé, le FINDEX. Le FINDEX s'exprime sous la forme d'un pourcentage : une valeur inférieure à 20% indique un ouvrage « transparent » tandis qu'une valeur supérieure à 90% indique un ouvrage totalement bloquant.

Pour les besoins spécifiques de l'étude, l'échantillonnage de nageoires a été réalisé sur les Chabots capturés en aval puis en amont immédiat du seuil de la scierie le 14/09/2021. En complément, des prélèvements ont aussi été effectués sur une autre espèce à faible capacité de franchissement et endémique au cours d'eau : le Vairon du Languedoc.



- **Résultats :**

✓ Rivière :	<i>AUDE</i>
✓ Commune :	<i>Belvianes-et-Cavirac (11)</i>
✓ Ouvrage(s) :	<i>Seuil de la scierie (ROE36482)</i>
✓ Date(s) de pêche :	<i>14/09/2021</i>
✓ <i>Chabot commun (Cottus gobio) :</i>	FINDEX = 87.30 ± 3.74
✓ <i>Vairon du Languedoc (Phoxinus Septimanie) :</i>	FINDEX = 94.96 ± 0.50

Ces résultats indiquent un blocage (quasi-)absolu des flux génétiques de part et d'autre de l'ouvrage, et suggèrent que le Seuil de la scierie constitue localement un obstacle majeur à la continuité écologique de l'Aude pour les deux espèces ciblées.

10. Synthèse et conclusion générale :

Jusqu'ici peu étudiée, la population de Chabot commun de la Haute Vallée de l'Aude bénéficie désormais d'un éclairage nouveau vis-à-vis de sa répartition mais aussi des menaces qui pèsent sur elle.

Il apparaît ainsi que l'espèce est présente sur un linéaire d'environ 40 km de cours d'eau, distribué principalement entre le fleuve Aude et le Rebenty. Néanmoins, un doute subsiste vis-à-vis des contours exacts de l'aire de répartition sur ces cours, mais aussi pour l'Aiguette, en lien avec la faible détection d'ADNe de Chabot en limite amont. En fonction de ces résultats, une campagne complémentaire d'inventaires piscicoles complets pourrait être envisagée afin de préciser encore la zone de distribution et d'y appliquer une gestion adaptée à l'espèce.

Concernant la structure populationnelle, il est notable que les Chabots ne présentent que de faibles à très faibles abondances globales sur l'ensemble de l'aire en dépit de conditions habitationnelles parfois très favorables. Par ailleurs, un pool central de présence continue se distingue sur l'axe de l'Aude sur un tronçon s'étirant de la confluence avec le Saint Bertrand à Quillan et les Gorges de Saint Georges sur 17 km. En périphérie de ce secteur, et notamment sur le Rebenty, la présence du Chabot apparaît comme sporadique et selon des densités très faibles. La réalisation d'inventaires piscicoles complets à plusieurs passages successifs sur deux stations de références sur le Rebenty à Cailla et l'Aude à Belvianes et Cavirac confirme cette analyse.

L'étude de la dynamique de population sur le long terme au niveau des stations périphériques de Cailla sur le Rebenty (RCS) et de l'Aude à Le Clat (RHP) ne montrent pas de tendances notables sur les dernières décennies. Nous noterons cependant que les densités d'individus semblent chuter de manière durable entre les années 1994 et 1995 sur la station de Le Clat, intervalle dans lequel a été réalisée la vidange du Lac de Puyvalador.

Le découpage par tronçons d'habitats homogènes met en évidence les principales perturbations morphologiques des cours d'eau étudiés impactant l'espèce :

- Altération du continuum longitudinal : taux de fractionnement et d'étagement.
- Déficit sédimentaire : pertes de classes granulométriques moyennes au profit de zones d'affleurements ou de colmatage par les sables.

Les tronçons les plus « morphologiquement favorables » se superposent globalement à la zone de répartition centrale de la population. Toutefois, les abondances y demeurent faibles et largement inférieures au niveau théoriquement suggéré par le modèle biotypologique de Verneaux (Inventaires piscicoles de référence).

Les investigations complémentaires menées sur le Rebenty et l'Aude dans la zone de répartition de l'espèce apportent quelques éclaircissements vis-à-vis de ce paradoxe. En effet, certaines pressions d'origine anthropique sur les populations de Chabot ont pu être mises en lumière au travers de l'analyse de différents compartiments du milieu et à l'échelle de tronçons distincts. Par ailleurs, le rôle potentiellement mineur des apports karstiques au sein de la zone d'étude dans leur fonction de tampon chimique et thermique a aussi été démontré.

L'analyse typologique des perturbations identifiées sur le fleuve Aude suggère la distinction de trois compartiments sur lesquels des mesures spécifiques de gestion pourraient être adoptées.

1. L'Aude en amont de l'usine de Nentilla :

Sur ce tronçon court-circuité et au régime hydrologique très artificialisé, la dégradation des conditions habitationnelles du fait de l'important colmatage du substrat par les sables semble être l'élément le plus limitant. Les populations de Chabots résidentes y sont fortement isolées car déconnectées du pool populationnel principal par les Gorges de Saint Georges. Elles se caractérisent par des abondances très faibles et une occupation discontinue de l'espace induisant une très forte vulnérabilité.

Plusieurs propositions pourraient être envisagées afin d'améliorer l'habitabilité du secteur notamment par la mise en place d'une stratégie globale des flux de sédiments fins sur ce tronçon. Ceci passerait par une augmentation des capacités de transports sédimentaires par l'élévation des volumes de débits réservés mais aussi une gestion plus précautionneuse des ouvrages transversaux sur cet axe.

2. L'Aude entre Nentilla et Belvianes

La principale perturbation de ce tronçon est liée au fonctionnement hydraulique par écluse depuis les lâchers de l'usine hydroélectrique de Nentilla. Cet élément est aussi mis en évidence par l'outil de diagnostic des chroniques de l'indice multi paramètre des macroinvertébrés (I2M2) sur lequel l'instabilité hydraulique apparaît comme une pression récurrente. De plus, en dépit de conditions habitationnelles quasi optimales pour le Chabot, l'abondance globale de la population demeure faible.

Les effets observables directs de ce type de fonctionnement pour les Chabots, mais pas uniquement, ont été mis en évidence par l'étude visant l'évaluation de l'impact des éclusées sur les milieux et les usages qui a été menée par le bureau d'étude Eaucéa en partenariat avec la FDAAPPMA 11 sous l'impulsion de l'EPTP SMMAR. Nous pouvons néanmoins citer les phénomènes de dérive forcée en lien avec les variations de vitesses d'écoulement, et les risques d'échouage liées aux fluctuations brutales de fortes amplitudes des niveaux d'eau.

De cette manière, l'étude d'évaluation de l'attractivité et d'estimation de l'exposition au risque de piégeage met en lumière l'impact potentiellement négatif et limitant pour le Chabot des fluctuations journalières des débits sur la station de Belvianes.

D'autre part, bien que restant dans les limites vitales du Chabot, les enregistrements thermiques et de conductivité font aussi ressortir d'importantes perturbations au moment des lâchers (3 à 5°C d'élévation et 150 à 300 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ en période estivale). Ces caractéristiques peuvent aussi générer des contraintes supplémentaires au niveau des stades critiques de l'espèce.

Les moyens d'intervention restent limités concernant ce dernier aspect, cependant, le calcul de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique permet de constater qu'une augmentation du débit de base sur la station de Belvianes aurait des conséquences positives sur la capacité d'accueil du milieu pour l'ensemble des espèces. Dans ce cas aussi, et en adéquation avec les mesures envisagées sur le tronçon amont, l'augmentation des valeurs du débit réservé tamponnerait les effets délétères pour le Chabot.

En outre, la question de l'amplitude journalière des débits instantanés reste un réel enjeu vis-à-vis des exigences du Chabot. En effet, les relevés effectués lors de la période estivale 2022 ont révélé un impact déjà significatif pour des amplitudes d'environ 4m³/s. Une gestion conservatoire de l'espèce

imposerait donc au gestionnaire un lissage maximal des volumes déversés dans le cours d'eau afin de pouvoir concilier usages essentiels et préservation du patrimoine piscicole.

3. L'Aude de la confluence de la Salz à Belvianes

Cette section correspond à la limite aval de la zone de répartition de l'espèce cible. Le continuum populationnel et les densités de Chabots tendent à baisser graduellement en descendant vers l'aval. Ceci peut notamment être attribuable au glissement progressif du régime thermique jusqu'au seuil des limites léthales pour l'espèce en aval de la confluence avec la Salz. Les causes sont généralement naturelles en lien avec les apports successifs d'affluents « chauds » mais sont aussi amplifiées par les perturbations thermiques des lâchers et les effets cumulés des retenues (IRSTEA, Mai 2019).

En sortie de gorges, les effets directs des éclusées tendent à se dissiper mais laissent la place à d'importants désordres morphologiques d'origine anthropique.

D'une part, nous pouvons y distinguer une forte altération de la continuité écologique longitudinale du cours d'eau avec 17 ouvrages recensés dans le ROE, et des densités maximales de seuils dépassant les 2/km au niveau de Belvianes et Cavirac. Les conséquences associées à ce type d'aménagement peuvent être de deux ordres :

- Biologique du fait des faibles capacités de franchissement de l'espèce : cloisonnement et fractionnement des populations associés à des pertes de diversités génétiques tel que mis en évidence au niveau du seuil de la Scierie au travers du Findex.
- Physique du fait de la dégradation des conditions habitationnelles au niveau du remous hydraulique : banalisation des écoulements lenthiques et colmatage par accumulation de sédiments fins et de matière organique.

Par effet cumulé, chacune de ces atteintes contribuent à réduire la capacité de l'espèce à réaliser l'intégralité de son cycle vital et diminuent son adaptabilité face aux perturbations de grande ampleur. Dans le but de limiter cette dérive, il semble désormais nécessaire que le Chabot intègre la liste des espèces cibles dans le cadre des réflexions et travaux visant restauration de la continuité écologique.

D'autre part, les effets induits par l'important déficit sédimentaire entraînent la raréfaction, voire localement la disparition, des fractions granulométriques intermédiaires nécessaires au maintien du Chabot. Ceci se matérialise par la présence de nombreux secteurs d'affleurement de roche mère. Dans ce cadre, il appartient désormais aux différents acteurs investis dans la protection des milieux aquatiques de poursuivre et d'amplifier leurs efforts en matière de reconstitution du matelas alluvial. Plusieurs actions ont aujourd'hui démontré leur efficacité : l'injection directe de matériaux dans le lit mouillé du cours d'eau et la remobilisation par scarification des atterrissements présents en lit mineur.

Pour finir, l'analyse des communautés de Chabots du bas Rebenty indiquent que contrairement aux prérequis initiaux, celle-ci ne participe que marginalement au soutien des populations de l'Aude. En effet, en dépit de conditions habitationnelles potentiellement favorables, l'occupation de cet axe apparaît comme discontinue et très peu dense. Parallèlement à ce constat, nous noterons que les populations de salmonidés ont aussi connus une baisse généralisée de leur abondance au cours des dernières années.

Comme indiqué précédemment, de potentielles causes structurelles ont pu être identifiées du fait d'un régime thermique en marge des optimums de l'espèce en lien probable avec l'effondrement des débits estivaux observés lors de la dernière décennie.

Au-delà de causes « naturelles » induites par les variations mesurées des régimes pluviométriques sur ce bassin versant, il est primordial de reconsidérer la gestion de la ressource en eau à l'échelle du système karstique des plateaux pays de Sault. Effectivement, bien que peu connus encore actuellement, les liens étroits mais évidents entre les ressources sous-terraines et les écoulements de surface implique une conduite raisonnée des politiques de prélèvement.

11. Proposition d'actions détaillées par tronçons :

11 Description des actions détaillées par tronçons :

Détermination des classes d'habitabilité par tronçon											
Cours d'eau	Code tronçons	Granulométrie dominante	Pente en ‰ (Dénivelé en m.)	Densité de seuils artificiels au Km (Nbre de seuil)	Somme des chutes artificielles en m.	Classe granulométriques	Classe Colmatage	Classes de pentes	Taux d'étagement	Taux de Fractionnement	Note habitat /5
Aude	A 1	Pierres Grossières Cailloux fins	3 (24.7)	0.5 (3)	4.5	1	3	2	6 %	0.84	2
	A 2	Pierre Grossières Cailloux fins	4 (24.3)	0.65 (3)	9	1	2	1	37 %	1.47	3
	A 3	Dalles Sables	6 (21.3)	0.7 (2)	5.96	3	2	1	30 %	2.21	2
	A 4	Blocs Pierres Grossières	6 (13.9)	0.4 (1)	0.55	1	2	1	4 %	0.23	4
	A 5	Pierres Grossières Sables	5 (10.78)	2 (5)	8.32	2	2	1	78 %	3.32	2
	A 6	Blocs Dalles	14 (29.1)	0	0	2	1	2	0	0	3
	A 7	Pierres Grossières Cailloux grossiers	9 (31.1)	0	0	1	1	1	0	0	5
	A 8	Blocs Pierres Grossières	8 (39.5)	0	0	1	1	1	0	0	5
	A 9	Blocs Dalles	15 (46.3)	0.45 (1)	0.5	2	1	2	1 %	0.23	3
	A 10	Blocs Sables	17 (67.1)	0	0	2	3	2	0	0	2
	A 11	Blocs Sables	14 (26.7)	0.5 (1)	2.57	2	3	2	7 %	1.28	2

Synthèse des éléments bibliographique :

- Agence française pour la biodiversité – AFB, Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique ; Expertise scientifique collective, Novembre 2017, 199 p
- Aquascop, Décembre 2017, Evaluation de l'état des habitats et des populations de chabot de l'Hérault des cours d'eau du site Natura 2000 FR9101388 - Gorges de l'Hérault, Rapport d'analyse des mesures et inventaires 2017
- BAUMANN, Peter, KLAUS, Iris, 2003. Conséquences écologiques des éclusées. Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage OFEFP. In : Informations concernant la pêche n°75.
- Belliard J., Ditché JM., Roset N. (2012) Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons. ONEMA.
- BRUNO, M. C., SIVIGLIA, A., CAROLLI, M. et MAIOLINI, B., 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. In : Ecohydrology. août 2013. Vol. 6, n° 4, p. 511-522.
- Bruslé J. et al., Biologie des poissons d'eau douce européens 2^{ème} édition, 740 P., 2013.
- Campton et al, Association Migrateur Rhône méditerranée, Colonisation des fleuves côtiers méditerranéens par l'Anguille, Construction d'un réseau de suivi opérationnel, Juillet 2016.
- CSP (DR8), Mars 2006. Indice Poisson Rivière (I.P.R).
- CSP 11, 1981, Schéma Départemental à vocation Piscicole 11.
- DOCUMENT D'OBJECTIFS NATURA 2000 Haute Vallée de l'Aude et bassin de l'Aiguette FR 910 1470, INVENTAIRES - ANALYSES – ENJEUX, Janvier 2007.
- DOCUMENT D'OBJECTIFS NATURA 2000 BASSIN DU REBENTY FR 9101468 ; INVENTAIRES - ANALYSES – ENJEUX, Janvier 2005.
- Elie P. et Girard P., 2014, La santé des poissons sauvages : les codes pathologiques, un outil d'évaluation. Edit. Association Santé Poissons Sauvages ; 286 p.
- Eaucéa, SAGE HVA, DIAGNOSTIC 2014 DES ENJEUX DE GESTION DE L'EAU PROJETES SELON LES TENDANCES DE DEVELOPPEMENT DU TERRITOIRE ; Juin 2014.
- Eaucéa, Avril 2013, Gestion quantitative de la ressource en eau du bassin versant de l'Aude phase 4;
- Eaucéa, Mai 2021, Etude d'évaluation et de réduction de l'impact des éclusées sur les milieux et les usages, phase 1.
- ECOGEA ; Mars 2019 ; Etude scalimétrique de la croissance des truites de l'Aude aval à Campagne.
- ECOGEA ; CARACTERISATION DES RISQUES ECO-MORPHOLOGIQUES ASSOCIES AU FONCTIONNEMENT PAR ECLUSEES DES MASSES D'EAU DES BASSINS RHONE-MEDITERRANEE ET CORSE ; Juin 2018.
- ECOGEA, Avril 2008, Etude de l'impact écologique des éclusés sur la rivière Dordogne, phase 1, 73 p.
- FDAAPPMA 11, Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (P.D.P.G.) du département de l'Aude (Février 2019).
- FDAAPPMA 11, REALISATION D'UN DIAGNOSTIC D'ETAT INITIAL SUR LE FLEUVE AUDE A HAUTEUR DE CAMPAGNE SUR AUDE LE 10/10/2019., Janvier 2020.
- FDAAPPMA 11, REALISATION D'UN DIAGNOSTIC D'ETAT INITIAL SUR LE FLEUVE AUDE A HAUTEUR DU NO KILL D'AXAT, Janvier 2020.

- FDAAPPMA 11, RÉALISATION D'UN DIAGNOSTIC D'ÉTAT INITIAL SUR L'AUDE À QUILLAN (AVAL), Mai 2021.
- FDAAPPMA 11, REALISATION D'UN DIAGNOSTIC D'ETAT INITIAL SUR LE FLEUVE AUDE A HAUTEUR DE CAMPAGNE SUR AUDE, Février 2020.
- FDAAPPMA 11, ÉTUDE DES VARIATIONS DES PARAMETRES THERMIQUES ET CHIMIQUES DU FLEUVE AUDE, Mars 2021.
- FDAAPPMA 11, Etude d'évaluation et de réduction de l'impact des éclusées sur les milieux et les usages associés au Fleuve Aude, RÉALISATION D'ECHANTILLONNAGES PONCTUELS D'ABONDANCES EN COMPLEMENT DES DONNEES PISCICOLES EXISTANTES, Octobre 2021.
- FDPMA66- SMBVA, Diagnostic et opportunités d'intervention pour la restauration de la continuité écologique de la Boulzane aval, Mai 2021, 48 p.
- GERMIS G., Juillet 2009, METHODE DE PECHE ELECTRIQUE PAR ECHANTILLONNAGE PAR POINT AU MARTIN PECHEUR « INDICE D'ABONDANCE ANGUIILLE », Bretagne Grand Migrateur ; 23 P.
- MALAVOI J. et Al., DESCRIPTION STANDARDISÉE DES PRINCIPAUX FACIÈS D'ÉCOULEMENT OBSERVABLES EN RIVIÈRE : CLÉ DE DÉTERMINATION QUALITATIVE ET MESURES PHYSIQUES, 2002.
- P. KEITH, N. POULET, G. DENYS, T. CHANGEUX, E. FEUNTEN & H. PERSAT (2020) Les poissons d'eau douce de France.
- LAFFAILLE P. et LAFAGE D., 2003. Organisation spatiale et évaluation de l'état des stocks d'anguilles du bassin versant de l'Aulne. Rapport final. Contrat de Plan Etat-Région 2000-2006. Fédération du Finistère pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 63 pp.
- ONEMA, Téléos, Aout 2017, SITE D'IMPORTANCE COMMUNAUTAIRE « LE LEZ » - FR 9101392, Suivi et conservation du Chabot du Lez (*Cottus petiti*).
- ONEMA (Baudouin et al.), Information sur la continuité écologique, Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons ; Principes et méthodes ; Mai 2014.
- ONEMA (Beliard et Roset), L'indice poissons rivière (IPR) Notice de présentation et d'utilisation, 2006.
- OVIDIO M. & PHILIPPART JC., Novembre 2007, Élaboration de recommandations pratiques pour la préservation restauration d'éléments de l'habitat hydraulique du chabot dans les cours d'eau non navigables de Wallonie, Université de Liège, 117 p.
- PONT D., Septembre 2006, Biodiversité et changement global Réponses adaptatives au changement global : résultats et prospective, Conséquences du changement global sur la distribution et la démographie du Chabot (*Cottus gobio*) : une approche intégrative, pages 28-37.
- Ruralia, Juillet 2015, SITE D'IMPORTANCE COMMUNAUTAIRE « LE LEZ » - FR 9101392, LE CHABOT DU LEZ (*Cottus petiti*), Monographie et perspective pour l'amélioration des connaissances de l'espèce.
- Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières, 2010, Etat initial du SAGE Haute Vallée de l'Aude.
- USSEGLIO-POLATERA, Philippe, BOURNAUD, Michel, RICHOUX, Philippe et TACHET, Henri, 2000a. Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates : relationships and definition of groups with similar traits. In : Freshwater Biology. février 2000. Vol. 43, n° 2, p. 175-205.
- USSEGLIO-POLATERA, Philippe, BOURNAUD, Michel, RICHOUX, Philippe et TACHET, Henri, 2000b. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates : how to use species trait databases ? In : JUNGWIRTH, M., MUHAR, S. et SCHMUTZ, S. (éd.), Assessing the Ecological Integrity of Running Waters [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. p. 153-162. [Consulté le 28 avril 2022]. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-4164-2_12.

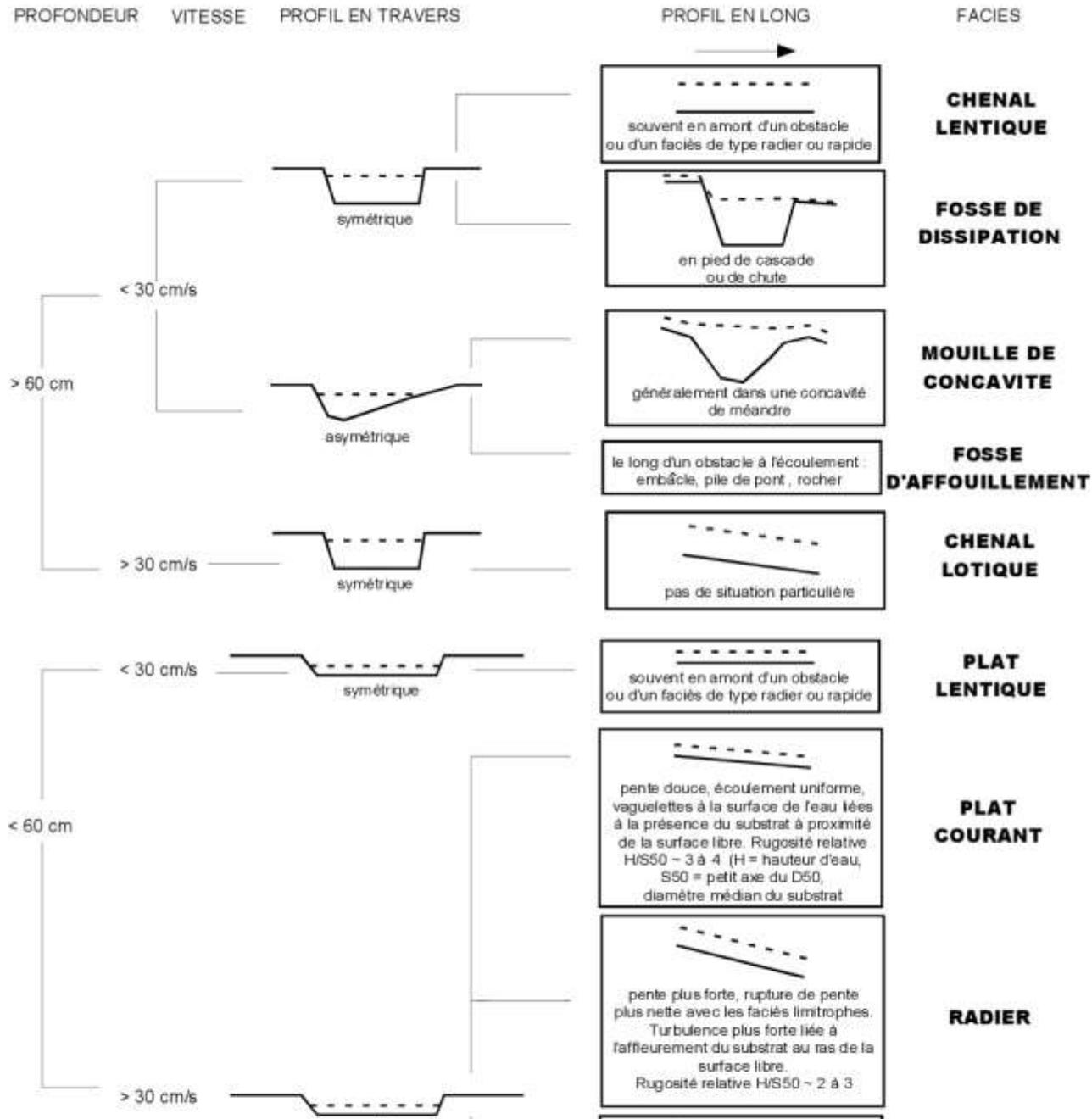
- VALENTIN, Sylvie, 1995. Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquences sur les peuplements aquatiques : effets écologiques des éclusées hydroélectriques en rivière. Etude de cas (Ance du Nord et Fontaulière) et approches expérimentales. Sciences de l'environnement. Doctorat, Université Claude Bernard Lyon I.
- Verneaux J (1977b), Biotypologie de l'écosystème "eaux courantes". Déterminisme approchée de l'appartenance typologique d'un peuplement ichtyologique.

Liste des annexes :

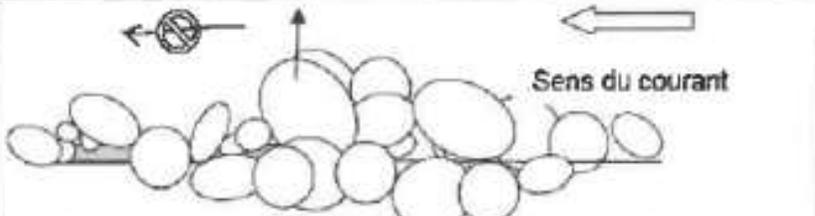
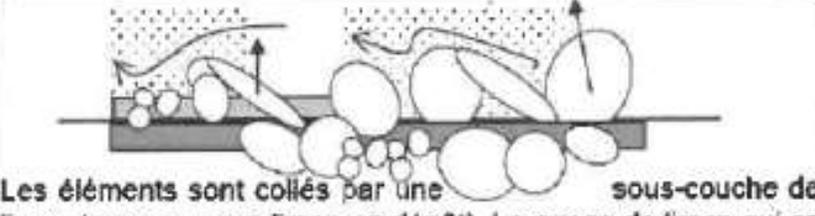
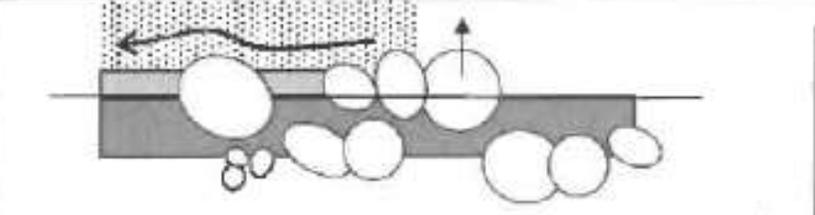
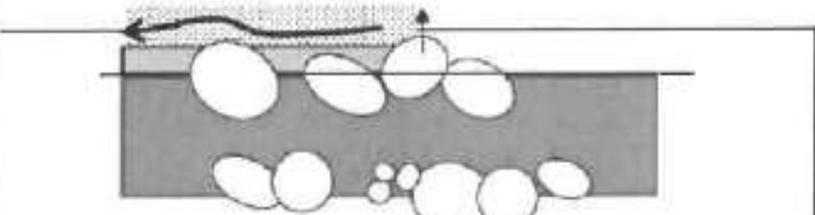
- Faciès d'écoulement : clé de Malavoi et Souchon, 2002.
- Méthode d'évaluation du degré de colmatage (Archambaud et Al. , 2005)
- Méthode de calcul des biocénotypes et des abondances théoriques et observées :
- Analyse détaillée des enregistrements thermiques par station.
- Analyse des chroniques d'inventaires piscicoles et de l'abondance de l'espèce sur le périmètre de l'étude.
- Planches photographiques des tronçons homogènes :
- Protocole de mise en œuvre adapté au comportement du Chabot :
- Rapport du Laboratoire de Génétique de la Conservation de l'Université de Liège
- Compte-rendu du F-index par Jérôme G. Prunier et Simon Blanchet

- **Faciès d'écoulement : clé de Malavoi et Souchon, 2002.**

Geomorphic units classification key.



- **Méthode d'évaluation du degré de colmatage (Archambaud et Al. , 2005)**

Code	Classes de Colmatage	Représentation du degré de colmatage (lorsque l'on soulève un élément du fond)
1	] 0 - 25%]	 <p>Les éléments sont posés. On peut observer soit un dépôt fin de limons peu colmatant (cas de gauche) soit aucun dépôt (cas de droite)</p>
2	] 25 - 50%]	 <p>Les éléments sont collés par une sous-couche de limon (avec ou sans limon en dépôt). Le nuage de limon qui se soulève est peu dense.</p>
3	] 50 - 75%]	 <p>Les éléments sont légèrement enchâssés et provoquent un nuage de limon assez épais lorsqu'ils se désolidarisent de la sous-couche.</p>
4	] 75 - 90%]	 <p>Les éléments sont très enchâssés et provoquent un nuage épais de limons (accentué ou non par un dépôt de limons)</p>

- **Méthode de calcul des biocénotypes et des abondances théoriques et observées**

Afin d'attribuer un biocénotype à une station, il est possible de calculer un coefficient synthétisant ses caractéristiques physico-chimiques ayant une influence sur l'ichtyocénose (ou caractéristiques abiotiques), développé par Verneaux (1976). Celui-ci intègre plusieurs paramètres environnementaux et se décline en trois composantes :

- Une composante thermique T1, prenant en compte la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds de l'année « TmM » (°C) :

$$T1 = 0,55 \times TmM - 4,34$$

Dans le cas d'un cours d'eau de première catégorie, l'espèce de référence choisie pour illustrer l'impact hypothétique des variations thermiques est la Truite fario (*Salmo trutta*) ; le Brochet (*Esox lucius*) dans le cas d'un cours d'eau de seconde catégorie (Suivis thermiques FDAAPPMA 30).

- Une composante trophique T2, prenant en compte la distance à la source « Do » (Km) et la dureté totale de l'eau « D » (mg/l)

$$T2 = 1,17 \times \ln(0,01 \times Do \times D) + 1,5$$

- Une composante morphodynamique T3, prenant en compte la section mouillée à l'étiage « Sm » (en m²), la pente de la ligne d'eau « P » (en ‰) ainsi que la largeur du lit mineur « l » (en m)

$$T3 = 1,75 \times \ln(100 \times Sm / (P \times l)) + 3,92$$

- Le coefficient synthétique, aussi appelé Niveau Typologique Théorique (ou NTT), est ainsi obtenu par la somme pondérée de ces trois composantes :

$$NTT = 0,45 T1 + 0,30 T2 + 0,25 T3$$

La valeur du NTT, caractérisant donc les conditions abiotiques d'une station, indique le spectre d'espèces attendues théoriquement sur la station étudiée, ou biocénotype. Un abaque synthétisant les résultats des travaux de Verneaux, relie les conditions abiotiques d'une station à un spectre d'espèces potentiellement présentes.

Celui-ci présente les classes d'abondances optimales (au nombre de 6) de chaque espèce pour chaque NTT. Parmi les espèces constitutives du spectre potentiel, seul un nombre n sert à établir un peuplement piscicole théorique.

Ces espèces sont alors choisies suivant leur affinité pour un biocénotype donné et lorsque leur présence avérée dans le bassin hydrographique, c'est-à-dire celles qu'il est le plus probable d'y rencontrer. Le peuplement piscicole est ainsi constitué des espèces à plus forte affinité (classes 4 à 5), puis des plus apicales vers les plus basales en favorisant celles capturées sur la station. La valeur du NTT calculée est arrondie au 0,5 supérieur.

Pour chaque espèce sélectionnée, les abondances observées et les abondances théoriques déterminées à partir de la biotypologie de Verneaux peuvent ainsi être comparées. La comparaison de ces données renseigne sur les espèces manquantes, déficitaires ou non attendues pour le cours d'eau considéré. Il est ensuite possible de confronter les exigences de ces espèces en matière d'habitat avec les ressources spatiales offertes par les différents habitats.

En effet, l'inadéquation des espèces et/ou des abondances observées avec les données théoriques s'explique par un problème de qualité d'habitat ou de qualité d'eau.

Les résultats peuvent également être interprétés en ce qui concerne les exigences écologiques des espèces déficitaires et/ou surabondantes. L'état du peuplement piscicole peut ainsi être évalué grâce à des critères qualitatifs (espèces) et quantitatifs (abondances).

Planche photographique de l'Aude – Septembre 2021



Pont de Couiza (A1)



Espérasa (A1)



Campagne sur Aude (A2)



Quillan « Charla » (A2)



Quillan « Marides » (A3)



Quillan « La Forge » (A4)



Belviane « Scirie » (A5)



Belviane agglomération (A5)



Belviane Pierre Lys (A5)

Planche photographique de l'Aude – Septembre 2021



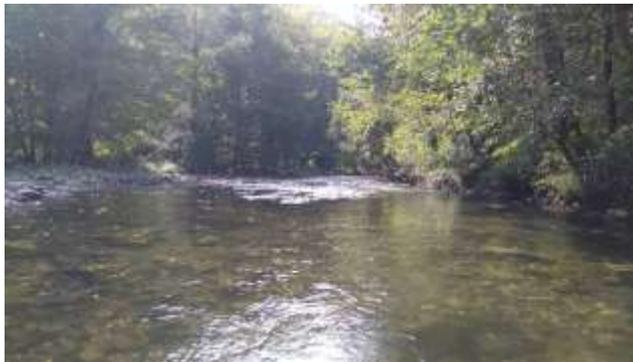
Gorges de Pierre Lys (A6)



Saint Martin Lys (A7)



Confluence Rebenty (A7)



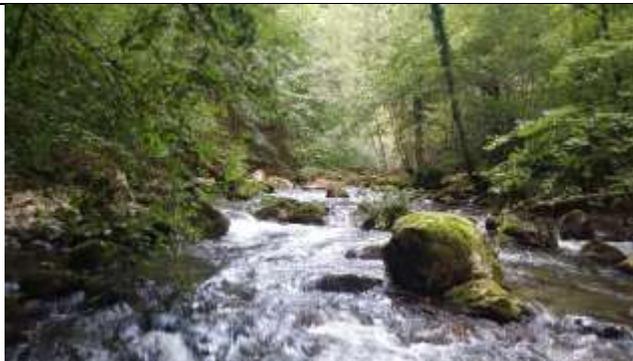
Camping d'Aliès (A8)



Axat (A8)



Gorges de Saint Georges (A9)



Le Clat « hameau de nentilla » (A10)



Aval barrage Saint Georges (A10)



Hameau de Gesse (A11)

Planche photographique du Rebenty – Septembre 2021



Cailla (Reb1)



Aval seuil naturel Cailla (Reb1)



Confluence Quirbajou (Reb2)

Planche photographique de l'Aiguette – Septembre 2021



Aiguette à Sainte Colombe sur Guette (Ai1)



Aiguette à Sainte Colombe sur Guette (Ai1)

Protocole de mise en œuvre adapté au comportement du Chabot :

En lien avec l'objectif de l'étude et la capturabilité médiocre du Chabot, la mise en œuvre des inventaires a été inspirée des méthodes de prospections mis en place par l'Association Migrateur Rhône Méditerranée (Campton et al., 2014a), et adaptées à la capture des anguillettes de taille inférieure à 30 cm.

En effet, bien que nécessitant d'important moyens humains, il a été démontré que la méthode de pêches complètes par épuisement est mieux maîtrisée par les agents de fédération de pêches. Elle peut s'adapter à la capture des petites anguilles migrantes cachées dans le substrat et le résultat peut être associé à une erreur de mesure (méthode de calcul du maximum de vraisemblance de Carle et Strub). Par ailleurs, les opérateurs ont été sensibilisés aux spécificités comportementales des Chabot face à l'électricité (fouissement, tétanie, ...).

D'une manière générale, ce protocole nécessite que quelques ajustements par rapport aux méthodologies classiques de prospection fixées par le « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité ; ONEMA ; 2012 » :

- La progression des opérateurs sur la station a été plus lente ;
- Les porteurs d'anode ont déployé un balayage minutieux (insister plusieurs dizaines de secondes sur chaque zone échantillonnée) en procédant à des coupures irrégulières du courant ;
- Les porteurs d'épuisettes ont dû adapter leur comportement au type d'écoulement et à la granulométrie du substrat présent (poser systématiquement l'épuisette derrière l'anode, grande vigilance sur la présence de petits individus emporté par le courant...).

Sur les tronçons sélectionnés, il a été respecté la règle du « 1 anode pour chaque 4.5 mètres de largeur moyenne de cours d'eau ». L'échantillonnage a été effectué au moins deux fois successivement sur l'intégralité de la station de l'aval vers l'amont, sans remettre à l'eau les captures entre 2 passages. La régression de capture d'une même espèce entre deux passages permet d'estimer la population totale de chaque espèce dans la station grâce à différentes méthodes de calcul.

La méthode de calcul du maximum de vraisemblance de Carle et Strub, qui a été utilisée dans cette étude, permet d'estimer l'effectif total de chaque espèce dans la station même si l'efficacité de capture est faible, auquel cas l'intervalle de confiance associé à l'estimation augmente.

Rapport du Laboratoire de Génétique de la Conservation de l'Université de Liège



Rapport scientifique final.
Analyses d'identifications génétiques du chabot sur l'Aude:

Mai 2022

Adrien André et Johan Michaux
GeCoLAB
Laboratoire de Génétique de la Conservation
Université de Liège

Introduction

L'objectif de cette étude a été d'identifier les espèces de poissons et particulièrement la présence possible de chabot, sur base d'approches d'ADN environnemental. Plus particulièrement, ces analyses ont été effectuées sur base d'approches de métabarcoding et de séquençage à haut débit. Vingt capsules filtrantes concentrant les particules organiques présentes dans les milieux aquatiques analysés, ont été utilisées.

Par ailleurs, une vingtaine d'échantillons de nageoires de chabot au statut spécifique incertain et provenant de diverses zones de l'Aude, ont été séquencés au niveau de trois gènes mitochondriaux utilisés couramment comme outil pour l'étude taxonomique des poissons.

Méthodologies

Analyses d'ADN environnemental

L'ADN inclus dans les capsules filtrantes concentrant les particules organiques présentes dans l'eau sites analysés a été extrait à l'aide de kits d'extraction Qiagen selon un protocole adapté à partir du protocole du fabricant. L'ADN extrait a ensuite été amplifié par réactions PCR, via des couples d'amorces s'hybridant sur différentes portions de gènes propres aux organismes cibles (gènes mitochondriaux COI, 12S et 16S). Trois couples de primers différents ont été utilisés pour l'identification des poissons.

Une seconde PCR permettant l'ajout de tags spécifiques à la technique de séquençage nouvelle génération a ensuite été réalisée. Ces produits PCR ont subi une étape de purification puis ont été séquencés sur un séquenceur nouvelle génération de la marque Illumina. Les séquences brutes

Les résultats de ces analyses sont résumés ci-dessous. Pour chaque capsule, une liste des espèces identifiées est donnée.

Analyses taxonomiques permettant l'identification spécifique des chabots analysés.

Les analyses ont été basées sur le séquençage des trois gènes mitochondriaux suivants : le cytochrome oxydase 1 (COI), le gène 16S et le gène 12S). Ces séquences ont permis de vérifier si les chabots collectés dans les zones d'étude appartenaient à des souches particulières ou bien si ceux-ci appartiennent à l'espèce chabot commun, *Cottus gobio*.

Résultats

Résultats des analyses d'ADN environnemental.

Le tableau ci-dessous reprend les différentes espèces de poissons identifiées sur les sites d'études. Les identifications de chabot sont surlignées en jaune. Le nombre de séquences obtenues pour chaque identification est également donné. Le site « Amont confluence Salz 1 » est caractérisé par un très grand nombre de séquences (plus de 140000) confirmant la présence importante de l'espèce dans cette zone. Les autres sites où l'espèce a été détectée sont par contre caractérisée par un nombre nettement plus faible de séquences. L'identification de l'espèce dans ces zones doit ainsi être prise avec plus de précaution.

<u>code labo</u>	<u>code client</u>	<u>Espèces identifiées</u>
Cremade1	Amont confluence Aude (Crémade) 1	<i>Salmo trutta</i> <i>Barbus meridionalis</i> <i>Phoxinus phoxinus</i>
Cremade2	Amont confluence Aude (Crémade) 2	<i>Salmo sp.</i> <i>Salmo trutta</i> <i>Barbus meridionalis</i> <i>Phoxinus phoxinus</i> <i>Alburnoides bipunctatus</i>
Maureille 1	Amont centrale Maureille 1	<i>Thymallus thymallus</i> <i>Cottus gobio (14 reads)</i>
Maureille2	Amont centrale Maureille 2	/
R11	Rébenty Amont PE Marsa RCS 1	<i>Salmo sp.</i> <i>Salmo trutta</i> <i>Phoxinus phoxinus</i>

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022

		<i>Oncorhynchus mykiss</i>
R12	Rébenty Amont PE Marsa RCS 2	<i>Salmo trutta</i> <i>Salvelinus fontinalis</i> <i>Salvelinus leucomaenis</i> <i>Salvelinus alpinus</i> <i>Salvelinus curilus</i> <i>Salvelinus malma</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Salvelinus namaycush</i> ou <i>curilus</i> <i>Salvelinus albus</i> <i>Salvelinus kuznetzovi</i> <i>Salvelinus malma</i> <i>Cottus gobio</i> (7reads) <i>Salmo sp.</i>
RCS11	Aude Amont station RCS 1	<i>Salmo trutta</i> <i>Gobio occitaniae</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Salmo sp.</i>
RCS12	Aude Amont station RCS 2	<i>Salmo trutta</i> <i>Gobio occitaniae</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Rutilus rutilus</i> ou <i>Leuciscus idus</i>
Rebenty22	Seuil naturel Rébenty 2	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Phoxinus septimaniae</i>
Rebenty 21	Seuil naturel Rébenty 1	<i>Salmo trutta</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Oncorhynchus sp.</i> <i>Thymallus thymallus</i> <i>Cottus gobio</i> (17reads)
SM11	Amont confluence Aude Sm 1	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i>
SM12	Amont confluence Aude Sm 2	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Phoxinus septimaniae</i>

Évaluation des habitats et de l'état de conservation de la population de Chabot de la Haute Vallée de l'Aude
Rapport technique - Décembre 2022

		<i>Thymallus thymallus</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Cottus gobio (143274 reads)</i> <i>Rutilus rutilus ou Leuciscus idus</i> <i>Leuciscus sp.</i> <i>Gobio occitaniae</i> <i>Barbus meridionalis</i> <i>Squalius cephalus</i> <i>Barbatula barbatula</i> <i>Salmo sp.</i>
Salz12	Amont confluence Salz 2	/
St georges	Aude Amont barrage St-Georges 1	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Cottus sp. (5reads)</i>
St georges 12	Aude Amont barrage St-Georges 2	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Cottus sp. (7reads)</i>
Aig11	Aiguette Pont de la Carrière de Ste Colombe 1	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Thymallus thymallus</i>
Aig12	Aiguette Pont de la Carrière de Ste Colombe 2	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo sp.</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Thymallus thymallus</i> <i>Cottus sp. (9reads)</i>
Aud11	Amont confluence Aude Quillan 1	<i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Phoxinus septimaniae</i> <i>Salmo trutta</i> <i>Barbus meridionalis</i>

Aud12	Amont confluence Aude Quillan 2	<i>Gadus sp.</i>
		<i>Scomber scombrus</i>
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>
		<i>Phoxinus septimaniae</i>
		<i>Salmo trutta</i>
		<i>Barbus meridionalis</i>
		<i>Carassius sp.</i>
		<i>Cyprinus sp.</i>
		<i>Salmo sp.</i>
		<i>Thymallus thymallus</i>
		<i>Gadus sp.</i>
		<i>Gobio occitaniae</i>
		<i>Barbatula sp.</i>

Résultat des identifications spécifiques effectuées à partir d'échantillons de nageoire de chabots

Trois gènes mitochondriaux ont été séquencés. Les séquences obtenues chez 10 échantillons de nageoires sélectionnées, ont donné exactement le même profil pour les trois gènes étudiés. Ces séquences sont données ci-dessous.

Les analyses de Blast permettant de comparer les séquences obtenues dans la présente étude, avec les séquences disponibles dans les bases de données publiques, ont permis de donner une identification génétique des individus échantillonnés. Les trois gènes tendent à confirmer la présence du chabot commun, *Cottus gobio*. Cependant, cette étude pourrait être confirmée avec d'autres types de marqueurs plus variables encore, comme les microsatellites.

Gène 16s :

TAGACACGAAAGCAGCCACGTTAAGCACCCCGAATAAAGGACTAAACCAAGTGGGC
CCTGCCCTAATGTC

Résultat de l'analyse Blast : 100% d'homologie avec *Cottus gobio*

Gène 12s:

CACCGCGTTATACGAGAGGCCCAAGTTGACAAACACCGGCGTAAAGCGTGGTTAAGT
TAAAAATCATACTAAAGCCAAACATCTTCAAGACTGTTATACGTAACCGAAGACAGGA
AGTTCAACCACGAAAGTCGCTTTATCTGATCTGAATCCACGAAAGCTAAGGAA

Résultat de l'analyse Blast : 100% d'homologie avec *Cottus gobio*

TGTAATTGTTACAGCCCATGCTTTCGTAATAATTTTCTTTATAGTAATGCCAATTATAAT
CGGAGGTTTCGGTAACTGGCTAATTTCCCTAATGATCGGCGCTCCTGATATGGCCTTTC
CTCGAATGAATAATATGAGCTTTTGGACTCCTTTCCCCCATCTTTTTTACTCCTCCTTGCCCT
CTTCGGGGGTCTGAAGCAGGTGCCGGAACCGGATGAACAGTCTACCCGCCCTCGCCGG
AAACCTAGCCACGCAGGAGCCTCTGTTGACCTAACAATCTTCTCCCTTCACCTAGCAG
GTATCTCCTCTAATTCTTGGGGCAATCAACTTTATCACAACCTATCATCAATATGAAACCC
CCTGCCATTTTACAATACCAGACCCCGCTCTTCGTATGATCTGTCCTTATTACTGCTGTC
CTACTACTTCTTTCTCTCCCGTACTTGGCCGCCGGCATCACAATGCTCCTAACAGACCG
AAACCTTAACACCACCTTCTTTGACCCTGCCGGAGGGGGAGACCCAATCCTTTACCAAC
ACCTCTTTTGATTTT

Résultat de l'analyse Blast *Cottus gobio* (99,54%) et *C. cfr rondeleti* (99,54%).

Compte-rendu du F-index par Jérôme G. Prunier et Simon Blanchet

Jérôme G. PRUNIER & Simon BLANCHET
Station d'Ecologie Théorique et Expérimentale (SETE) du CNRS
2 route du CNRS
09200 Moulis

Le 14/11/2022

QUANTIFICATION GENETIQUE DE L'IMPACT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES SUR LA CONNECTIVITE ECOLOGIQUE DES COURS D'EAU

CONTEXTE ET METHODE

La présence d'un ouvrage hydraulique – même de petite taille – peut fortement impacter la mobilité des organismes aquatiques, et donc induire un **isolement des populations**, avec des conséquences importantes sur leur fonctionnement et plus généralement sur le maintien de la biodiversité en rivière. On parle de **fragmentation**. Afin de restaurer la **continuité écologique** des cours d'eau, il importe de pouvoir **quantifier précisément cet effet barrière** des ouvrages, avant d'envisager des **mesures de restauration** adaptées, en accord avec la réglementation (ex : effacement d'ouvrage, création ou amélioration de passe à poissons). Le cas échéant, il importe également de pouvoir **mesurer l'efficacité de ces mesures** de restauration.

Il existe diverses méthodes pour quantifier ces effets barrières : Le présent rapport rend compte d'une **approche génétique**. L'effet barrière d'un ouvrage va en effet se traduire par une évolution indépendante de la **signature génétique** des populations localisées de part et d'autre de l'ouvrage : avec le temps, les populations amont et aval vont devenir génétiquement de plus en plus différentes l'une de l'autre, alors qu'elles ne formaient qu'une seule entité initialement. Ce mécanisme est d'autant plus marqué que la réduction des flux d'individus (et donc des flux de gènes) de part et d'autre de l'ouvrage est importante (c'est-à-dire que l'obstacle est fragmentant et limite les mouvements). Il est donc possible de quantifier cette structuration génétique de part et d'autre de l'obstacle par le biais de mesures dites de **différentiation génétique**, suite à un échantillonnage génétique (prélèvement de tissus sur une vingtaine d'individus de chaque espèce) réalisé directement en amont et en aval de l'ouvrage. Ces mesures de différenciation génétique doivent toutefois faire l'objet d'un traitement (détaillé en annexe) afin qu'elles soient comparables entre ouvrages et entre espèces : on obtient alors un **indice génétique standardisé**, le **FINDEX**. Le FINDEX s'exprime sous la forme d'un pourcentage : une valeur **inférieure à 20%** indique un **ouvrage « transparent »** tandis qu'une valeur **supérieure à 90%** indique un **ouvrage totalement bloquant**.

RESULTATS

- **Rivière :** AUDE
- **Commune :** Belvianes-et-Cavirac (11)
- **Ouvrage(s) :** Seuil de la scierie (ROE36482)
- **Date(s) de pêche :** 14/09/2021
- **Chabot commun (*Cottus gobio*) :** FINDEX = **87.30 ± 3.74**
- **Vairon du Languedoc (*Phoxinus septimaniae*) :** FINDEX = **94.96 ± 0.50**

Ces résultats indiquent un blocage (quasi-)absolu des flux génétiques de part et d'autre de l'ouvrage, et suggèrent que le Seuil de la scierie constitue localement un obstacle majeur à la continuité écologique de l'Aude pour les deux espèces ciblées.

ANNEXE

Le FINDEX a été développé par les Dr. Jérôme G. Prunier et Simon Blanchet au sein de la Station d'Ecologie Théorique et Expérimentale du CNRS à Moulis (Ariège) dans le cadre d'un partenariat avec l'Office Français de la Biodiversité. Son principe, succinctement décrit ci-dessous, et sa validation ont fait l'objet d'une publication scientifique dans la revue *Evolutionary Applications* en 2020¹.

Le FINDEX repose sur le **re-échelonnage de la mesure de différenciation génétique (*GDobs*) observée de part et d'autre d'un ouvrage au sein de sa gamme théorique de variation**. A condition que les populations échantillonnées en amont et en aval soient **situées aux abords directs de l'ouvrage**, cette gamme théorique varie de 0 (ouvrage totalement transparent) à une valeur maximale *GDmax* (ouvrage totalement bloquant) dépendant de l'âge de l'ouvrage et de la taille des populations qu'il sépare (estimée indirectement par une mesure de diversité génétique). Dans chaque cas d'étude, la valeur *GDmax* est prédite par apprentissage automatique supervisé à partir de bases de données développées par nos soins, et permettant donc de calculer une valeur de FINDEX pour chaque espèce considérée.