

- RAPPORT D'ETUDE -



2023 N° 5/16

## Étude hydro-morphologique des habitats de frayère et influence des débits sur la qualité du milieu

AUDRAN M., ALIX F., JAVIX T., RIVOALLAN D. • Mars 2024



Photo de couverture  
© MRM

Référence à citer

AUDRAN M., ALIX F., JAVIX T., RIVOALLAN D., 2024. Étude hydro-morphologique des habitats de frayère et influence des débits sur la qualité du milieu. Campagne d'étude 2023. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 20p.

## Contexte et objectifs de l'étude

### 1.1 Contexte

Le cycle de vie des poissons migrateurs repose sur la complémentarité fonctionnelle de nombreux habitats. Chacun de ces habitats est alors essentiel à la réalisation d'une phase du cycle biologique, que ce soit la croissance, la reproduction ou encore la migration. Ces espèces sont donc vulnérables aux dégradations pouvant affecter la disponibilité de ces habitats, leur qualité et plus particulièrement dans le cas des grands migrateurs, leur accessibilité.

L'aloise feinte de Méditerranée est un poisson migrateur endémique du pourtour méditerranéen. Les pressions anthropiques et notamment la construction d'obstacles transversaux sur le Rhône et ses affluents sont à l'origine d'une forte régression des stocks à partir du milieu du XX<sup>ème</sup> siècle. L'une des causes majeures de ce déclin repose alors sur la dégradation de l'accessibilité et de la qualité d'un habitat essentiel à la réalisation du cycle de vie des aloses : **les habitats de frayère**.

Pour enrayer ce déclin des populations, un plan de gestion des poissons migrateurs a été mis en place dès 1993. Concernant l'aloise, les actions prévues au PLAGEPOMI 2022-2027 poursuivent un objectif de décloisonnement de l'axe Rhône jusqu'à la Drôme et l'Eyrieux, ainsi que le décloisonnement des fleuves côtiers sur leurs linéaires classés en Zone d'Action Prioritaire pour l'Alose. Des **actions de restauration de la continuité écologique** ont ainsi été menées sur le Rhône et ses affluents (Sauveterre 2017 ; Rochemaure 2016, Pouzin 2017, Codolet 2021, Remoulins 2021, etc...), ainsi que sur les fleuves côtiers (Têt 2022 - passage à gué des Expos et radier Pont Joffre, Aude 2023 - St Nazaire, etc...).

Afin de répondre à ces objectifs de décloisonnement, il est nécessaire d'optimiser les mesures de gestion par la priorisation des actions. En effet, ces efforts de décloisonnements étant déployés sur plusieurs dizaines d'années, il est essentiel de cibler en priorité les secteurs présentant de forts enjeux pour l'espèce. **Ainsi, la connaissance de la répartition des habitats de frayères et de leur qualité, acquise dans le cadre des PLAGEPOMI, doit nécessairement guider les mesures de gestion.**

### 1.2 Objectifs et zones d'étude

La connaissance de la **qualité des frayères actives** est primordiale à la priorisation des mesures de gestion. La qualité de l'habitat détermine à la fois son attractivité au regard des géniteurs et la survie des œufs et des larves. Ainsi, elle constitue notamment un paramètre explicatif de l'évolution interannuelle des populations.

**Les frayères de substitution**, situées généralement en aval des premiers obstacles des axes colonisés, présentent une situation stratégique pour la reproduction des aloses. Une dégradation de la qualité de ces habitats clés pourrait alors aboutir à des préconisations de gestion en termes de continuité écologique ou encore de restauration morphologique d'habitat.

Cette étude s'inscrit comme objectif du PLAGEPOMI 2022-2027 (orientation 4). Elle vise à valider un protocole de caractérisation du « milieu » vis à vis de la gestion des amphihalins en évaluant la qualité des secteurs de reproduction. L'objectif est d'identifier les problématiques et pressions associées en vue de proposer les priorités de gestion.

Ainsi, l'étude Habitat 2023 est centrée sur **l'étude fine des caractéristiques hydro-morphologiques et physico-chimiques de 4 frayères de substitution : la frayère de Saint-Martin d'Ardèche, de Moussoulens sur l'Aude, de Villetelle sur le Vidourle et de Callet sur la Durance** (Figure1). Ce travail vise notamment à étudier l'influence des bas débits sur la qualité de ces frayères et ainsi estimer la fonctionnalité de l'habitat dans le contexte de changement hydro-climatique actuel. Parallèlement, la qualité de l'habitat est évaluée plus spécifiquement au regard des exigences des jeunes stades. Autrement dit, sont étudiés la qualité physico-chimiques du substrat ainsi que les zones d'exondation.

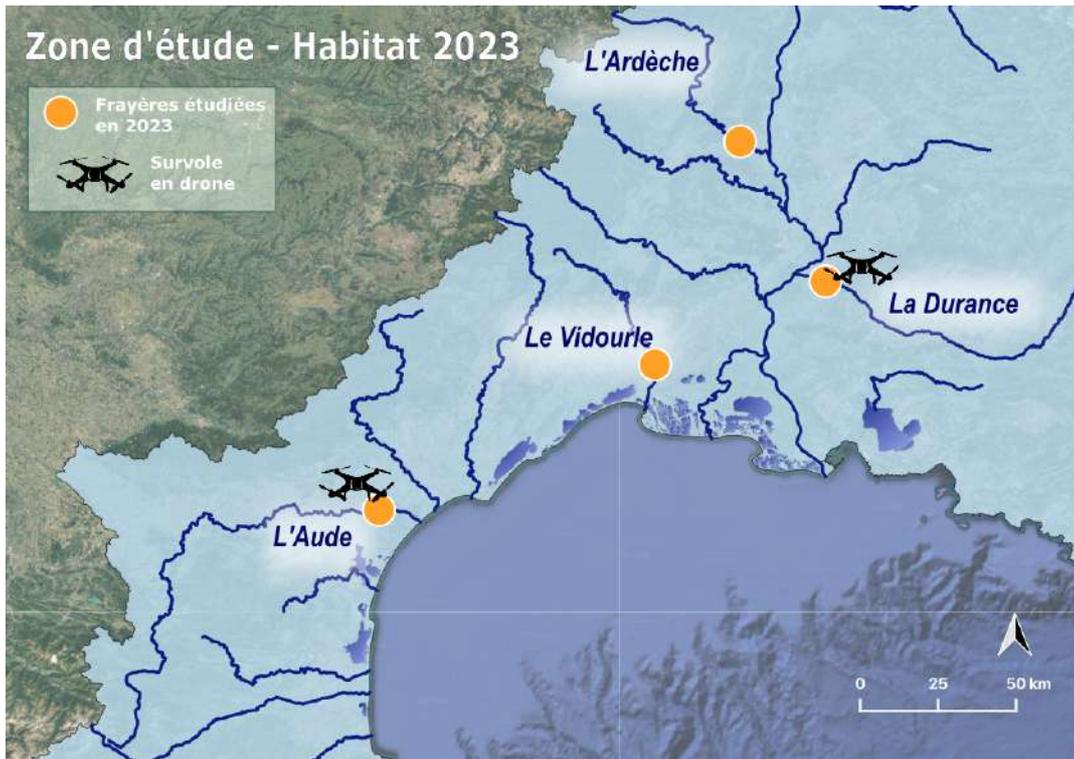


Figure 1 : Zone d'étude - Étude hydro-morphologique des frayères (points oranges) et suivi des exondations (symbole - drone)

## Matériel et méthode

### 2.1 Qualité hydro-morphologique des frayères et influence des débits : méthode des microhabitats

L'aloïse feinte de Méditerranée se reproduit sur des zones de radier, autrement dit, sur des linéaires caractérisés par de fortes vitesses d'écoulement et des profondeurs relativement faibles. La qualité d'une frayère d'aloïse repose alors sur plusieurs paramètres de l'habitat : son hydro-morphologie, sa granulométrie et la qualité physico-chimique de l'eau et du substrat (notamment oxygénation, colmatage, température, matière organique, contamination, etc...)¹.

Afin de caractériser la capacité d'accueil des frayères, la méthode des microhabitats² développée par le CEMAGREF (INRAe) de Lyon a été appliquée pour l'étude des frayères d'aloïse feinte de Méditerranée. L'objectif de cette méthode est de proposer une démarche de gestion quantitative de la ressource en eau prenant en compte la faune piscicole. En effet, elle permet de quantifier la capacité d'accueil d'un secteur (en termes de surface d'habitat favorable) en fonction des débits et au regard des différentes espèces piscicoles et de leurs exigences biologiques propres. Concrètement, elle est principalement destinée à fournir une aide à la détermination des débits réservés en aval des barrages et à évaluer la sensibilité biologique des cours d'eau aux variations hydro-morphologiques de leurs habitats.

¹ CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS, 1986. Réserve naturelle de la frayère d'aloïse - Etude des œufs de la grande aloïse (*Alosa alosa*) - Répartition et dérive, taux de mortalité, influence des pollutions. ENSAT.

² POUILLY M., VALENTIN S., CAPRA H., GINOT V., SOUCHON Y., 1995. Méthode des microhabitats: Principes et protocoles d'application. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 336, 41-54.

### a) Définition des préférences écologiques de l'aloise feinte de Méditerranée

Peu d'études sont disponibles sur les exigences des aloses feintes de Méditerranée en termes de gammes de paramètres hydro-morphologiques des frayères. Des gammes de préférences (Figure 2) ont alors été déterminées dans le cadre de cette étude par la réalisation de courbes de préférences basées sur la bibliographie regroupant les données existantes pour les trois espèces d'aloises présentes en France métropolitaine : l'aloise feinte de Méditerranée (*Alosa agone*), l'aloise feinte (*Alosa fallax*) et la grande alose (*Alosa alosa*). En effet, ces trois espèces présentent une écologie similaire et l'aloise feinte de Méditerranée semble avoir des préférences intermédiaires entre les deux autres espèces.

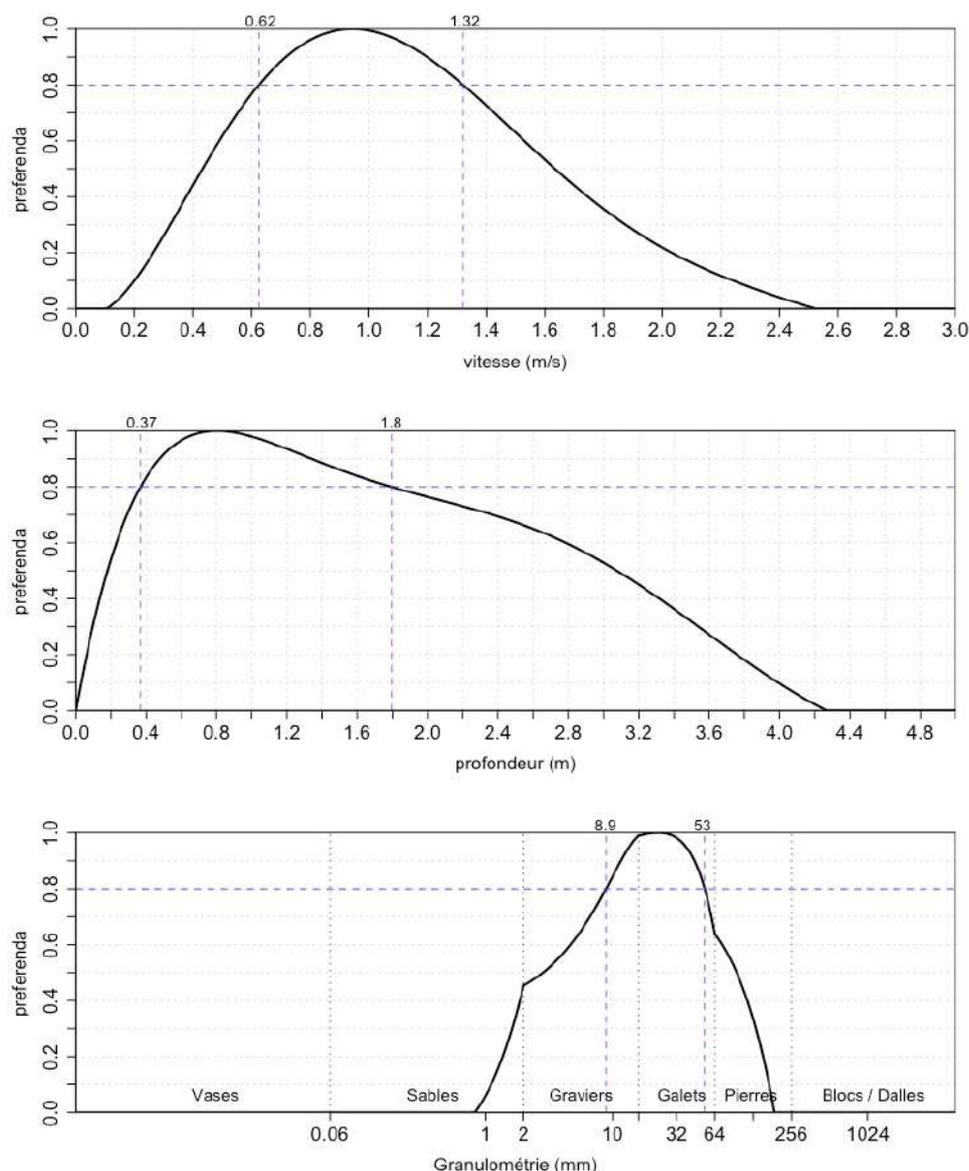


Figure 2 : Courbes de préférences écologiques de l'Alose feinte de Méditerranée : Vitesses de courant (a), profondeur (b) et substrat (c). Une échelle logarithmique est utilisée pour la granulométrie.

10 articles fournissant des données de vitesse de courant ont été trouvées, 15 articles pour les profondeurs et 19 articles pour la granulométrie.

Les courbes représentent les fréquences d'apparition des valeurs de chaque variable dans la bibliographie : 0 si la valeur n'apparaît pas dans la bibliographie et 1 si elle apparaît dans toutes les références (ces fréquences sont ajustées en appliquant un coefficient correcteur afin que la préférence la plus élevée soit égale à 1).

Il convient alors de remarquer que ces gammes restent cohérentes avec celles utilisées en 2022 dans le cadre de l'actualisation des habitats potentiels de frayères (basées sur les données issues des études de la grande alose et adaptées à l'aloise feinte de Méditerranée<sup>3</sup>), bien que la « nouvelle » gamme de granulométrie soit plus restrictive.

### b) Prises de mesures sur le terrain



Figure 3 : Mesure des paramètres vitesse, profondeur et granulométrie sur l'Ardèche (20/04/2023)

La phase de terrain consiste ensuite à caractériser l'habitat par la mesure des paramètres physiques de la frayère (courantologie, granulométrie et bathymétrie) suivant des transects. Ces derniers sont espacés de manière à couvrir la diversité des écoulements de la frayère (de 5 à 20 mètres). Dans la mesure du possible, deux sessions de mesures sont effectuées sur chaque site, pour des conditions de bas et de haut débits.

### c) Modélisation avec le logiciel HEC-RAS

Dans un second temps, les mesures relevées en conditions de hauts débits sont utilisées pour modéliser sur le logiciel HEC-RAS 5.0.3 les caractéristiques hydro-morphologiques de la frayère en fonction d'une large gamme de débits.

A l'issue du travail sur HEC-RAS, un fichier Excel est créé indiquant pour chaque transect (original et interpolé) la vitesse moyenne, la profondeur maximale et la côte de la ligne d'eau pour le débit modélisé.

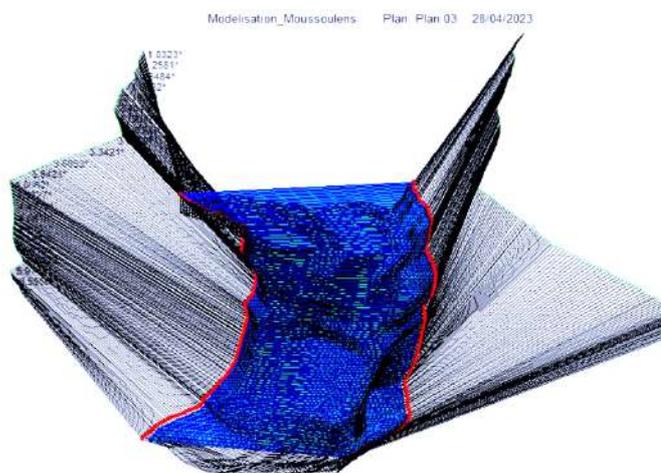


Figure 4 : Visualisation 3D de la modélisation hydraulique de la frayère de Moussoulens sur Hec-Ras

### d) Indices de capacité d'accueil et cartographie

Les indices de capacité d'accueil sont ensuite calculés par le croisement de ces fichiers Excel, des données relevées sur le terrain et des courbes de préférences écologiques. Ces indices, que sont la Surface Pondérée Utile (SPU - en m<sup>2</sup>) ainsi que la Valeur d'Habitat (VHA - en %), sont calculés pour l'ensemble de la gamme de débits modélisés. La SPU représente la surface d'habitat potentiellement exploitable par les géniteurs d'aloise. La VHA correspond au pourcentage de la SPU par rapport à la surface mouillée.

<sup>3</sup> MARTY et al., 2014. Habitats potentiels de reproduction de l'Alose feinte sur l'Aude. Onema, Délégation Interrégionale Méditerranée. 10p.

Enfin, les données modélisées et leurs « préférences d'habitats » associées pour chaque point sont reportées sur Qgis afin d'obtenir des cartographies de la qualité de l'habitat pour chaque débit souhaité.

## 2.2 Qualité des frayères pour le développement des œufs et des larves

### a) Détermination des zones théoriques de dépôts des œufs

La modélisation des zones de dépôt des œufs a été effectuée en suivant la méthodologie développée dans le cadre du projet LIFE Alose 2015<sup>4</sup>. Ce modèle vise à déterminer les zones potentielles de dépôt des œufs d'aloses à la suite de la reproduction effectuée en surface. La détermination de ces zones a pour objectif d'étudier plus spécifiquement les secteurs les plus susceptibles d'héberger des œufs, en termes de qualité du substrat et de risque d'exondation.

Cette méthode consiste à calculer la trajectoire de chute des œufs en tenant compte de la hauteur d'eau, de la vitesse de sédimentation des œufs et de la vitesse du courant (sachant que la vitesse de sédimentation des œufs est de 1,63 cm/s d'après une étude menée par MIGADO sur la Grande Alose).

Le calcul des points de la trajectoire de chute des œufs est le suivant :

$$Elev(n) = Elev(n-1) - 0,0163 * \frac{(Dist(n) * Dist(n-1))}{moy(Vit(n); Vit(n-1))}$$

Elev (n) : élévation de l'œuf au point n  
Elev (n-1) : élévation de l'œuf au point n-1  
Dist (n) : Distance de l'œuf de la ponte au point n  
Dist (n-1) : Distance œuf de la ponte au point n-1  
Vit (n) : Vitesse d'écoulement au point n  
Vit (n-1) : Vitesse d'écoulement au point n-1

### b) Évaluation du colmatage du substrat via la mesure de la conductivité hydraulique

La qualité physico-chimique des zones de frayères est déterminante pour la survie des plus jeunes stades de vie. De plus, l'évolution actuelle du contexte hydro-climatique, par l'augmentation des températures de l'eau et par l'accentuation des étiages, risque de porter atteinte à l'efficacité de la reproduction. C'est pourquoi des mesures complémentaires ont été réalisées sur des frayères sur lesquelles l'activité de reproduction est avérée. L'étude des paramètres physico-chimiques se limite, dans le cadre de cette étude, à l'évaluation du colmatage via la mesure de la conductivité hydraulique.

Il existe une forte corrélation entre le pourcentage de particules fines dans le sédiment et la conductivité hydraulique de ce dernier. Plus les particules fines sont présentes, plus la conductivité hydraulique est faible<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> MIGADO, OFB, 2015. Programme Life + Alose 2015, méthodologie.

<sup>5</sup> DESCLOUX S., DATRY T., PHILIPPE M., MARMONIER P., 2010. Comparison of Different Techniques to Assess Surface and Subsurface Streambed Colmation with Fine Sediments

La conductivité hydraulique  $K$  est la capacité d'un milieu poreux (ici la matrice sédimentaire du lit) à laisser circuler un fluide. Le principe du protocole repose donc sur la mesure du temps nécessaire à l'infiltration d'1L d'eau dans le sédiment en un point et à une profondeur donnée.

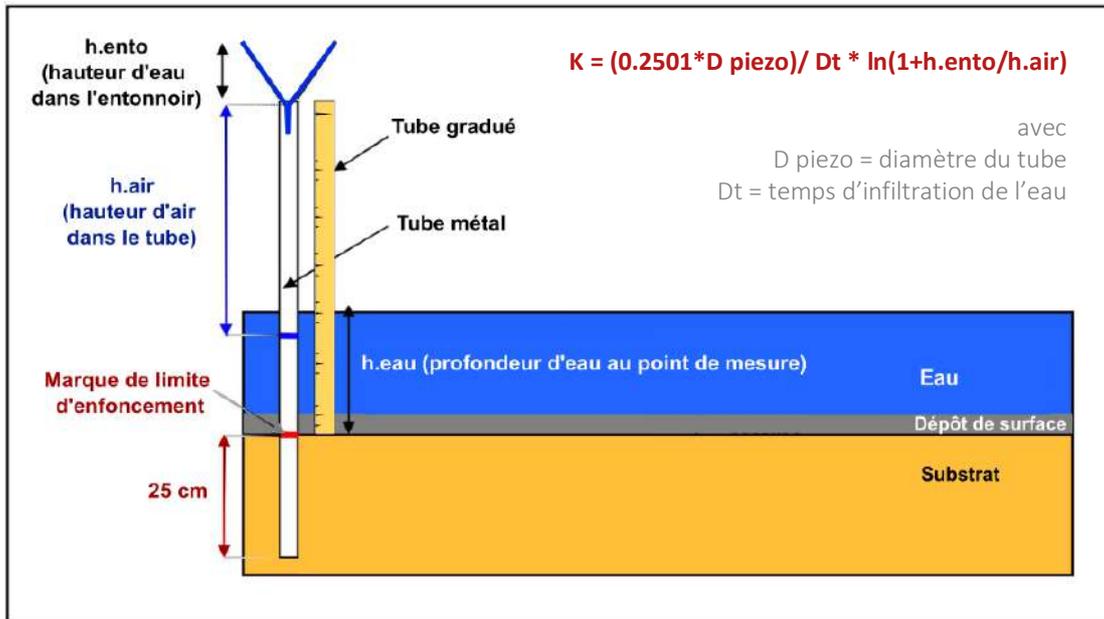


Figure 5 : Schéma représentatif du protocole de mesure de la conductivité hydraulique de l'eau

Deux sessions ont été menées sur chaque zone d'étude (printemps / été) de manière à observer l'évolution du colmatage au cours de la saison. Ces mesures sont répliquées 10 à 15 fois sur chaque site, les points de mesure étant répartis sur l'ensemble de la frayère.

### c) Estimation du risque d'exondation sur les frayères de Moussoulens et de Callet

Dans la partie précédente, nous avons abordé la qualité physico-chimique du substrat. Néanmoins, les retours d'expériences des différents suivis réalisés aux abords des frayères ne font pas seulement état de colmatage et de développement algale. En effet, en cas d'étiage précoce, certaines frayères peuvent présenter dès le mois de juin, d'importantes zones d'exondations.

Ces observations ont notamment été faites sur les frayères de Callet et de Moussoulens. Dans le cadre de cette étude, ces deux frayères ont donc été survolées en drone pour deux types de débits : des gammes de débits favorables à la reproduction (selon les retours d'expérience du suivi de la reproduction) et des gammes de débits d'étiages. Les prises de vue ont ensuite été géo-localisées afin de superposer les surfaces en eau et d'identifier ainsi les zones à la fois susceptibles d'être en eau lors de la reproduction (donc susceptible d'héberger des œufs) et soumises à un risque d'exondation en condition d'étiage.

## Résultats

### 3.1 Qualité hydro-morphologique des frayères et influence des débits

#### a) La frayère de Saint Martin d'Ardèche

Sur l'Ardèche, on assiste ces dernières années à une reproduction préférentiellement effectuée en aval de Saint-Martin d'Ardèche. Or, ces secteurs sont fréquemment affectés par un déficit en eau, en lien avec les étiages précoces et les multiples prélèvements sur le bassin. Chaque année, de nombreuses aloses sont observées au pied de l'ouvrage de Saint-Martin d'Ardèche dont la franchissabilité est remise en cause depuis plusieurs années.

Parallèlement, le suivi de la reproduction confirme annuellement l'occurrence de bulls sur ce secteur qui, par conséquent, constitue une frayère de substitution. Cette zone représente ainsi un fort enjeu pour l'espèce et l'étude sa fonctionnalité selon les débits permettra d'évaluer la qualité du milieu ainsi que les problématiques associées.

Les mesures hydro-morphologiques de la frayère de Saint-Martin ont été relevées pour des débits de **8 et 12 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>** (respectivement, le 20/04 et le 20/06) et la modélisation de la frayère a été réalisée pour des débits de **4 à 75 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>**.

La modélisation hydraulique de la frayère de Saint-Martin d'Ardèche nous donne accès à sa capacité d'accueil à travers la SPU ainsi que la VHA (*Figure 6*). On observe alors que la SPU max est associée à des débits optimaux compris entre 40 et de 50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, avec 2 625 m<sup>2</sup> d'habitat favorable.

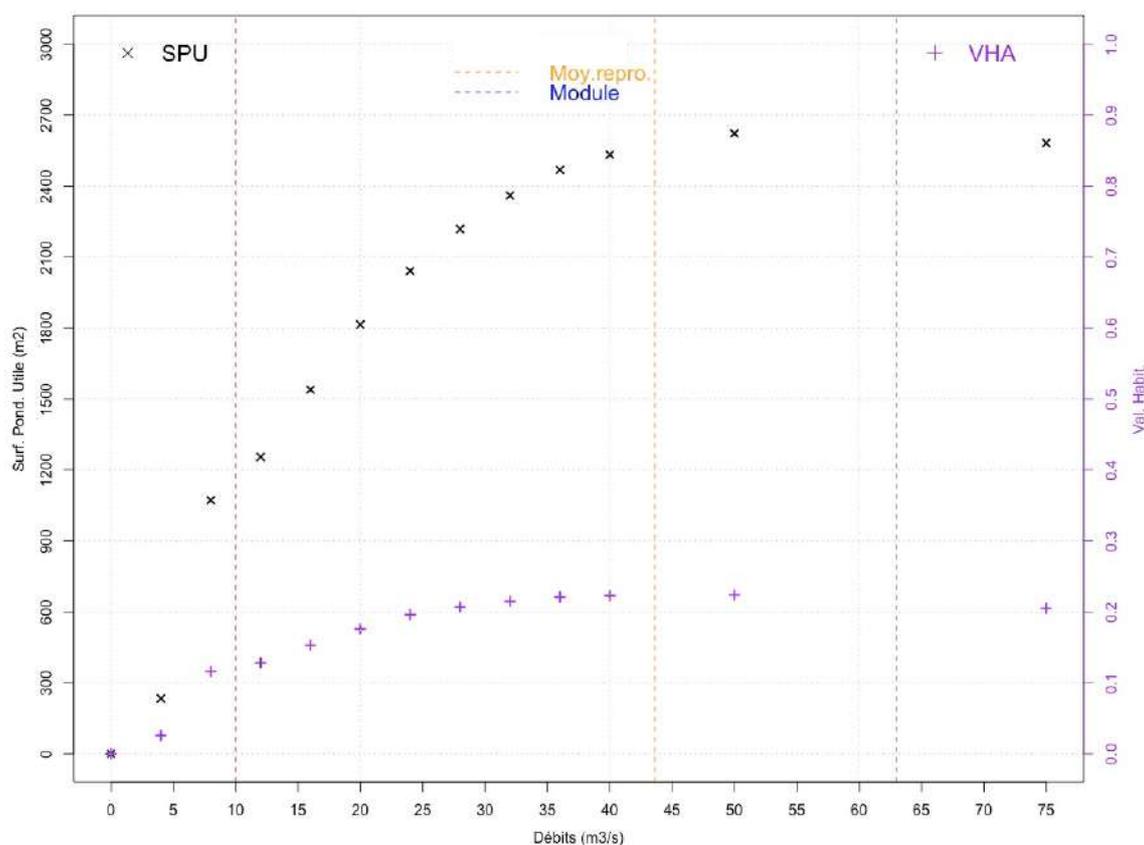


Figure 6 : Évolution de la Surface Pondérée Utile (SPU) et de la Valeur d'Habitat (VHA) sur la frayère de Saint-Martin d'Ardèche en fonction du débit.

La cartographie des préférences d'habitats sur la frayère de Saint-Martin d'Ardèche a été réalisée pour des débits de 8 et 20 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Figure 7). Ces résultats mettent alors en évidence la localisation des zones favorables ainsi que l'évolution de leur surface (multipliée par 1,7) entre ces deux débits.

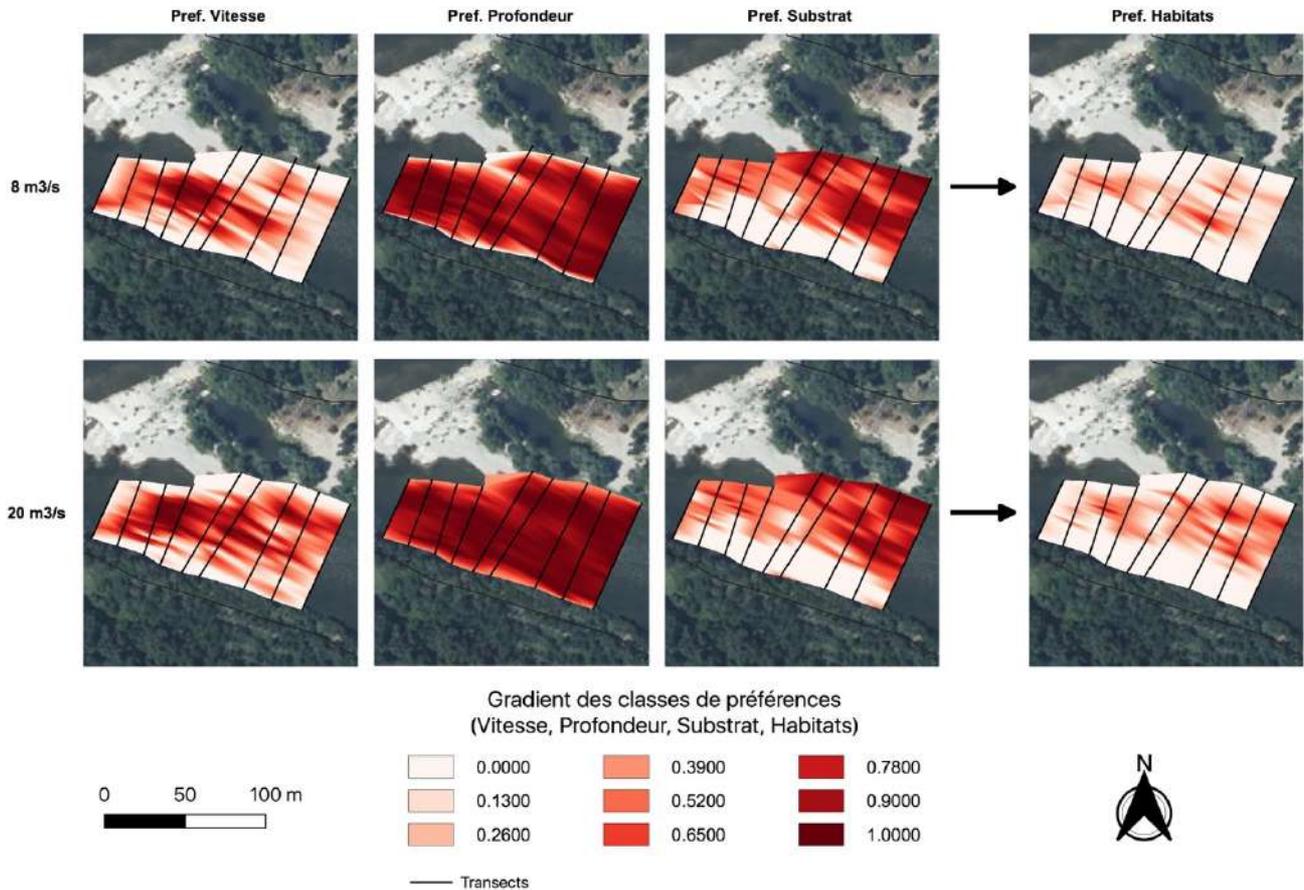


Figure 7 : Cartographie de la qualité de l'habitat de frayère de Saint-Martin d'Ardèche pour des débits de 8 et 20 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

La récurrence des étiages sévères et précoces constitue une problématique majeure sur les habitats de frayère. Un débit seuil en dessous duquel la SPU chute drastiquement a donc été identifié pour chaque frayère. Sur l'Ardèche, ce débit seuil est ainsi estimé à 8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Or, à titre d'exemple, sur des années sèches comme 2022 et 2023, les débits printaniers (station hydrologique de Sauze) ont été compris entre 4 et 54 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Ainsi, sur ces deux saisons de reproduction, la période de débits défavorables (i. e. inférieurs au seuil de 8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), représente 32% à 44% de la période de reproduction. Quant à la période de débits optimaux (i.e. aux alentours de 40 - 50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), elle ne représente que 0 à 4 % de la période de reproduction.

### b) La frayère du seuil de Callet, sur la Durance

Sur la Durance, le linéaire accessible aux aloses est restreint puisque les individus sont bloqués au niveau du seuil de Callet, second ouvrage de la Durance, situé à moins de 7 km de la confluence avec le Rhône. Les aloses qui s'engagent sur la Durance se reproduisent alors sur une frayère de substitution située à l'aval immédiat du seuil de Callet.

Sur cette frayère, la largeur du cours d'eau et les vitesses observées rendent les prises de mesures très compliquées voire impossible dans des conditions de sécurité adaptées.

Pour remédier à cette problématique, l'association MRM a été aidée par le SMAVD qui a utilisé un outil ADCP (profileur de courant Doppler acoustique) permettant d'acquérir des données géolocalisées de vitesse sur l'ensemble de la profondeur. Cependant, la multitude de données acquises via cet outil et le logiciel utilisé rendent l'analyse des données très complexe. De ce fait, les données n'ont pas pu être analysées dans leur intégralité en 2023. La poursuite de l'analyse des données et les résultats seront ainsi présentés dans le rapport de la campagne de suivi 2024.

### c) La frayère de Villetelle, sur le Vidourle

Le Vidourle a fait l'objet d'efforts conséquents en termes de restauration de sa continuité écologique. L'efficacité de ces mesures pour l'alose a été confirmée, en 2020 et 2021, par une forte colonisation du cours d'eau, et ce sur l'ensemble du linéaire décloisonné. Toutefois, la qualité des frayères actuellement accessibles semble dégradée. L'objectif est alors d'évaluer la fonctionnalité de la frayère de Villetelle (la plus amont des frayères exploitées) afin d'envisager les mesures de gestion les plus adaptées, notamment en termes de décloisonnement et de restauration des habitats.

Les mesures hydro-morphologiques de la frayère de Villetelle ont été relevées le 30/03 pour un débit de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , la seconde relève n'a pu être effectuée pour des raisons d'étiage prolongé, n'ayant pas permis de rencontrer des débits suffisamment importants. La modélisation de la frayère a alors été réalisée pour des débits de  $1$  à  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

On observe alors que la SPU max est associée à un débit optimal de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , avec  $660 \text{ m}^2$  d'habitat favorable (*figure 8*).

Les cartographies des préférences d'habitats ont été réalisées pour des débits de  $1$  et  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (*figure 9*). On remarque que la vitesse du courant constitue le facteur limitant. Ces résultats mettent également en évidence la localisation des zones favorables ainsi que l'évolution de leur surface (multipliée par 3) entre ces deux débits.

**La récurrence des étiages sévères et précoces constitue une problématique majeure sur les habitats de frayère.** Néanmoins, sur le Vidourle, le débit seuil en dessous duquel la SPU chute drastiquement n'a pas pu être identifié. En effet, les mesures ayant permis cette modélisation ont été réalisées pour des débits trop faibles pour observer avec précision l'influence de l'hydrologie sur la surface en habitat favorable.

Néanmoins, nous pouvons supposer que les conditions dans lesquelles ont été réalisés les relevés terrain, soit un débit de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , constituent dès lors des conditions **fortement dégradées** pour la reproduction des aloses, avec une perte de plus de 75% de la surface en habitat favorable (par rapport à la surface maximale de la frayère).

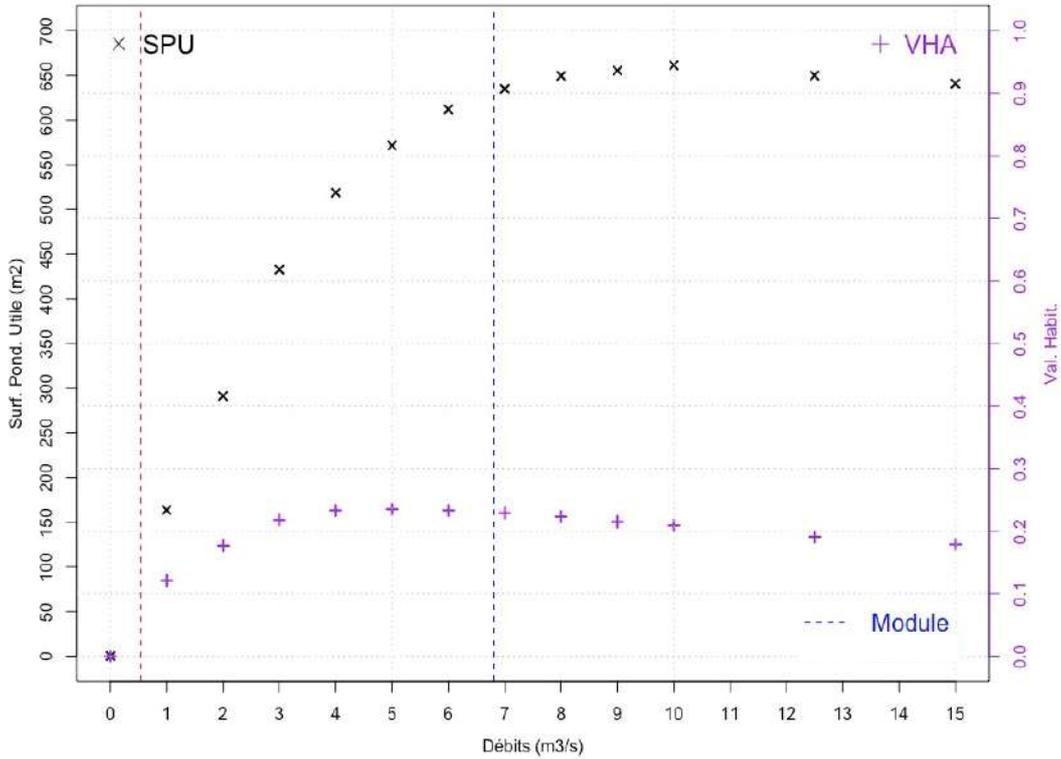


Figure 8 : Évolution de la Surface Pondérée Utile (SPU) et de la Valeur d'Habitat (VHA) sur la frayère de Villetelle en fonction du débit

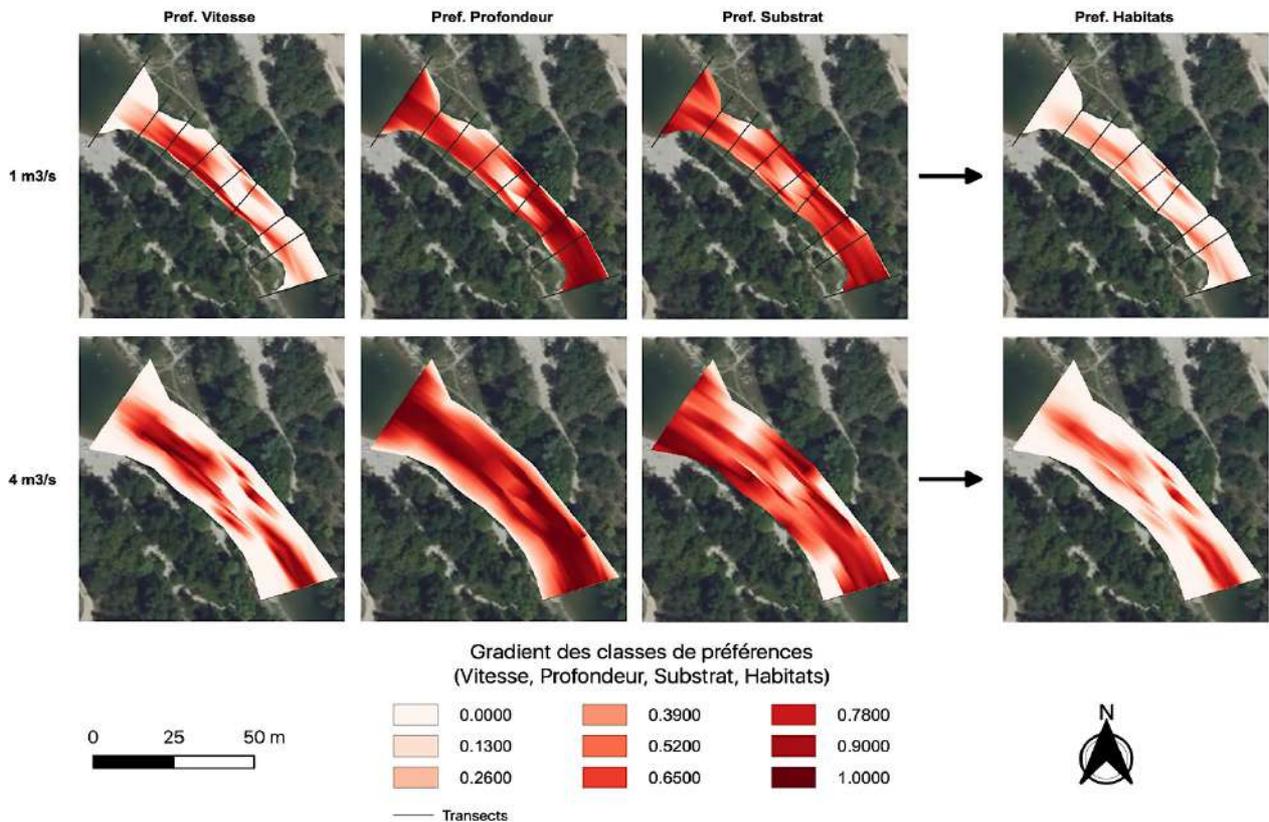


Figure 9 : Cartographie de la qualité de l'habitat de frayère de Villetelle sur le Vidourle pour des débits de 1 et 4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Or, à titre d'exemple, sur des années sèches comme 2022 et 2023, les débits printaniers (station hydrologique de Gallargues) ont été compris entre 0,1 et 5,9  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . De plus, sur ces deux saisons de reproduction, la période de débits inférieurs à 1  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  représente 71% à 77% de la période de reproduction. Quant aux conditions hydrologiques optimales pour la reproduction, elles ne sont pas rencontrées sur ces deux saisons.

Enfin, nous pouvons remarquer que cette frayère présente une surface en habitat favorable très limitée, cette dernière allant globalement (entre QMNA5 et le module) de 100 à 600  $\text{m}^2$ . Cette disponibilité en habitat favorable est alors loin de celles des autres sites étudiés, faisant de la frayère de Villetelle un habitat à faible capacité d'accueil et particulièrement sensible aux variations hydrologiques.

#### d) La frayère de Moussoulens, sur l'Aude

Sur l'Aude, les suivis de la reproduction et de la pêche mettent en évidence l'enjeu majeur que représente ce bassin pour la population d'alose feinte de Méditerranée. Cependant, cet axe de migration est soumis à d'importantes problématiques de gestion quantitative de la ressource en eau et de continuité écologique. Ainsi, le linéaire colonisable est fortement restreint (seuil de Moussoulens situé à 23km de la mer. La frayère de Moussoulens est à la fois une frayère de substitution mais également l'unique frayère exploitée connue sur ce bassin. Ce secteur clé, sur lequel se concentre l'essentiel de la population d'aloses du bassin, est alors soumis à diverses pressions, notamment en termes d'étiage, de déficit sédimentaire, de pêche et de prédation par les silures. Parallèlement, la gestion quantitative de la ressource (diminution drastique des débits à partir du mois de juin sur l'Aude aval) tend à exacerber ces pressions. L'objectif est donc d'appréhender cette problématique de gestion quantitative de l'eau et d'estimer l'influence des bas débits sur la qualité de la frayère.

Les mesures hydro-morphologiques de la frayère de Moussoulens ont été relevées pour des débits de 5 et 15  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  et la modélisation de la frayère a été réalisée pour des débits de 2,5 à 50  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . La modélisation hydraulique de la frayère de Moussoulens nous donne accès à sa capacité d'accueil à travers la SPU ainsi que la VHA (figure 10). On observe alors que la SPU max est associée à un débit optimal de 30  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , avec 3 927  $\text{m}^2$  d'habitat favorable.

Les cartographies des préférences d'habitats ont été réalisées pour des débits de 5 et 15  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (figure 11). On remarque que pour un débit de 5  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , les vitesses sont encore une fois le facteur limitant. Ces résultats mettent également en évidence la localisation des zones favorables ainsi que l'évolution de leur surface (multipliée par 2) entre ces deux débits.

La récurrence des étiages sévères et précoces, associée à la gestion quantitative, constitue une problématique majeure sur le bassin de l'Aude. Le débit seuil en dessous duquel la SPU chute drastiquement sur la frayère de Moussoulens a alors été estimé à 5  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Or, sur des saisons sèches comme celles de 2021 et 2022, les débits printaniers (station hydrologique de Moussoulens) ont été compris entre 1,7 et 118  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Sur ces deux saisons de reproduction, la période de débits défavorables (i. e. inférieurs au seuil de 5  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), représente 16% à 22% de la période de reproduction. Quant à la période de débits optimaux (i.e. aux alentours de 25 - 35  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), elle ne représente que 6 à 19 % de la période de reproduction. Il convient alors de remarquer que les conditions hydrologiques défavorables touchent la frayère de Moussoulens sur une période plus réduite que sur les autres sites étudiés. En effet, ces conditions ne sont pas rencontrées avant le mois de juin. Néanmoins, bien que ses conditions se limitent à la fin de la période de reproduction, elles restent susceptibles de dégrader fortement les conditions de développement des œufs et des larves.

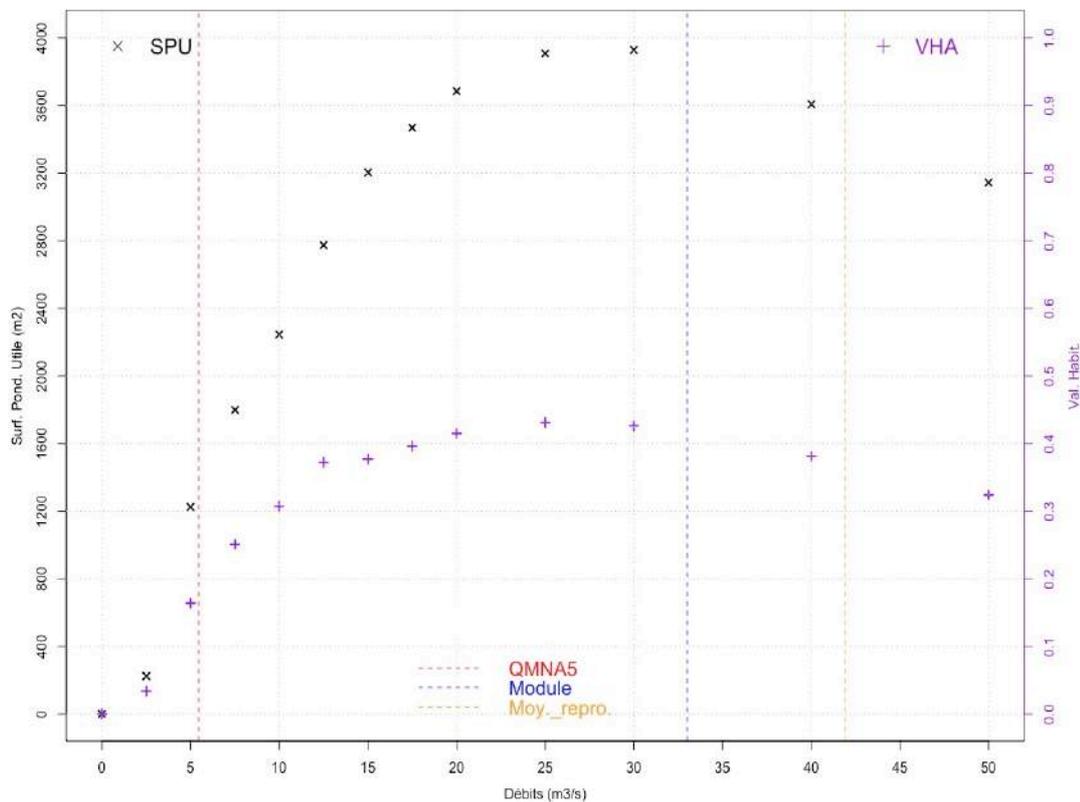


Figure 10 : Évolution de la Surface Pondérée Utile (SPU) et de la Valeur d'Habitat (VHA) sur la frayère de Moussoulens en fonction du débit

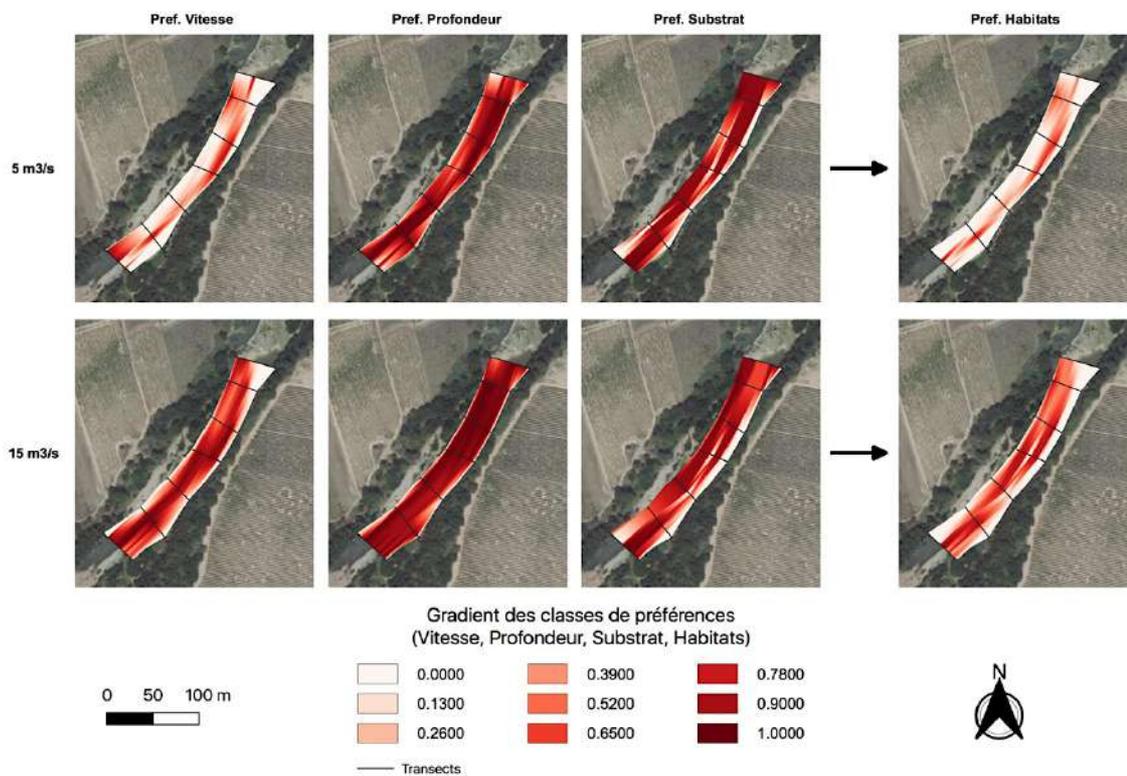


Figure 11 : Cartographie de la qualité de l'habitat de frayère de Moussoulens sur l'Aude pour des débits de 5 et 15 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

### e) Validation de la méthode

La pertinence de la méthode de caractérisation de la qualité des frayères précédemment décrite (courbes de préférences, mesures in situ et modélisation) a pu être validée par une analyse complémentaire illustrée par la *figure 12*. Les cartographies de qualité de l'habitat de la frayère de Moussoulens ont été recoupées avec la localisation des bulls (relevée in situ à cet effet, lors du suivi nocturne de la reproduction 2023). Les résultats sont alors cohérents : la localisation des bulls se superpose bien aux zones les plus favorables de la frayère, et ce, pour les différents débits rencontrés au printemps 2023 (corrélation testée pour des débits de 10, 15, 20 et 30  $m^3.s^{-1}$ ). Ce résultat permet ainsi de valider la méthode de caractérisation des frayères à aloses appliquée dans le cadre de cette étude.

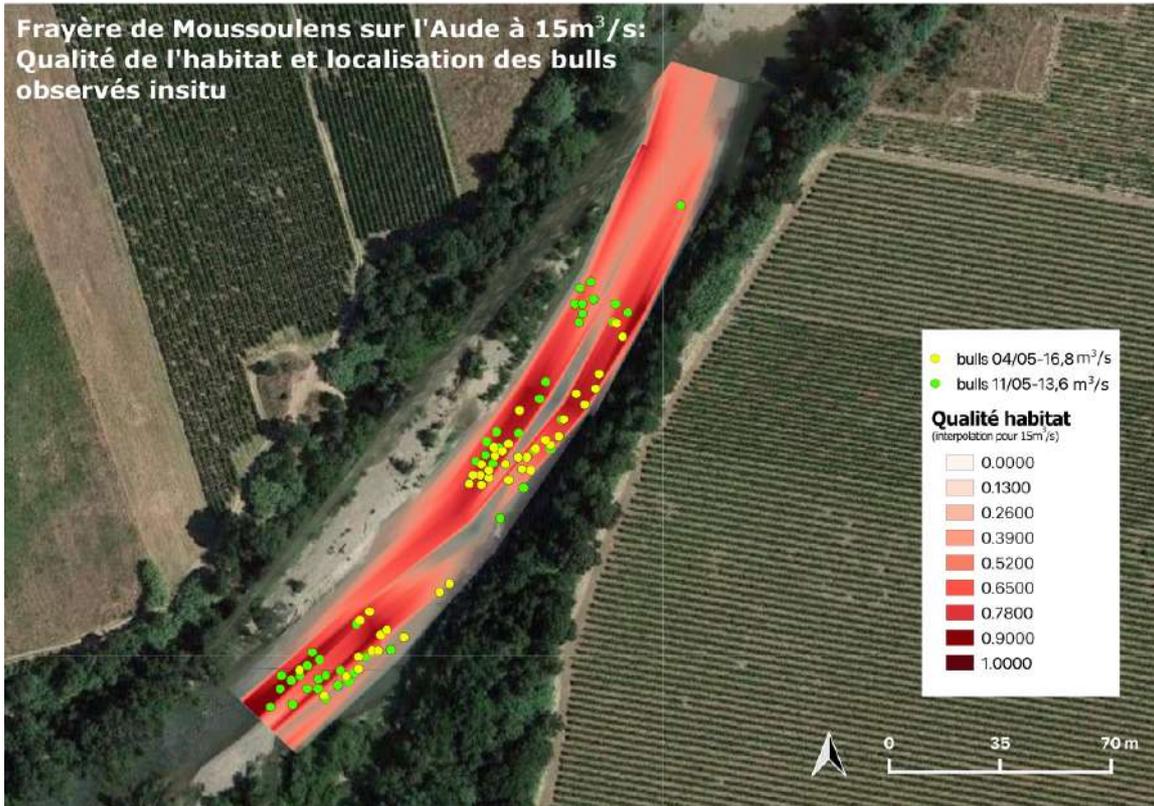


Figure 12 : Recoupement de la cartographie de la qualité de l'habitat et de la localisation réelle des bulls, pour des débits de l'ordre de  $15 m^3.s^{-1}$

## 3.3 Qualité des frayères pour le développement des œufs et des larves

### a) Zones potentielles de dépôt des œufs

Pour l'ensemble des frayères étudiées, la modélisation montre une large zone de dépôt des œufs. A titre d'exemple, sur la frayère de Saint-Martin d'Ardèche, la distance de dérive des œufs varie de 9 à 80 mètres (*Figure 13*). Ainsi la zone de dépôt potentielle des œufs couvre la majeure partie de la frayère.

Il a donc été décidé d'effectuer l'étude de la qualité du substrat à l'échelle de l'ensemble de la frayère. Autrement dit, pour chaque site, les mesures de conductivité hydraulique ainsi que l'analyse du risque d'exondation ont donc été effectuées sur l'ensemble du secteur étudié.

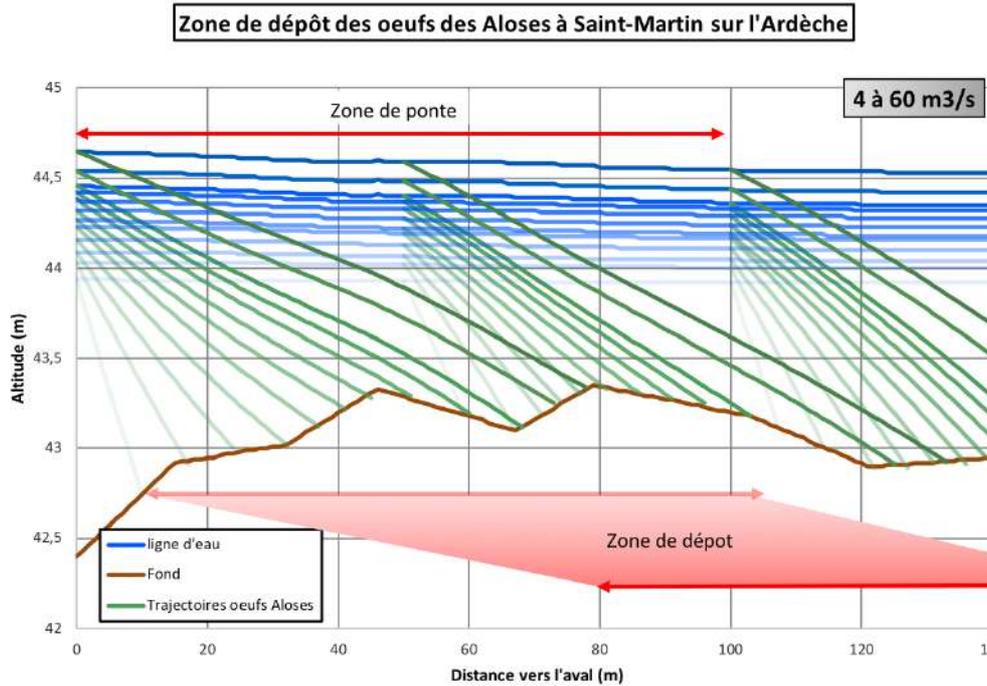


Figure 13 : Détermination graphique de la zone de dépôt des œufs sur la frayère de Saint-Martin d'Ardèche pour des débits de 4 et 60 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

### b) Évaluation du colmatage du substrat via la mesure de la conductivité hydraulique

Les résultats ci-dessous (figure 14) représentent, pour chaque frayère étudiée, la moyenne de l'ensemble des mesures de conductivité réalisées (20 à 30 par site).

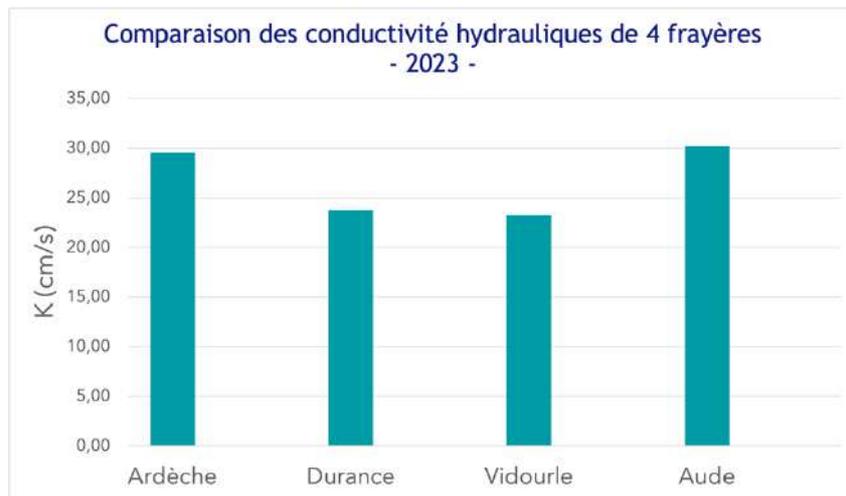
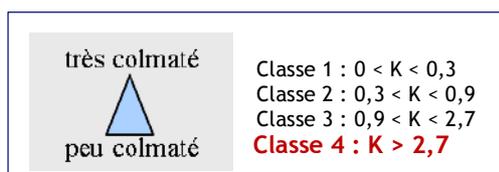


Figure 14 : Conductivités hydrauliques moyennées de chacune des frayères étudiées

La comparaison de ces conductivités hydrauliques montre que ces quatre secteurs présentent un degré de colmatage semblable et caractéristique des substrats de radiers. En effet, leurs conductivités sont élevées si l'on se réfère aux travaux de l'ONEMA de 2010<sup>4</sup> dont la classification des valeurs de K est la suivante :



Il convient alors de remarquer que les spécificités des habitats ciblés dans cette étude (radiers à granulométrie grossière) sont susceptibles d'être incompatibles avec cette nomenclature peu adaptée à l'étude et la comparaison de ces habitats.

Un nouveau classement sera réfléchi en 2024 à partir de l'ensemble des mesures effectuées depuis 2022 sur les habitats de type radiers.

Si l'on s'intéresse à présent à l'évolution du colmatage au cours de la saison (Figure 15), on observe une augmentation notable du colmatage sur la frayère de Callet, ainsi que sur celle de Villetelle.

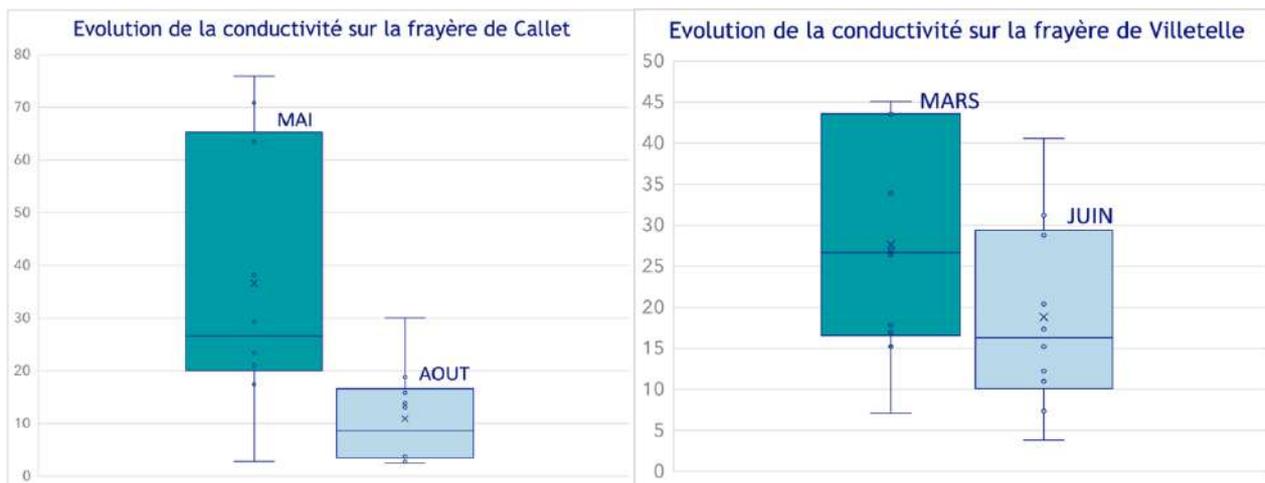


Figure 15 : Évolution des conductivités sur la Durance et le Vidourle

L'application d'un test de Student permet de confirmer (pour un risque de 5%) la significativité de la diminution de la conductivité sur la Durance (p-value = 0,0034). A l'inverse, cette diminution n'est pas significative sur le Vidourle (p-value = 0,066).

Bien qu'il nous soit encore difficile de comparer les frayères entre elles, en termes de degrés de colmatage, ces résultats peuvent mettre en évidence les secteurs (comme l'aval du seuil de Callet) touchés par un colmatage progressif du substrat lié à la diminution des débits, l'augmentation des températures et le développement algal.

### c) Estimation du risque d'exondation sur les frayères de Moussoulens et de Callet

Sur la Durance, dans des conditions favorables à la reproduction, la frayère de Callet présente une surface en eau de 9 549 m<sup>2</sup>. En débit d'étiage (ou débit réservé), la surface en eau est de 7 412 m<sup>2</sup>, soit une perte de 22,4 % de sa surface (figure 16 - gauche).

Sur l'Aude, dans des conditions favorables à la reproduction, la frayère de Moussoulens présente une surface en eau de 6 300 m<sup>2</sup>. En débit d'étiage (ou débit réservé), la surface en eau est de 4 339 m<sup>2</sup>, soit une perte de 31,1 % de sa surface (figure 16 - droite).

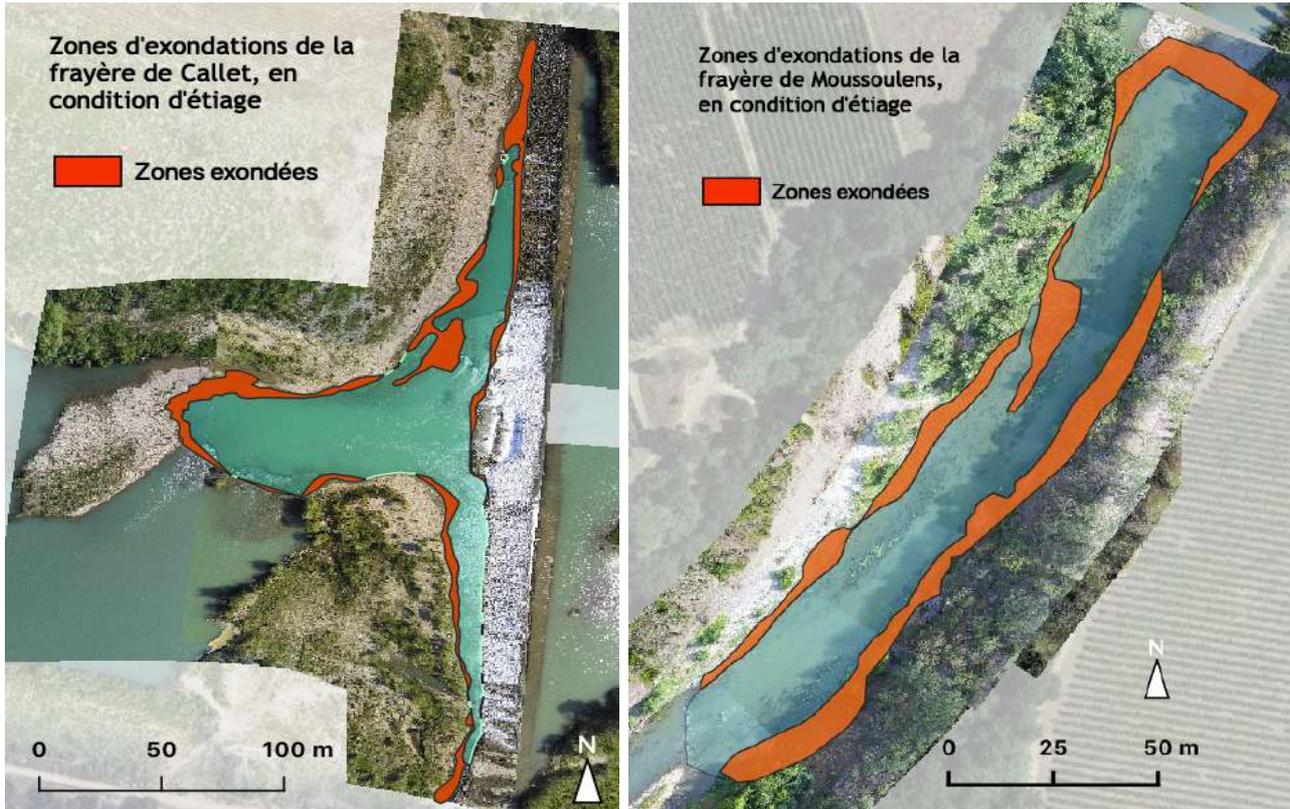


Figure 16 : Cartographie des zones d'exondations sur la frayère de Callet - Durance (gauche) et sur la frayère de Moussoulens - Aude (droite)

Au-delà de l'importance des exondations, en termes de surface, la question de la localisation de ces exondations reste essentielle. En effet, les exondations sont d'autant plus problématiques si elles sont localisées sur la trajectoire potentielle des œufs. Or, les deux frayères étudiées présentent cette problématique (Figure 17) : chacune présente une zone préférentielle de réalisation des bulls (retours d'expérience - suivi reproduction), située en amont directe d'une zone d'exondation. Ainsi, les débits d'étiages observés sur ces deux secteurs sont susceptibles d'impliquer l'exondation de zones de dépôt des œufs et de compromettre ainsi la survie des plus jeunes stades.



Figure 17 : Zones d'exondation en aval directe d'une zone préférentielle de réalisation des bulls - sur la Durance (à gauche) et sur l'Aude (à droite)

## Conclusion

Cette étude a ainsi permis de **caractériser l'hydro-morphologie de quatre frayères de substitution** et d'estimer **l'influence des débits** sur la qualité de ces habitats aux regards des exigences de l'aloise feinte de Méditerranée.

**Sur la frayère de Saint-Martin d'Ardèche**, la SPU maximale est de 2625 m<sup>2</sup>, observée pour un débit optimal de 50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Pour de faibles débits, la SPU est limitée par des vitesses de courant trop faibles ainsi qu'une granulométrie trop grossière. De 8 à 20 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, la SPU modélisée est multipliée par 1,7.

On observe une chute brutale de la SPU pour le passage de 8 à 4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, identifiant ainsi ce débit de 8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> comme un seuil critique au-delà duquel les conditions hydrologiques sont incompatibles à l'activité de reproduction des aloses.

**Sur la frayère de Callet**, sur la Durance, les données récupérées n'ont pas pu être traitées dans leur globalité. Les données de débits et de SPU associée seront ainsi présentées dans le futur rapport.

La conductivité hydraulique du substrat diminue significativement entre le début et la fin du printemps. D'autre part, l'identification des zones d'exondations en condition d'étiage met en évidence un risque d'exondation de zones potentielles de dépôt des œufs.

**Sur la frayère de Villetelle**, sur le Vidourle, la SPU maximale est de 660 m<sup>2</sup>, observée pour un débit optimal de 10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Pour un débit de 1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, la SPU est limitée par des vitesses de courant trop faibles. Pour un débit de 4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, la SPU modélisée est multipliée par 3. Le débit seuil de la frayère de Villetelle n'a pas pu être identifié pour cause de manque de représentativité de la modélisation pour les débits extrêmes.

La conductivité hydraulique du substrat diminue notablement entre le début et la fin du printemps. Pour finir, on remarque que la surface en habitat favorable de cette frayère est la plus réduite des quatre zones d'étude.

**Sur la frayère de Moussoulens**, sur l'Aude, la SPU maximale est de 3927 m<sup>2</sup>, observée pour un débit optimal de 30 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Pour un débit de 5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, la SPU est limitée par des vitesses de courant trop faibles. Pour un débit de 15 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, la SPU modélisée est multipliée par 2. On observe une chute brutale de la SPU pour le passage de 5 à 2,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, identifiant ainsi ce débit de 5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> comme un seuil critique au-delà duquel les conditions hydrologiques sont incompatibles à l'activité de reproduction des aloses.

L'identification des zones d'exondations en condition d'étiage met en évidence un risque d'exondation de zones potentielles de dépôt des œufs.

**En résumé**, les résultats mettent en évidence la vitesse du courant comme facteurs limitants le plus récurrent, notamment sur l'Aude et le Vidourle. Sur l'ensemble des frayères étudiées, les résultats soulignent également l'impact non négligeable des faibles débits sur la surface en habitat favorable à la reproduction : le passage d'un faible débit (conditions de relèvement terrain) à un débit adapté à la reproduction (débits pour lesquels on observe de la reproduction) **multiplie par un facteur de 1,7 à 3 la surface en habitat favorable**.

D'autre part, on remarque que les **débits optimisant la SPU** de ces frayères sont bien supérieurs aux conditions hydrologiques printanières observées ces dernières années.

Enfin, concernant **l'étude de la qualité du substrat**, l'analyse du colmatage ainsi que l'identification des zones d'exondations mettent en évidence, d'une part, un colmatage progressif des frayères de Callet et de Villetelle en cours de saison, et d'autre part, un risque d'exondation des œufs sur les frayères de Callet et de Moussoulens.

Il convient alors de rappeler que ces quatre frayères représentent à la fois des zones de **forte accumulation des aloses**, des sites d'importance majeure pour la **préservation des populations** et enfin, des **habitats de substitution fortement affectés** par les **problématiques de changement climatique et de gestion quantitative de l'eau**.

Dans ce contexte, ces analyses ont permis de quantifier, pour chaque frayère, l'impact de ces pressions en termes de surface d'habitat favorable, de colmatage et d'exondation. Les résultats mettent alors en évidence que les débits d'étiage ou débits réservés de ces secteurs impliquent une forte dégradation de la qualité de la frayère, aussi bien pour les géniteurs que pour les jeunes stades. Or, dans un contexte de changements hydro-climatiques, **ces conditions extrêmes deviennent de plus en plus récurrentes et précoces**. Ces observations soulignent ainsi la nécessité d'envisager la **gestion quantitative de la ressource en eau et la reconsidération des débits réservés comme une priorité majeure**.

**Le décloisonnement des axes de migration** demeure évidemment une solution de gestion, tout du moins en admettant que les frayères des secteurs amont sont moins touchées par la gestion quantitative de l'eau. Afin d'approfondir cette hypothèse, la campagne 2024 de l'étude habitat portera notamment sur l'étude de l'influence des conditions hydrologiques sur la qualité de frayères naturelles situées en amont d'ouvrages non franchissables.

# Remerciements

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) tient à remercier vivement tous ceux qui, par leur collaboration technique ou financière, ont contribué à la réalisation de cette étude.

## PARTENAIRES FINANCIERS

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
- Région : Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur, Auvergne Rhône-Alpes et Occitanie
- Départements de l'Aude et des Bouches du Rhône et du Gard
- Fédération Nationale pour la Pêche en France
- Compagnie Nationale du Rhône dans le cadre de ses plans 5 Rhône

## MEMBRES MRM

- Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) de l'Ain, des Alpes de Haute Provence, des Hautes-Alpes, des Alpes-Maritimes, de l'Ardèche, de l'Aude, des Bouches-du-Rhône, de la Corse, de la Drôme, du Gard, de l'Hérault, de l'Isère, du Jura, de la Loire, des Pyrénées-Orientales, du Rhône, de la Savoie, de Haute-Savoie, de Haute-Saône, de la Saône et Loire, du Var et du Vaucluse
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique PACA (ARFPPMA PACA)
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique Auvergne-Rhône-Alpes (ARPARA)

## PARTENAIRES TECHNIQUES

- SMAVD
- FD11

## Financeurs

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée ne pourrait agir sans l'engagement durable de ses partenaires financiers



## Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique :

- Ain
- Alpes de Haute-Provence
- Hautes-Alpes
- Alpes-Maritimes
- Ardèche
- Aude
- Bouches-du-Rhône
- Corse
- Drôme
- Gard
- Hérault
- Isère
- Jura
- Loire
- Pyrénées-Orientales
- Rhône
- Haute-Saône
- Saône et Loire
- Savoie
- Haute-Savoie
- Var
- Vaucluse

Association Régionale des Fédérations de Pêche de PACA (ARFPPMA PACA)

Association Régionale des Fédérations de Pêche Auvergne Rhône-Alpes (ARPARA)

ASSOCIATION MIGRATEURS  
RHÔNE-MÉDITERRANÉE

ZI Nord, rue André Chamson, 13200 Arles  
contact@migrateursrhonemediterranee.org  
Tél. : 04 90 93 39 32  
[www.migrateursrhonemediterranee.org](http://www.migrateursrhonemediterranee.org)

