

# Rapport technique d'étude

## Sélection, prospection et proposition de mesures de restaurations d'annexes hydrauliques

---



Avec le soutien financier :

Rédacteur Principal : Kilian Falhun

Equipe projet : Daniel Mayerau, chargé de projet

Gaëlle THEVENARD, chargée d'actions territoriales

Date de rédaction : Aout 2022

Bibliographie conseillée : Falhun K. (2022), Rapport technique d'étude Sélection, prospection et proposition de mesures de restaurations d'annexes hydrauliques. 22p

Ce présent rapport est un rapport technique de l'étude réalisée dans le cadre d'un stage de master 2. Pour plus d'exhaustivité, vous pouvez consulter le rapport universitaire de stage.

## Sommaire

Introduction.....	1
Matériels et Méthode.....	2
I. Sélection, prospection et diagnostic des annexes hydrauliques à restaurer .....	2
1. Sélection des annexes hydrauliques à prospecter .....	2
2. Prospection des annexes hydrauliques .....	4
3. Profil topographique et calcul des seuils de connexion .....	4
4. Choix du seuil de connexion .....	5
Résultats .....	6
I. Description des annexes hydrauliques prospectées.....	6
II. Profil topographique et seuil de connexion des annexes hydrauliques potentiellement restaurables.....	13
Discussion.....	16
<b>Bibliographie.....</b>	<b>22</b>

## Introduction

Forte de sa dynamique, l'Allier forme, efface et renouvelle une diversité de milieux alluvionnaires qui est profitable à une importante biodiversité (Cournez, 2015). Parmi ces milieux, les bras morts se forment par le recouplement des méandres que l'Allier dessine sur sa plaine alluviale (Malavoi & Souchon, 1996 ; Cournez, 2015). Localement, les bras morts connectés ponctuellement au cours d'eau sont appelés « boires ».

Ces dernières décennies, l'Allier a connu une baisse généralisée de son débit et les crues, qui étaient autrefois importantes et fréquentes, se sont faites plus rares et moins intenses (Cournez, 2015). À l'avenir, ce phénomène devrait s'amplifier en raison du changement climatique qui sera marqué par une augmentation des températures, de l'ordre de 1,4 à 3°C, et par une baisse des précipitations en période estivale (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012). Ces changements auront pour effet de réduire le débit annuel de l'Allier à hauteur de 10 à 30%, d'accentuer la sévérité des étiages, de provoquer une diminution des crues décennales en termes d'intensité ainsi que d'augmenter les phénomènes d'évapotranspiration de l'ordre de 15 à 30% (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012).

La baisse actuelle et à venir de la dynamique de l'Allier, couplé à l'incision de son lit (Cournez, 2015), menace le maintien du renouvellement des milieux alluvionnaires comme les annexes hydrauliques. Leur restauration apparaît donc comme une solution privilégiée, sans quoi une perte de leur fonctionnalité voire de leur nombre pourrait se produire (Erwin, 2009).

Par conséquent, sur les 3 sites Natura 2000 du Val d'Allier (Val d'Allier Sud et Val d'Allier nord classés comme ZSC ; Val d'Allier Bourbonnais classé comme ZPS), une des mesures d'action décrite dans le DOCOB est de « gérer/restaurer des annexes hydrauliques » dans l'objectif de « restaurer les milieux naturels dégradés » (Laucoin & Rambourdin, 2016). Pour ce faire, un contrat Natura 2000 visant à la « restauration et l'aménagement d'annexes hydrauliques » peut être mobilisé.

L'objectif de ce document est ainsi de présenter la manière dont ont été sélectionnées les annexes hydrauliques à prospecter et de décrire les travaux à entreprendre dans le cadre d'un contrat Natura 2000 sur celles dont il serait bénéfique de restaurer.

## Matériels et Méthode

### I. Sélection, prospection et diagnostic des annexes hydrauliques à restaurer

#### 1. Sélection des annexes hydrauliques à prospecter

Avant toute proposition de mesures de restauration d'annexes hydrauliques, il est impératif de prospecter celles qui pourraient en bénéficier. Bien entendu, toutes ne peuvent être visitées, et, par conséquent, la première étape de l'étude consistait à sélectionner celles pour qui il paraissait intéressant de s'y rendre.

Une étude menée conjointement en 2016 par le Conservatoire d'Espaces Naturels (CEN) et la Fédération de l'Allier pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FAPPMA) a permis de recenser un total de 237 annexes hydrauliques réparties tout le long du tracé de l'Allier dans le département qui porte son nom. En sont exclues, les forêts alluviales et les prairies humides de faibles surfaces.

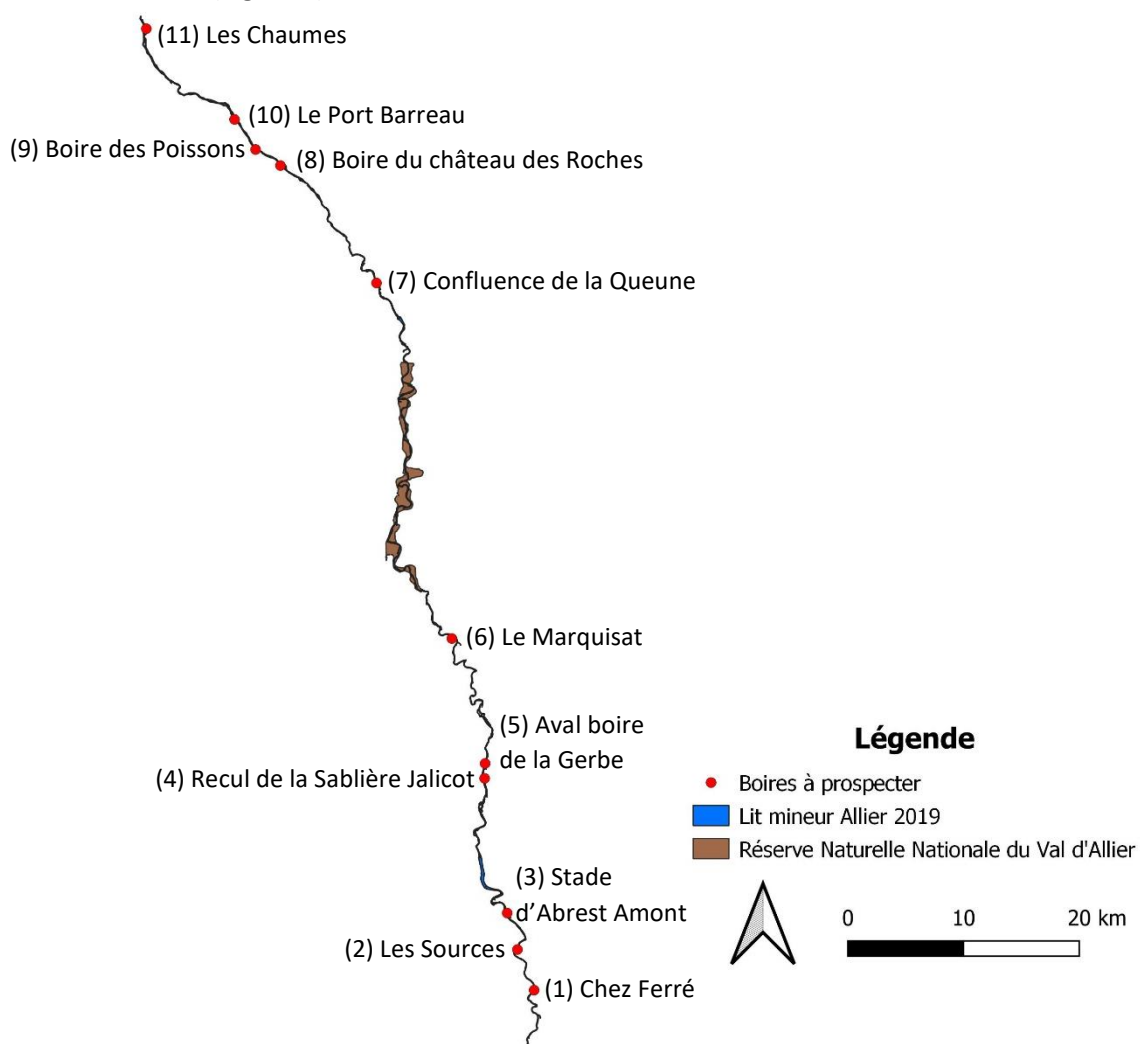
La sélection des sites à prospecter s'est donc faite parmi l'ensemble de ces annexes hydrauliques selon différents paramètres explicités ci-dessous. Ces paramètres ont pu être jugés par photo-interprétation et grâce aux différentes couches SIG disponibles du tracé de l'Allier (1982, 1996, 2000, 2005, 2013 et 2019).

- Tout d'abord, pour des soucis administratifs, toutes les annexes hydrauliques devaient se situer en dehors de la Réserve Naturelle Nationale (RNN) du Val d'Allier.
- Étant donné que les futurs travaux de restaurations consisteront à de la reconnexion d'annexes hydrauliques, seules les annexes paraissant déconnectées par photo-interprétation ont été prises en compte.
- La sélection des annexes hydrauliques s'est faite au niveau des zones à faible dynamique fluviale. En effet, dans ces zones, la dynamique est telle que la rivière n'est plus en capacité de recréer et de renouveler de nouvelles annexes hydrauliques, d'où la mise en œuvre de travaux de restauration sur les annexes existantes. Pour ce faire, les tracés de l'Allier correspondant aux différentes années citées précédemment sont empilés afin de vérifier la dynamique sur certains secteurs. Les zones à faible mobilité du lit ont été considérées comme peu dynamique ; à l'inverse les zones à forte mobilité ont été jugées comme dynamique. À ce propos, c'est au niveau de la RNN que l'Allier exprime la plus grande mobilité de son lit traduisant l'importante dynamique qui caractérise ce secteur ; ce qui, au-delà des soucis administratifs, limite l'intérêt à cet endroit d'entreprendre des travaux de restauration.
- De même, la sélection a été proscrite au niveau des secteurs à méandres qui constituent des zones à forte dynamique. En outre, les annexes positionnées en rive concave ou convexe d'un

méandre sont soumises respectivement à des risques accrus d'érosion ou de comblement, ce qui pose problème quant à la pérennité d'éventuels travaux (Vecchio, 2010).

- Toujours pour des raisons de pérennité des travaux de restaurations (Vecchio, 2010), la sélection s'est limitée aux annexes hydrauliques où une reconnexion par l'aval est possible et préférentielle.
- Les tronçons où la disponibilité en annexe hydraulique est relativement restreinte ont également été privilégiés.
- En vue de la faisabilité des travaux, les annexes hydrauliques ne devaient pas se situer au-delà de 150 mètres de l'Allier.
- La taille des annexes est également rentrée en compte pour des questions de « rentabilité » dans la mesure où il paraît peu opportun d'entreprendre des travaux conséquents pour reconnecter un petit point d'eau.

Au bout du compte, une fois l'ensemble de ces paramètres pris en compte, un total de 11 annexes hydrauliques ont été sélectionnées pour être prospectées. 6 d'entre-elles étaient situées à l'amont de la RNN et 5 à l'aval (Figure 1).



**Figure 1** : Localisation des boires sélectionnées pour être prospectées par rapport au tracé du lit de l'Allier dans le département qui porte son nom

## 2. Prospection des annexes hydrauliques

Les prospections se sont déroulées du 26 avril au 10 mai ; exception faite pour une annexe qui a été visitée le 13 juin. Initialement, celles-ci devaient se dérouler idéalement lorsque le débit de l'Allier était proche du module afin de mieux se rendre compte du degré de connexion des annexes hydrauliques avec la rivière. Toutefois, le débit n'a ni atteint et ne s'est ni rapproché du module (93 et 131 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> respectivement à Saint-Yorre et Moulins) durant toute la phase de terrain prévue pour les prospections. Néanmoins, une petite crue est survenue à la fin du mois de juin ce qui a permis de se rendre compte de la connexion de certaines annexes au module lors de la décrue.

Le débit est noté lors de chaque visite sur chacune des annexes. Les valeurs sont extraites à l'heure près sur le site Vigicrues au niveau des stations les plus proches des sites (de l'amont à l'aval : station de Saint-Yorre, station de Châtel-de-Neuvre, station de Moulins, station de Livry).

Lors des prospections, les boires sont étudiées au cas par cas afin de déterminer celles dont ils seraient le plus judicieux de réaliser des profils topographiques en vue de travaux de restaurations. La sélection et la justification de ces boires sont détaillées dans un document annexe.

## 3. Profil topographique et calcul des seuils de connexion

### • Réalisation des profils topographiques

La réalisation de profils topographiques visait à déterminer le seuil de connexions des annexes hydrauliques retenues après prospection, de visualiser leur fonctionnement hydrologique et d'estimer les volumes à prélever lors des futurs travaux de restauration pour ajuster le seuil de connexion entre les annexes et la rivière au débit souhaité.

Sur chacune des boires retenues, un ou plusieurs profils en long, ainsi que plusieurs profils en large, dont au moins un à la confluence de l'annexe, sont réalisés. Les points topographiques sont mesurés grâce à un appareil GPS différentiel. Celui-ci permet, grâce à son récepteur GNSS, de fournir les coordonnées longitudinales et latitudinales (X et Y) d'un point à une précision de 8 mm et de l'altitude (Z) à une résolution de 1,5 mm. Le logiciel ArpentGIS permet par la suite de saisir les points topographiques de terrain.

Ceux-ci ont été pris au niveau des ruptures de pente, de la ligne d'eau de l'Allier côté aval et côté amont (sur certaines boires), de la ligne d'eau des zones en eau de l'annexe et du point le plus profond de ces zones.

L'ensemble de ces points est ensuite exporté sur le logiciel de cartographie QGIS 3. 16.6 pour pouvoir être traité. En fonction du profil souhaité, des vecteurs de type ligne sont tracés à partir des points topographiques. L'extension Profile Tool permet par la suite de tracer les profils topographiques à partir de ces lignes de points. Pour faciliter les calculs de seuil de connexion, les points topographiques associés à leurs coordonnées et leur distance par rapport à l'axe du profil, sont exportés sur Excel.

- **Calcul des seuils de connexion**

Le débit correspondant à celui de l'Allier durant la journée où les points topographiques ont été réalisés est extrait du site Vigicrues. Les points topographiques pris au niveau de la ligne d'eau de l'Allier sur chaque annexe permettent ainsi d'obtenir une altitude de ligne d'eau à débit connu.

Le Système d'Information des Évolutions du lit de la Loire et de ses principaux affluents (SIEL) est un programme développé par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) du Centre-Val de Loire visant à mesurer et comprendre l'évolution du lit de la Loire et de ses affluents afin de prévoir à l'avenir les évolutions des cours d'eau à l'échelle du bassin de la Loire. Dans le cadre de ce programme, la DREAL Centre-Val de Loire met en ligne et à disposition un certain nombre de données relatif à la Loire et ses principaux affluents tels que des cartographies, des modèles numériques de terrain, des mosaïques aériennes, et plus intéressant encore dans le cadre de cette étude, des valeurs de lignes d'eau. Il est ainsi possible d'extraire des points où figure l'altitude de la ligne d'eau ainsi que la date à l'heure précise et les coordonnées des relevés. Connaissant le moment auquel ces points ont été mesurés, le débit correspondant peut être déterminé sur le site d'HydroPortail.

Ainsi, disposant de profils topographiques et de plusieurs points de ligne d'eau à altitude et débit connu, il est possible, par interpolation, de connaître le niveau d'eau à n'importe quel débit, et le débit à n'importe quel niveau d'eau selon les équations suivantes :

- Pour calculer une altitude de niveau d'eau à un débit  $x$  
$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} * (x - x_1) + y_1$$
 **Avec**  
 $x_i$  : les valeurs de débits
- Pour calculer un débit à une altitude de niveau d'eau  $y$  
$$x = x_1 + \frac{(y - y_1) * (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1}$$
  $y_i$  : les valeurs d'altitude de niveau d'eau

Enfin, pour calculer le seuil de connexion il suffit de prendre simplement le point haut entre l'annexe et le chenal principal et de calculer le débit correspondant à cette altitude de niveau d'eau. Ainsi, pour des valeurs supérieures à ce débit, l'annexe est connectée à l'Allier.

#### 4. Choix du seuil de connexion

La connexion des annexes hydrauliques ne doit pas être nécessairement permanente. Au contraire, Obolewski et *al.* (2016) montre qu'il existe une plus grande diversité d'espèces lorsqu'une annexe hydraulique est connectée de façon temporaire au cours d'eau. Les perturbations qu'engendrent une inondation ponctuelle sur la végétation aquatique permettent de réduire la concurrence interspécifique, ce qui permet par la suite à une végétation plus diversifiée de s'installer sur l'annexe hydraulique (Amoros & Bornette, 1999). De même, les exondations d'intensité et de fréquence variable permettent aux amphiphytes de se développer (Abernethy & Willby, 1999), ce qui est favorable à de nombreuses espèces comme le brochet (Chancerel, 2003).



Partant de ces principes, il a été décidé de maintenir une connexion temporaire et non pas permanente dans le cas d'une reconnexion d'annexes hydrauliques présélectionnées pour être restaurées.

Les débits d'autrefois n'étant plus ceux d'aujourd'hui et les prévisions étant à la baisse concernant le module de l'Allier, le choix a été fait de ne pas se porter sur cette valeur de débit mais plutôt d'utiliser le débit médian des 20 dernières années (soit un débit d'environ  $80\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) comme nouveau seuil de connexion en cas de travaux de restauration sur les annexes qui pourraient en bénéficier. Ces boires seront ainsi connectées en théorie 6 mois dans l'année à l'Allier.

## Résultats

### I. Description des annexes hydrauliques prospectées

- **Chez Ferré (1)**

Description succincte :

Cette boire était déjà connectée le jour de la prospection (26 avril) même à un faible débit ( $56\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  lors du passage). À noter, toutefois, la formation d'un bouchon alluvial au niveau de la confluence à l'aval qui menace la connexion. Des riverains présents sur l'annexe ce jour-là ont certifié que le bouchon ne progresse pas.

Cette très grande boire fortement envasée présente une colonisation assez importante de la jussie. Le niveau d'eau lors du passage était assez bas, avec des zones notamment asséchées, mais des traces de dépôt de crues sur les branches des arbres qui bordent la boire traduit l'importante profondeur de la boire en période de hautes eaux (> 2m).

Potentialité des mesures de restauration :

Cette boire étant déjà connectée à de faible débit, celle-ci ne devrait pas faire l'objet de mesures de restauration. La progression du bouchon alluvial à sa confluence est toutefois à surveiller.

- **Les Sources (2)**

Description succincte :

Cette annexe hydraulique a été visitée le 10 mai à un débit enregistré d'environ  $43\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ . Deux petits chenaux de connexion relient cette annexe avec l'Allier : l'un était en eau mais, de par sa pente, ne permet pas de retenir l'eau lorsque le niveau d'eau est trop important (phénomène de débordement) ; l'autre était asséché. Le chenal de connexion en eau est étagé et non pas continu. La boire des Sources est perchée de l'ordre d'un mètre environ par rapport au niveau de l'Allier.

Cette boire est très eutrophisée et présente une importante couche de vase. De plus, il existe un rejet d'eaux usées dans la boire qui se jettent ensuite dans l'Allier par les deux petits chenaux de connexion. En conséquence, un tapis épais d'algues vertes s'est formé au sein de cette boire ainsi que dans la

rivière au niveau de l'embouchure. Hormis ces algues, peu de végétation aquatique s'est implantée sur la boire. Pour ce qui est des berges, celles-ci sont colonisées en très grande majorité par une importante densité de Renouée.

#### Potentialité des mesures de restauration :

La restauration de cette annexe hydraulique semble peu pertinente et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cette boire est perchée ce qui rend les travaux de restauration complexe aussi bien pour les lourds travaux qui seront nécessaires, que pour le coût pour les mettre en œuvre. De plus, le rejet d'eaux usées, en plus d'apporter des polluants dans le milieu, crée un léger remous permanent qui engendre une perte de fonctionnalité de l'annexe (eau trouble qui ne permet pas à la végétation aquatique de se développer, perte de rôle de frayère...) (Vecchio, 2010).

- **Stade d'Abrest Amont (3)**

#### Description succincte :

Cette très grande boire était connectée à l'Allier le jour de la prospection (10 mai) par une double connexion (latérale et par l'aval). Le débit enregistré ce jour-là était d'environ  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Des bancs alluviaux et des embâcles menacent légèrement la connexion sur le petit bras latéral, si bien que le chenal de connexion est aminci. Néanmoins, à des débits plus importants, il est certain que l'eau n'a aucun mal à passer par-dessus, rendant la connexion relativement pérenne.

Le substrat de la boire se compose de galets et de graviers. Des plantes aquatiques ont également colonisées la colonne d'eau.

Le pont ferroviaire d'Abrest scinde la boire en deux. La connexion entre la partie aval et amont du pont est assez limitée. À l'amont du pont, le niveau d'eau est plus bas et une petite zone en eau est colonisée par la jussie. Celle-ci ne semble toutefois pas connectée à la partie aval du pont en raison d'un bouchon qui s'est formée et par les hélrophytes et les petits embâcles qui font office de barrage. Quelques pieds de jussies ont néanmoins été retrouvées à l'aval de la boire.

#### Potentialité des mesures de restauration :

Cette boire étant déjà connectée à de faibles débits et ne présentant pas de signe particulier de perturbation, celle-ci ne devrait pas faire l'objet de mesure de restauration.

- **Le recul de la Sablière Jalicot (4)**

#### Description succincte :

Cette boire était complètement connectée lors de la prospection le 10 mai (débit de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) grâce à un large chenal de connexion.

L'annexe hydraulique est fortement ombragée et envasée. Elle présente peu de végétation aquatique.

Les berges de cette boire sont abruptes et colonisées tout autour par de la renouée. Des embâcles, constituant des petits seuils à l'écoulement de l'eau, sont présents à plusieurs endroits de la boire.

Potentialité des mesures de restauration :

La connexion de cette boire avec l'Allier n'est absolument pas menacé. Par conséquent, elle ne devrait pas faire l'objet de travaux de restauration.

- **Aval boire de la Gerbe (5)**

Description succincte :

La boire était déjà connectée le 26 avril malgré une prospection à de faible débit (environ  $56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Celle-ci est scindée en deux boires qui ne peuvent fusionner qu'en période de hautes eaux.

L'annexe de l'aval de la boire de la Gerbe est bien ombragée. Elle n'est pas colonisée par la jussie et ne présente d'ailleurs que peu de végétation aquatique. Les berges de l'annexe ont des pentes relativement abruptes et sont colonisées principalement par des arbres avec une dominance d'érable negundo (*Acer negundo*). À noter, également, le recouvrement important de la renouée tout autour du site malgré son absence avérée lors de l'étude conduite en 2017 par la Fédération de l'Allier pour la Pêche et pour la Protection des Milieux Aquatiques et le CEN Allier.

Potentialité des mesures de restauration :

La boire étant déjà connectée à de faible débit, il n'y aura pas de travaux de restauration qui seront conduits sur cette boire.

- **Le Marquisat (6)**

Description succincte :

L'accès à cette boire ne peut se faire sans passer par un chemin privé. Ainsi, cette boire n'a pas pu être prospectée en raison du refus du propriétaire de passer sur son chemin.

- **Boire du château des Roches (8)**

Description succincte :

La Boire du château des Roches se situe sur la rive gauche de l'Allier au niveau de la commune d'Aubigny. Celle-ci a été prospectée le 06 mai ; le débit enregistré au moment de la visite était de  $59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sur la station de Moulins.

Cette annexe hydraulique correspond à un ancien bras secondaire de l'Allier qui, d'après les orthophotographies, était actif avant les années 80. Elle est bordée côté rivière d'une forêt alluviale à bois dur et de prairies pâturées (bovins) côté terre. Une haie sépare la boire des prairies mais l'accès à l'annexe par le bétail est permis par la présence de plusieurs passages. Malgré le fait qu'elle soit déconnectée lors de la prospection, la connexion de l'annexe à l'Allier peut se faire en amont et en

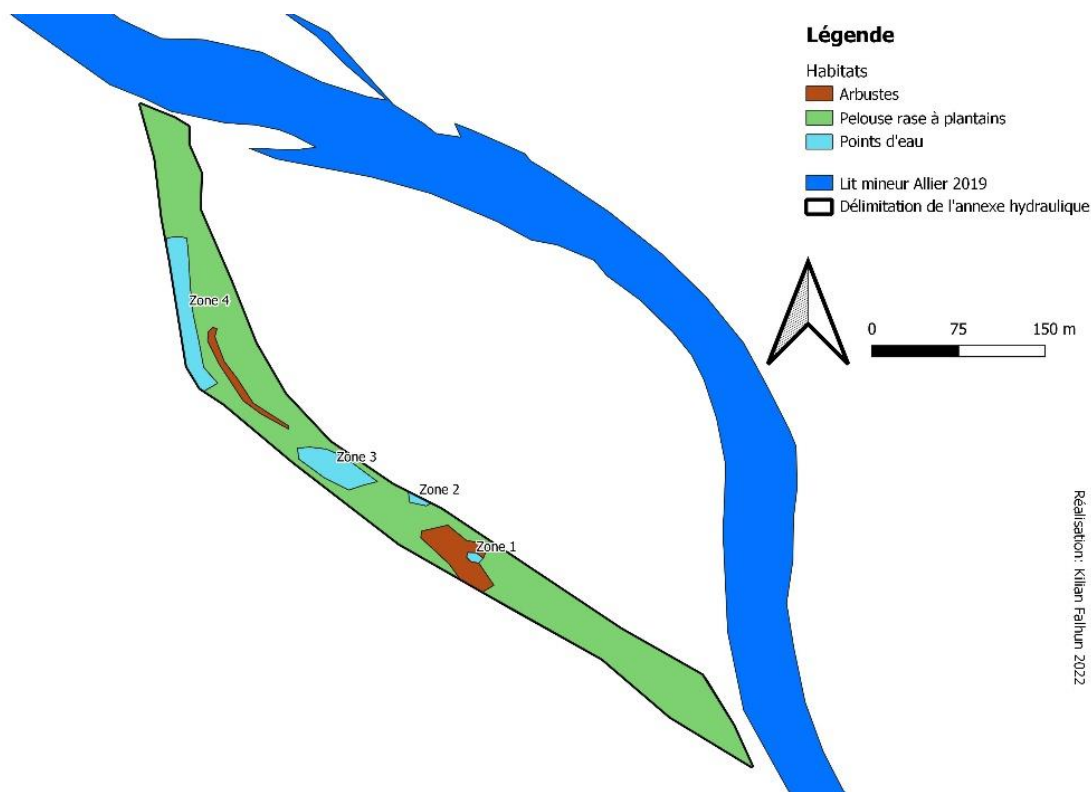
aval. Néanmoins, la présence d'un haut talus d'érosion ne permet une connexion par l'amont qu'à d'important débits.

La boire n'est en eau qu'autour de 4 zones d'une taille plus ou moins importante (Figure 2). D'amont en aval se trouvent : un petit point d'eau (zone 1), un petit fossé côté ripisylve (zone 2), une mare au centre de l'annexe (zone 3) et une autre d'une taille plus importante au niveau du « coude » de la boire (zone 4). Cette dernière se situe à 130 mètres d'une connexion à l'aval mais le chenal de connexion qui la lie à l'Allier ne semble plus exister.

L'accès régulier du bétail a maintenu l'annexe hydraulique ouverte, si bien qu'il n'y a que peu d'arbustes qui s'y sont développés. Dans l'ensemble, hormis les points d'eau, la boire du château des Roches se compose principalement de pelouses rases.

Concernant les deux principaux points d'eau (zone 3 et 4), ceux-ci sont bien exposés et leur substrat se compose d'un mélange de sédiments fins (terre) et de sables. La mare correspondant à la zone 3 est relativement plane et peu profonde (moins de 50 cm) tandis que celle de la zone 4 présente une diversité de berges : abruptes en rive gauche, douces et progressives en rive droite. Ces deux zones d'eau partagent en commun une eau limpide qui laisse entrevoir la végétation aquatique.

À ce sujet, les plans d'eau sont progressivement colonisés par la jussie. Son recouvrement n'est pas intégral mais reste assez important sur les zones 2, 3 et 4. Outre la jussie, la zone 4 est colonisée par les élodées. Néanmoins, des renoncules aquatiques subsistent tout de même sur les zones en eau. En revanche, l'annexe hydraulique présente un problème de surpâturage qui impacte fortement les berges et restreint le développement de la végétation en bordure des points d'eau. En conséquence, aucun hélophyte n'a été observé sur l'annexe hydraulique.



**Figure 2 :** Cartographie de la localisation des zones en eau de la boire du château des Roches.

**Potentialité des mesures de restauration :**

Cette boire pourrait potentiellement être restaurable pour retrouver une connexion plus fréquente avec l’Allier. Par conséquent, des profils topographiques, qui sont présentés dans la partie suivante, ont été réalisés afin de juger de la pertinence d’éventuels travaux de restauration.

- **Boire des Poissons (9)**

**Description succincte :**

Comme la boire du château des Roches, cette annexe se situe en rive gauche sur la commune d’Aubigny. Sa prospection a eu lieu le 27 avril. Ce jour-ci, le débit était de  $65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sur la station de Moulins.

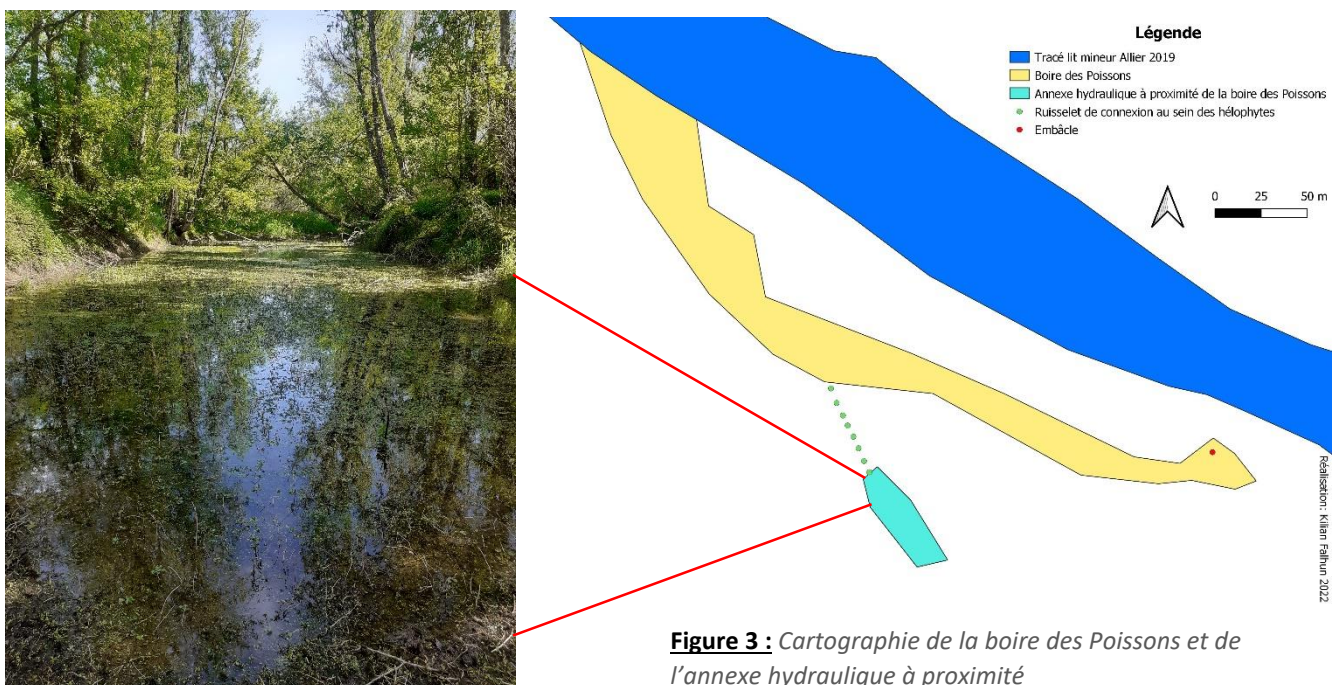
À l’image de l’annexe précédente, la boire des Poissons correspond à un ancien bras secondaire qui se déconnecte progressivement du chenal principal. Ce site est difficilement accessible puisqu’entouré de forêts alluviales. Toutefois, la présence de clairières facilite son accès.

L’annexe hydraulique était déconnectée lors de la prospection mais une connexion est possible à l’aval comme à l’amont avec toutefois la présence à cet endroit d’un grand embâcle qui limite la connexion. Celui-ci est à l’origine de la formation de plusieurs gouilles temporaires à l’amont de la boire.

La boire des Poissons n’étant pas en eau à des débits modérés, aucune végétation aquatique n’a pu y être observé lors de la prospection.

D'une manière générale, cet ancien bras secondaire est recouvert de sédiments à granulométrie fine (sables et graviers) et présente un faible recouvrement de la végétation mis à part quelques saules et herbacées appréciant les sols sableux qui s'y sont implantées.

D'un point de vue travaux de restauration, l'intérêt du site repose sur la présence d'une autre annexe hydraulique à proximité immédiate de la boire des Poissons et à 250 mètres de l'Allier (Figure 3). Un petit ruisseau que l'on devine par la présence d'hélophytes connecte les deux annexes hydrauliques à de plus haut débit. Hormis les petites gouilles disséminées sur l'annexe des Poissons, cette boire constitue la seule véritable zone en eau du site. Elle présente des berges variables ceinturées de saules et de peupliers qui engendrent un ombrage assez important. Le substrat de ce point d'eau est vaseux. Pour ce qui est des espèces exotiques envahissantes, la jussie a colonisé à la fois ce point d'eau mais aussi quasiment chacune des petites gouilles de l'annexe.



**Figure 3 :** Cartographie de la boire des Poissons et de l'annexe hydraulique à proximité

#### Potentialité des mesures de restauration :

Cette boire pourrait potentiellement être restaurable pour retrouver une connexion plus fréquente avec l'Allier. Par conséquent, des profils topographiques, qui sont présentés dans la partie suivante, ont été réalisés afin de juger de la pertinence d'éventuels travaux de restauration.

- **Le Port Barreau (10)**

L'annexe hydraulique du Port Barreau se situe sur la commune de Saint-Léopardin-d'Augy en rive gauche de l'Allier. Cette boire a été prospectée le même jour que la boire des Poissons et donc à un débit équivalent.

La boire du Port Barreau est entourée d'une dense forêt alluviale qui rend difficile son accès. La boire n'est en eau qu'à son centre où un isolat d'une surface importante s'est formée. Cette zone en eau se situe à une centaine de mètres de l'Allier et est connectée préférentiellement par l'aval. Bien qu'elle



**Figure 4 :** Pelouse humide à proximité de la confluence de l'annexe

soit déconnectée lors de la prospection, le chenal de connexion se laisse deviner par les ruptures de pentes et la présence de plantes hygrophiles. Néanmoins, ce chenal est fortement recouvert par une végétation dense et notamment de saules arbustifs. Par ailleurs, côté aval, la boire est entourée de saules qui tendent à réduire la potentielle connexion avec la rivière.

De façon globale, l'annexe hydraulique est plutôt ouverte et recouverte d'une végétation de type herbacée/arbustive sur fonds sableux. Une pelouse humide borde côté aval le chenal de connexion et la pente qui les sépare est relativement douce (Figure 4).

L'annexe hydraulique est toutefois perturbée par un fort recouvrement de la jussie au niveau de l'isolat d'eau.

#### Potentialité des mesures de restauration :

Cette boire pourrait potentiellement être restaurable pour retrouver une connexion plus fréquente avec l'Allier. Par conséquent, des profils topographiques, qui sont présentés dans la partie suivante, ont été réalisés afin de juger de la pertinence d'éventuels travaux de restauration.

- **Les Chaumes (11)**

#### Description succincte :

L'annexe des Chaumes se situe sur la commune de Livry en rive droite de l'Allier, non loin de sa confluence avec la Loire. Celle-ci a été prospectée le 13 juin à un débit de  $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (station de Moulins). Cette annexe est le vestige d'un ancien bras secondaire de l'Allier, actif avant les années 2000. Aujourd'hui, seules quelques petits points d'eau subsistent sur cette annexe. Ceux-ci sont davantage concentrés en partie aval ; le plus proche de l'Allier se situant à 130 mètres. Bien qu'un ruisseau de connexion recouvert d'hélophytes soit présent à l'aval, l'annexe hydraulique était totalement déconnectée.

L'amont de la boire donne sur une grande grève de sables et de galets nus. Des espèces d'intérêts communautaires ont pu y être observés telles que deux mâles d'*Ophiogomphus cecilia*, des cigognes blanches (*Ciconia ciconia*), des alouettes lulu (*Lullula arborea*) ou encore des aigrettes garzettes (*Egretta garzetta*).



En dehors de la partie amont et aval de la boire, les saules arbustifs se sont bien implantés sur le sol sableux de l'annexe où ils recouvrent un périmètre important. Une Bouscarle de Cetti (*Cettia cetti*) a été entendu dans cette zone.

Chaque zone humide présente au sein de l'annexe est colonisée par la jussie. Des Érables negundo (*Acer negundo*) sont également bien présent sur la forêt alluviale qui bordent l'annexe.

Potentialité des mesures de restauration :

Cette boire pourrait potentiellement être restaurable mais son intérêt est limité par la faible taille des zones en eau. Des profils topographiques présentés dans la partie suivante ont tout de même été réalisés sur cette annexe.

II. Profil topographique et seuil de connexion des annexes hydrauliques potentiellement restaurables

• Boire du château des Roches

Le profil topographique en long (Figure 5) de la boire du château des Roches met en évidence le talus d'érosion qui est présent à l'amont de l'annexe. Ce talus d'une hauteur de plus de 2 mètres 50 ne peut être franchi qu'à des débits supérieur à 220 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. À titre informatif, la prise de points topographiques cette année au niveau des limites du talus, en comparaison avec celles prises en 2016 par la DREAL Centre-Val de Loire, montre une érosion de berges très active de l'ordre de 7 à 8 mètres par an.

À l'aval, un bouchon alluvial relativement plat (80 cm environ de différence entre le point haut et le point bas sur 120 mètres) ne permet une connexion avec la grande zone en eau la plus proche (la zone 4) qu'à un débit supérieur à environ 191 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. La zone 3 et la zone 4 de la boire confluent lorsque le débit est proche de 200 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

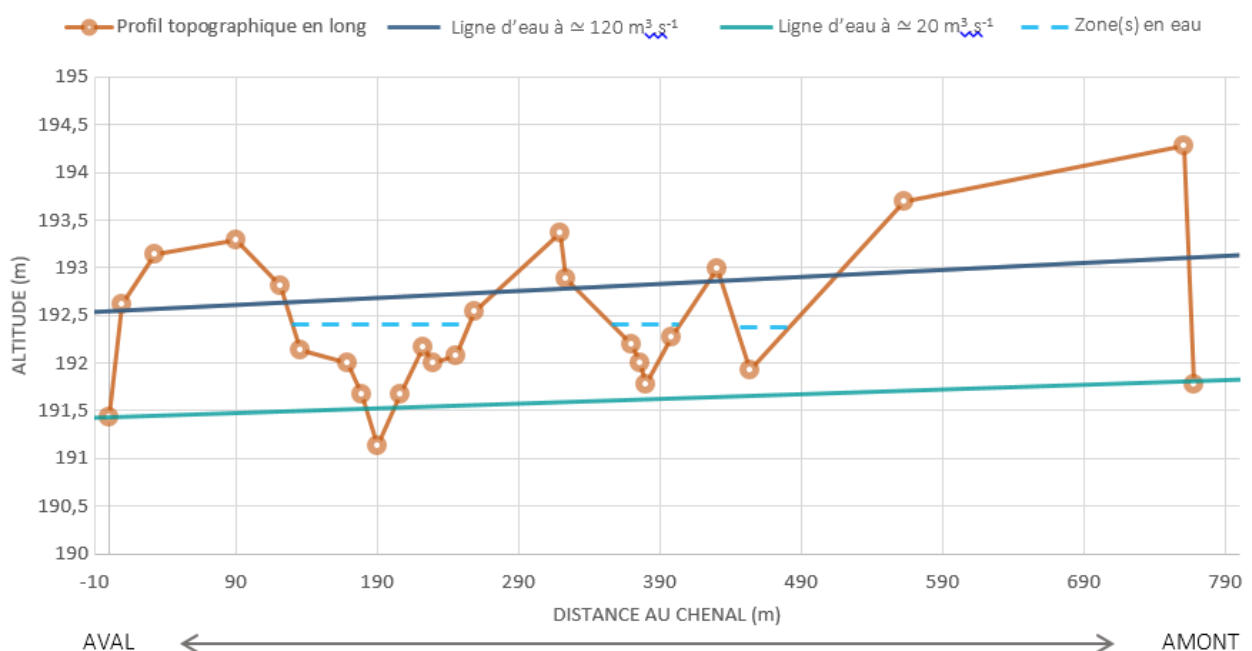


Figure 5 : Profil topographique en long de la boire du château des Roches

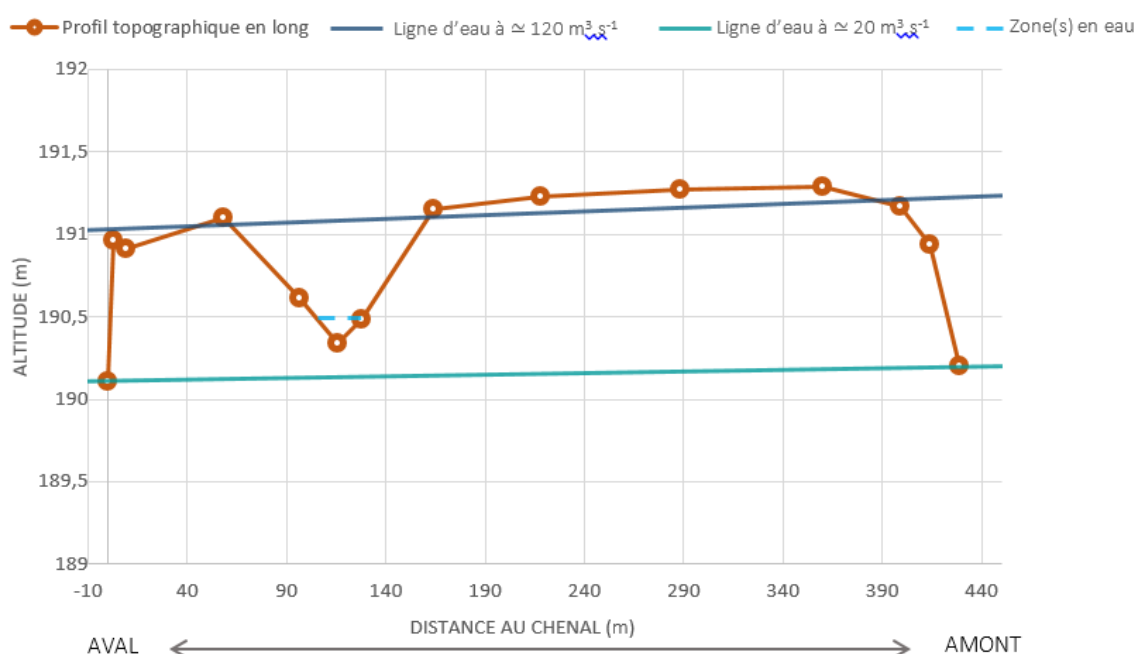


- **Boire des Poissons**

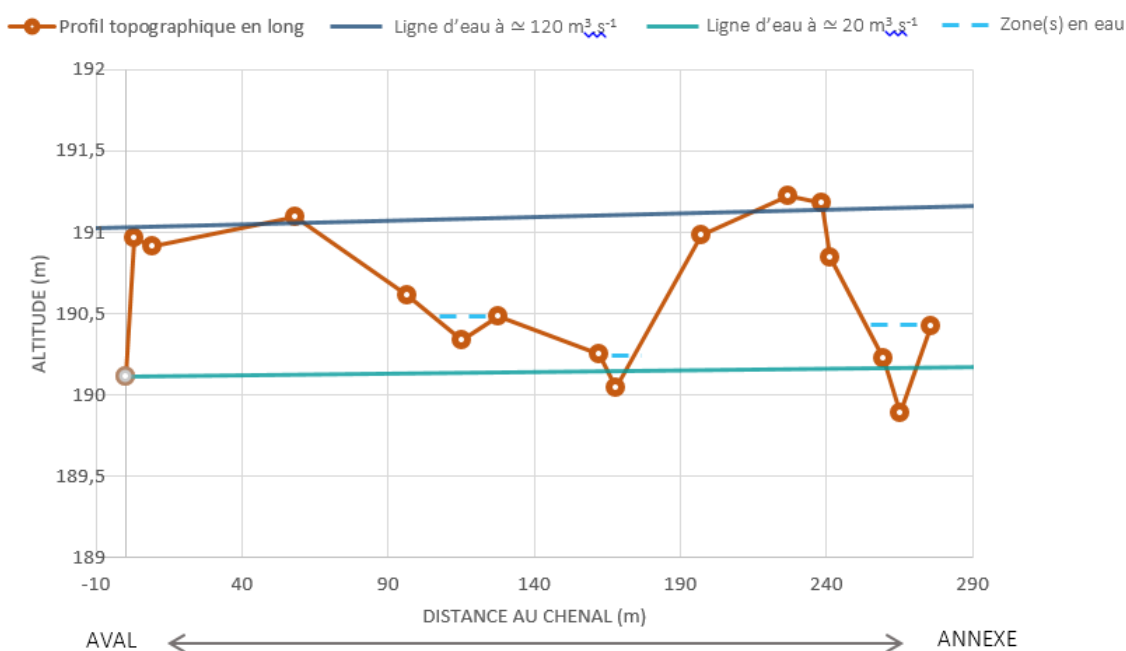
Comme le montre le profil topographique « a », la boire des Poissons est très plane avec une différence de moins d'un mètre entre le point le plus haut et le plus bas (Figure 6). Il est possible de constater sur ce profil qu'à l'aval la pente ne permet pas de retenir l'eau si bien qu'elle s'évacue à mesure que le débit baisse. La boire des Poissons constitue un bras secondaire actif lorsque le débit est supérieur à  $130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , soit l'équivalent du module de l'Allier à Moulins.

Sur le profil b, les zones de creux correspondent aux zones en eau. L'autre annexe faisant face à la boire des Poissons, qui ressort à la fin du profil topographique, est connectée à l'Allier à un débit avoisinant les  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

a)



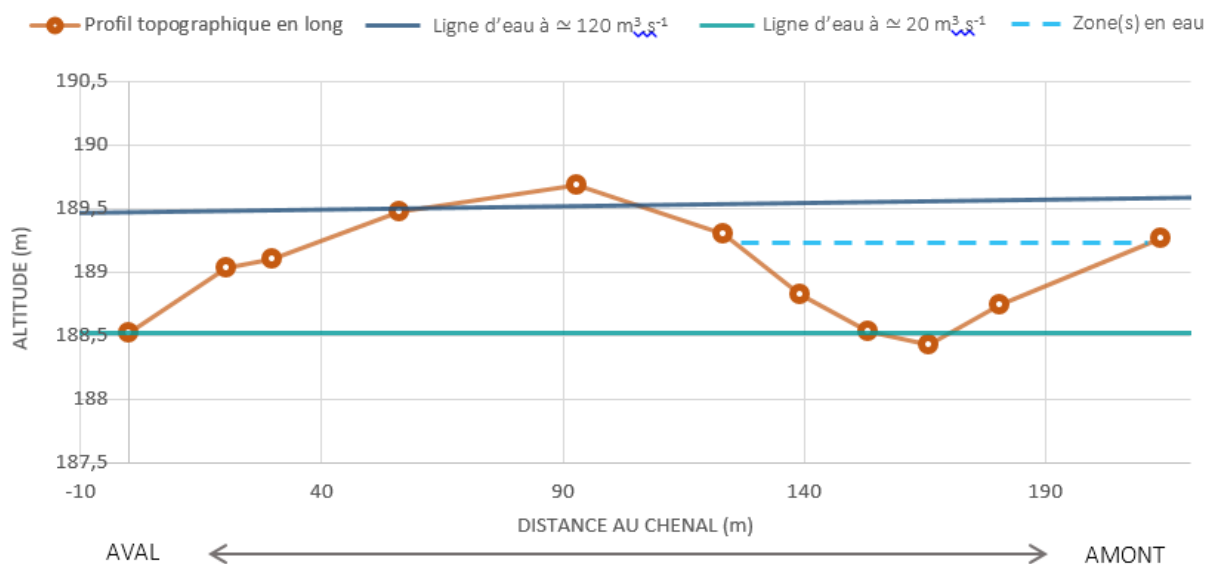
b)



**Figure 6 :** Profils topographiques en long de la boire des Poissons ; a) d'aval en amont ; b) d'aval jusqu'à l'annexe hydraulique à proximité 14

- **Le Port Barreau**

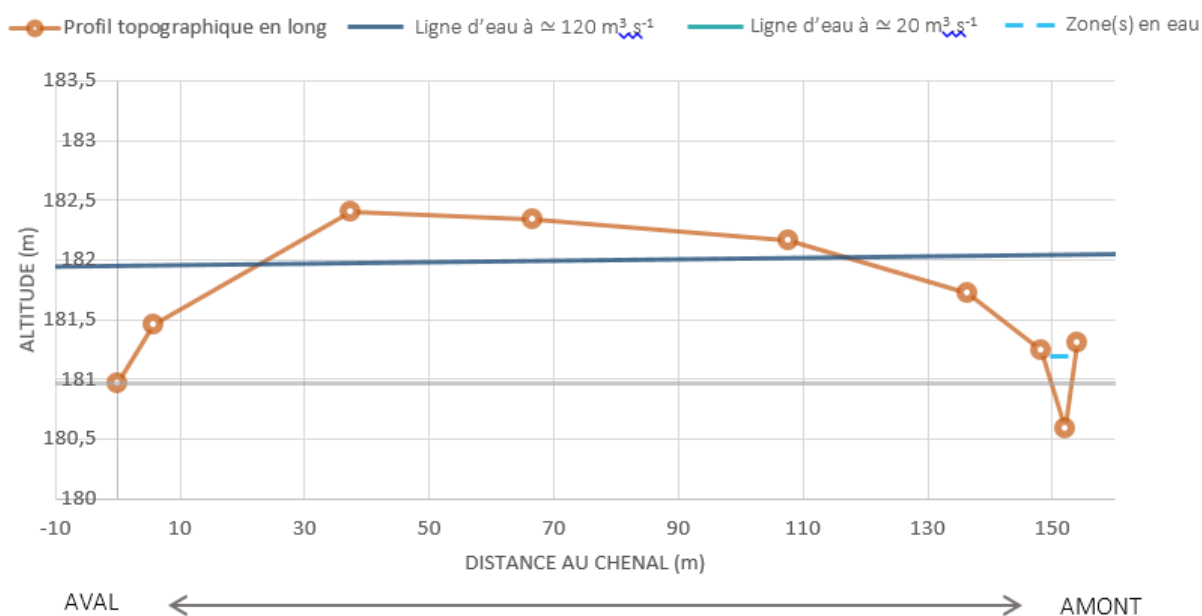
À l'image de la boire du château des Roches, le bouchon alluvial qui sépare l'annexe du Port Barreau à l'Allier est relativement plat (différence de 60-70 cm entre le point le plus haut et le plus bas sur plus d'une centaine de mètres) (Figure 7). Cette annexe est connectée à un débit supérieur à  $148 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .



**Figure 7 :** Profil topographique en long de la boire du Port Barreau

- **Les Chaumes**

Le profil topographique de l'annexe des Chaumes a été réalisé seulement sur la partie aval. Au vu du profil, l'annexe est relativement plane sur toute la partie aval (Figure 8). Le petit point d'eau le plus proche de l'annexe est connectable uniquement à des débits supérieurs à  $170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .



**Figure 8 :** Profil topographique en long de la boire des Chaumes

## Discussion

Suite aux prospections qui ont été faites sur 11 annexes hydrauliques, des profils topographiques ont été réalisés sur 4 d'entre elles, ceci dans le but de prévoir de futurs travaux de reconnexion. Néanmoins, la restauration de 2 de ces annexes s'avère somme toute inappropriée.

Parmi elles, la boire des Poissons forme un bras secondaire actif à un débit équivalent au module. En ce sens, elle est susceptible de participer à la recharge sédimentaire du cours d'eau en période de hautes eaux (Rodrigues et al., 2005). D'autant plus que l'armure (couche sédimentaire de surface déposée par la rivière) de la boire des Poissons est relativement fine et non cohésive ce qui, de ce fait, rend les sédiments facilement mobilisables par la rivière en cas de crue (Malavoi & Bravard, 2010). Par ailleurs, l'intérêt de ce site, d'un point de vue de travaux de restauration, est de reconnecter la grande zone en eau en recréant le chenal de connexion à l'aval de la boire. Toutefois, l'annexe étant ponctuellement connectée par l'amont, le chenal de connexion se comblerait en raison des sédiments provenant de l'amont qui s'y déposeront.

La mesure de restauration notable qui pourrait éventuellement être à prévoir, est de casser l'embâcle présent à l'amont. Celui-ci bloque la dynamique du chenal et l'empêche de s'exprimer convenablement. Retirer tout ou partie de l'embâcle permettrait la pleine activité du bras et ainsi le renouvellement de plusieurs micro-habitats à l'image d'une rivière qui, grâce à sa dynamique, transforme perpétuellement les milieux alluvionnaires (Malavoi & Souchon, 1996).

La restauration de la boire des Chaumes semble inopportune dans la mesure où elle consisterait davantage à de la création d'un bras mort plutôt qu'à sa reconnexion. En outre, le point d'eau le plus proche est très petit (environ 75 m<sup>2</sup>) et ceux de plus grande surface relativement loin (plus de 250 mètres). Les milieux présents au sein de cette annexe semblent également sensibles. La saulaie arbustive et les roseaux qui ont colonisé l'annexe peuvent constituer une zone de nidification intéressante pour la Bouscarle de Cetti (Araújo et al., 2016), une espèce rare dans la région Auvergne (LPO Auvergne, 2010) mais qui a toutefois été entendue sur le site. À l'amont, l'observation sur la grande grève du gomphe serpenté (*Ophiogomphus cecilia*) et de nombreux et divers oiseaux témoigne de l'intérêt du milieu.

Pour toutes ces raisons, la proposition de mesures de restauration ne portera que sur la boire du château des Roches et du Port Barreau.

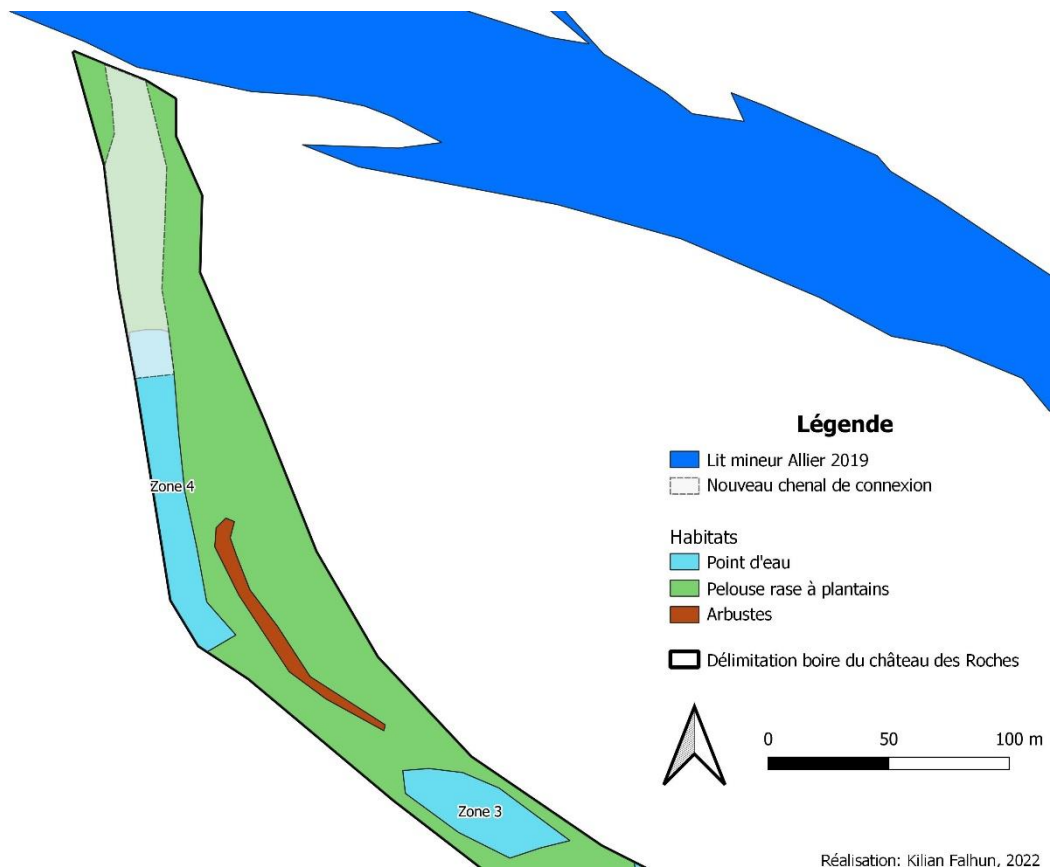
### • Boire du château des Roches

Pour des raisons de pérennité des travaux, la reconnexion de la boire du château des Roches devra être faite par l'aval. Au-delà de ce fait, le talus d'érosion présent à l'amont peut constituer un habitat de choix pour la nidification de certaines espèces d'oiseaux comme le Guêpier d'Europe (*Merops apiaster*) ou l'Hirondelle de rivage (*Riparia riparia*) que l'on retrouve en nombre sur le val d'Allier (Cournez, 2015).

Comme évoqué dans la partie résultat, un bouchon alluvial s'est formé côté aval si bien qu'actuellement l'annexe ne peut être connectée qu'à un débit supérieur à  $191 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pour maintenir une connexion plus régulière avec le cours d'eau, un terrassement devra être réalisé afin que la boire puisse être connectée 6 mois dans l'année ; soit un seuil de connexion à  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pour ce faire, grâce à la réalisation de plusieurs profils topographiques en large, un chenal de connexion théorique a pu être redessiné en prenant les lignes de crêtes. Le nouveau chenal de connexion s'étendra ainsi sur une longueur de 120 mètres et sa largeur à sa confluence sera de 18 mètres (Figure 9). La surface concernée par le terrassement est d'environ 2 500 mètres carrés.



**Figure 9 :** Chenal de connexion théorique à recréer en cas de travaux de restauration sur la boire du château des Roches

Pour que la boire soit connectée par l'aval à un débit de  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , il sera nécessaire de déblayer 1,2 à 1,3 mètres de terres, soit un volume de déblais d'environ  $3125 \text{ m}^3$ . En concertation avec la DDT pour ne pas dépasser réglementairement un taux de matière en suspension trop important, les produits de

terrassément pourront être acheminés à la rivière, ce qui permettra à la fois de participer à la recharge sédimentaire du cours d'eau mais aussi de diminuer le coût de l'opération. À noter qu'au niveau du bouchon alluvial, là où les travaux auront lieu, la végétation qui s'est développée, à savoir du plantain et quelques graminées, et la faune qui y est associée, ne présentent pas d'enjeu particulier.

Afin que l'eau ne s'évacue pas lors de la baisse des débits, la pente du chenal de connexion devra être légèrement régressive. Une attention particulière devra également être faite au moment des travaux quant au maintien d'une diversité de pente de berges : plutôt abrupte en rive gauche avec des ligneux, et douce en rive droite afin de stimuler le développement des héliophytes (Vecchio, 2010).

À ce titre, le surpâturage de l'annexe par le bétail perturbe fortement le sol et la végétation (Podwojewski et al. 2006 ; Vecchio, 2010) en empêchant le développement de certaines plantes comme les héliophytes et provoquant même à certains endroits la formation de zones dépourvues de végétation (Figure 10). Pour ces raisons, à l'issue des travaux, l'accès à l'annexe par le bétail ne devra être limité qu'au-delà de la zone 2 en partie amont, ce qui implique une mise en exclos de la boire côté aval.

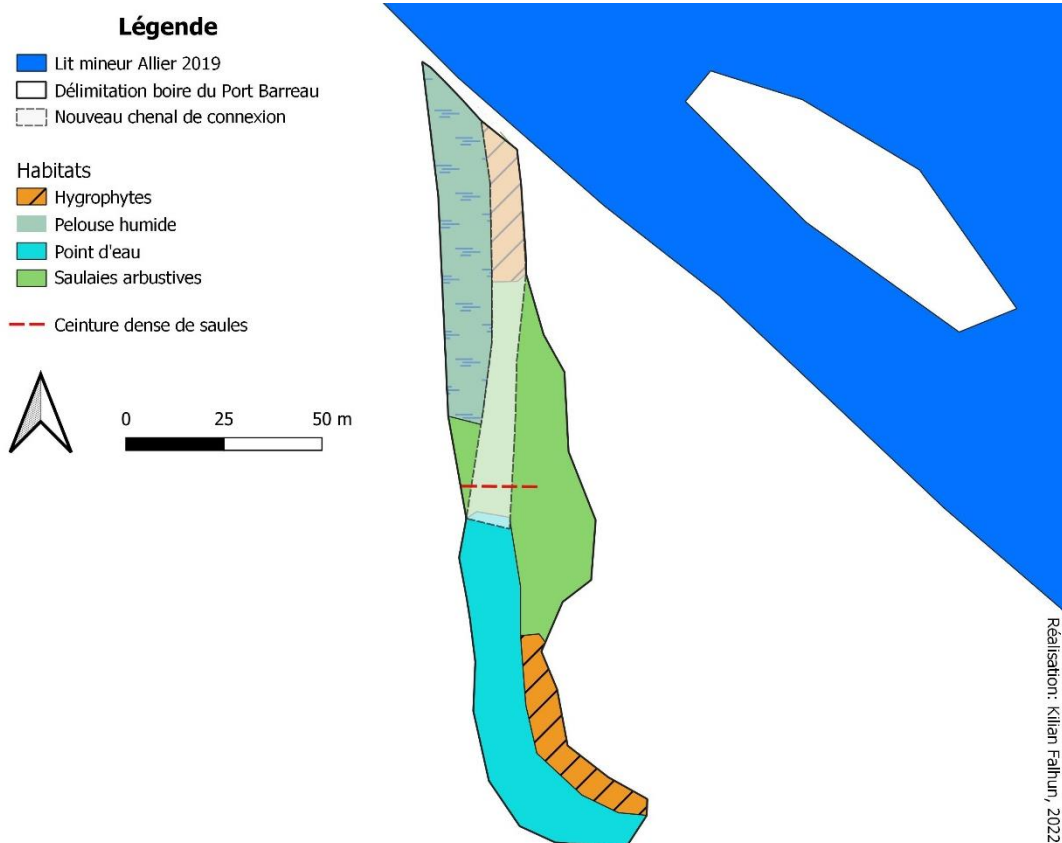


**Figure 10 :** Mise en évidence du surpâturage de la boire du château des Roches au niveau de la zone 4

En ce qui concerne le point d'eau correspondant à la zone 3, celui-ci ne devra pas être nécessairement restauré afin de le fusionner à la zone 4. Au contraire, en étant connecté et fusionné qu'à un débit proche de  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , celui-ci constitue une dépression naturelle déconnectée à la rivière (hormis à d'importants débits) qui est favorable à de nombreuses espèces (Vecchio, 2010). À ce sujet, des hérons, des chevaliers et de nombreux juvéniles de grenouilles vertes ont d'ailleurs été observés au moment des passages sur cette zone.

#### • Le Port Barreau

La boire du Port Barreau est connectée à l'Allier pour un débit supérieur à  $145 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Actuellement, la connexion est limitée par un bouchon alluvial qui s'est formée et par la végétation qui, par sa densité, constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau. Les travaux consisteront donc à reconnecter l'annexe en créant le chenal de connexion et à éclaircir la végétation sur ce chenal qui fait obstacle à l'écoulement de l'eau. À cette fin, un chenal de connexion théorique a été dessiné à partir de profils topographiques en large et des traces de l'ancien chenal (Figure 11).



**Figure 11 :** Cartographie du chenal de connexion théorique à recréer et des principaux habitats du Port

À la confluence, la largeur de la connexion sera d'environ 12 mètres. Pour recréer le chenal de connexion, un terrassement devra être réalisé sur une longueur de 100 mètres et une surface d'environ 850 m<sup>2</sup>. Afin d'établir une connexion à un seuil de 80 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, 50 à 70 centimètres de terres devra être déblayé, soit un volume d'environ 510 m<sup>3</sup>. Les produits du déblai pourront être rejeté dans l'Allier en concertation avec la DDT.

Les saules et les amphiphytes présents au sein du chenal de connexion accélèrent la déconnexion de l'annexe en réduisant la vitesse du courant et provoquant ainsi le dépôt de sédiments et la formation



**Figure 7 :** Ceinture de saule qui restreint la connexion entre la boire et l'Allier

d'un bouchon alluvial (Amoros & Bornette, 2002). Pour que la reconnexion soit pérenne, il est donc nécessaire de retirer les saules qui forment une ceinture à l'aval de la boire (Figure 7) et ceux présents dans le chenal de connexion.

À l'image des travaux sur la boire du château des Roches, la pente du chenal de connexion devra être légèrement régressive pour empêcher l'évacuation de



l'eau à mesure que le débit baisse. Il sera tout aussi important de maintenir une pente douce entre le chenal de connexion et la pelouse humide présente en rive droite afin de permettre une inondation ponctuelle et progressive à mesure que le débit augmente. Tout ceci dans le but de fertiliser le sol (M'Nassri et *al.*, 2017) et d'offrir des conditions idéales de reproduction pour certaines espèces comme le brochet (Chancerel, 2003).

#### • Cas des espèces exotiques envahissantes

La boire du château des Roches et du Port Barreau sont toutes les deux colonisées par des EEE ; la plus problématique étant la jussie. Cette plante pose de nombreux problèmes en rendant le milieu anoxique, en favorisant l'atterrissement du plan d'eau et par la compétition qu'elle engendre avec les espèces indigènes (Dandelot et *al.*, 2005).

Dans le cas des travaux de restauration de ces deux annexes, il existe deux possibilités concernant le traitement de la jussie :

- réaliser un curage intégral avant les travaux de reconnexion avec toutes les perturbations à l'écosystème et le coût que cela implique (Vecchio, 2010). Néanmoins, au-delà du fait que ce type d'opération ne conduit pas toujours à l'effet escompté (Menozzi & Dutartre, 2007), il existe un risque accru de recolonisation par la jussie elle-même ou par d'autres EEE sur ce milieu nouvellement perturbé (McIntyre & Lavorel, 1994). Ce risque est d'autant plus important que le cours d'eau peut déposer sur l'annexe des rhizomes et/ou des graines d'espèces invasives comme la jussie en période de hautes eaux (Ruau et *al.*, 2009).
- limiter les perturbations du milieu et compter sur l'auto-curage de l'annexe par la rivière grâce aux travaux de reconnexion (Rodrigues et *al.*, 2005) avec le risque que la jussie puisse se développer davantage, y compris dans le chenal de connexion.

#### • Limite des calculs du seuil de connexion

Il est à prendre en considération que la méthode permettant de calculer les seuils de connexion comporte inévitablement quelques biais. D'une part les valeurs de débits ont été pris à partir de celles enregistrées sur la station Moulins qui se situe à plusieurs kilomètres des boires. Par conséquent, le débit enregistré sur la station n'est pas très exactement le même que celui retrouvé au niveau de ces annexes. Toutefois, il n'y a qu'une différence de  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en ce qui concerne le débit entre la station de Moulins et la station de Cuffy, où les 4 annexes hydrauliques se situent. Le biais est donc minime pour ce qui est de la différence de débit entre la station prise en compte et les annexes.

Toutefois, les points de niveau d'eau pris sur la base de données du SIEL, pour permettre le calcul du seuil de connexion par interpolation, datent de mars 2006. Il est donc probable que le lit mineur se soit incisé depuis, ce qui fait que pour un même débit, l'altitude de la ligne d'eau ne soit pas la même entre 2006 et 2022. Ainsi, les calculs du seuil de connexion permettent de donner un ordre d'idée à

laquelle la connexion se fait avec les annexes mais ne sont pas d'une précision au  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  près. Plusieurs passages lors d'une décrue a tout de même permis de vérifier que ces seuils de connexion correspondent bien à la réalité du terrain.



## Bibliographie

- Abernethy V.J. & Willby N., (1999).** *Changes along a disturbance gradient in the density and composition of seed banks in floodplain aquatic habitats.* Plant Ecology. Vol. 140 : 177-190.
- Amoros C. & Bornette G., (1999).** *Antagonistic and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riverine wetlands.* Archiv für Hydrobiologie. Vol. 115 : 311-327.
- Amoros C. & Bornette G., (2002).** *Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains.* Freshwater Biology. Vol. 47 : 761-776.
- Araújo P.M., P.B. Lopes, da Silva L.P. & Ramos J.A., (2016).** *The importance of reedbeds and riparian areas for Cetti's Warbler *Cettia cetti* throughout its annual cycle.* Wetlands. Vol. 36 : 875-887.
- Chancerel F., (2003).** *Le brochet : Biologie et gestion.* Conseil Supérieur de la Pêche/Protection des milieux aquatiques. 199 p.
- Cournez E., (2015).** *Sur les traces de l'Allier – Histoire d'une rivière sauvage.* Conservatoire d'espaces naturels de l'Allier. Tomacom. 256 p.
- Dandelot S., Verlaque R., Dutartre A. & Cazaubon A., (2005).** *Ecological, dynamic and taxonomic problems due to *Ludwigia* (Onagraceae) in France.* Hydrobiologia. Vol. 551 : 131-136.
- Erwin K.L., (2009).** *Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world.* Wetlands Ecology and Management. Vol. 17 : 71-84.
- Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de l'Allier et Cen Allier., (2016),** Inventaire et caractérisation des annexes hydrauliques de la rivière Allier dans le département de l'Allier. 19p.
- Laucoin V. & Rambourdin M., (2016).** *Documents d'objectifs des sites Natura 2000 Vallée de l'Allier Sud « FR 830 1016 », Vallée de l'Allier Nord « FR 830 1015 » et Val d'Allier Bourbonnais « FR 8310079 ».* Conservatoire d'Espaces Naturels de l'Allier. 152 p.
- Malavoi J.R. & Bravard J.P., (2010).** *Éléments d'hydromorphologie fluviale.* Onema. 224 p.
- Malavoi J.R. & Souchon Y., (1996).** *Dynamique fluviale et dynamique écologique.* La Houille Blanche. Vol. 6 : 98-107.
- McIntyre S. & Lavorel S., (1994).** *How environmental and disturbance factors influence species composition in temperate Australian grasslands.* Journal of Vegetation Science. Vol. 5 : 373-384.
- Menozi M.J. & Dutartre A., (2007).** *Gestion des plantes envahissantes : limites techniques et innovations socio-techniques appliquées au cas des jussies.* Ingénieries. Vol. 49 : 49-63.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, (2012).** *Explore 2070 : Hydrologie de surface - Rapport de synthèse.* 148 p.
- M'Nassri S., Farhat L., Hamdi M. & Majdoub R., (2017).** *Étude de l'efficacité de l'épandage des eaux de crue sur la fertilité du sol et la recharge de la nappe (Sidi Bouzid, Tunisie).*
- Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Ożgo M. & Astel A., (2016).** *Connectivity restoration of floodplain lakes: an assessment based on macroinvertebrates communities.* Hydrobiologia. Vol. 774 : 23-37.
- Podwojewski P., Poulenard J., Zambrana T. & Hofstede R., (2006).** *Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador).* Soil Use and Management. Vol. 18 : 45-55.
- LPO Auvergne, (2010).** *Atlas des oiseaux nicheurs d'Auvergne.* Delachaux & Niestlé. 575 p.
- Rodrigues S., Bréhéret J-G., Moatar F. & Macaire J-J., (2005).** *Flood impact on sedimentary budgets in secondary channels of the middle reaches of the Loire River (France).* Comptes Rendus Geoscience. Vol. 337 : 487-495.
- Ruaux B., Greulich S., Haury J. & Berton J.P., (2009).** *Sexual reproduction of two alien invasive *Ludwigia* (Onagraceae) on the middle Loire River, France.* Aquatic Botany. Vol. 90 : 143-148.
- Vecchio Y., (2010).** *Retour d'expériences de restauration d'annexes hydrauliques dans le bassin Rhin-Meuse.* Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA). 40 p.

