



HAL
open science

Modalités d'utilisation des habitats aquatiques et estimation de la densité des silures glanes en milieu naturel WP3-1

Catherine Boisneau, Anthony Acou, Associations Agréées Des Pêcheurs Professionnels, Alexandre Carpentier, Julien Dublon, Éric Feunteun, Philippe Juge, Romain Roy, Frédéric Santoul, Structures Associatives Agréées de la Pêche Loisir, et al.

► To cite this version:

Catherine Boisneau, Anthony Acou, Associations Agréées Des Pêcheurs Professionnels, Alexandre Carpentier, Julien Dublon, et al.. Modalités d'utilisation des habitats aquatiques et estimation de la densité des silures glanes en milieu naturel WP3-1. CITERES (CItés, TERritoires, Environnement et Sociétés). 2023, pp.23. hal-04387085

HAL Id: hal-04387085

<https://hal.science/hal-04387085>

Submitted on 11 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modalités d'utilisation des habitats aquatiques et estimation de la densité des silures glanes en milieu naturel WP3-1

ETUDE GLANISPOMI - 2021

Auteurs : Catherine BOISNEAU^{1*}, Anthony ACOU², Associations agréées des pêcheurs professionnels³, Alexandre CARPENTIER⁴, Julien DUBLON⁵, Éric FEUNTEUN⁶, Philippe JUGE¹, Romain ROY⁷, Frédéric SANTOUL⁸, Structures associatives agréées de la pêche loisir⁹, Nils TEICHERT⁶, Thomas TRANCART⁶

Affiliations :

* Auteur correspondant

¹ Université de Tours

² Office Français de la Biodiversité

³ Association Agréée des Pêcheurs Professionnels en Eau Douce de Loire Atlantique, Association Agréée des Pêcheurs Professionnels en Eau Douce du Bassin Loire Bretagne

⁴ Université de Rennes 1

⁵ Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

⁶ Muséum National d'Histoire Naturelle

⁷ EDF R&D

⁸ Université de Toulouse

⁹ Fédération Nationale de la Pêche en France, Union de Bassin Loire Bretagne, Fédérations Départementales pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique 37 – 41 – 86

2023

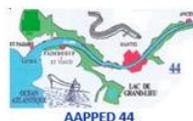
Groupe d'étude du projet « GLANISPOMI 2021 »

Cette étude est financée par :



L'Europe Sur le bassin de la Loire, une chance pour tous.

Et réalisée par le groupe d'étude :



Ce chapitre du rapport GlanisPoMi doit être cité comme tel :

Boisneau, C., Acou, A., Associations agréées des pêcheurs professionnels, Carpentier, A., Dublon, J., Feunteun, É., Jugé, P., Roy, R., Santoul, F., Structures associatives agréées de la pêche loisir, Trancart, T., Teichert, N., 2023. Modalités d'utilisation des habitats aquatiques et estimation de la densité des silures glanes en milieu naturel, in: Trancart, T., Robin, E., Feunteun, É. (Eds.), GlanisPoMi : Etude globale de la prédation des migrateurs amphihalins par les silures (*Silurus glanis*) sur le bassin de la Loire. MNHN - Rapport d'étude du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Table des matières

1.	Contexte.....	4
2.	Méthodes.....	4
2.1.	Sites d'études	4
2.2.	Méthodologies de terrain retenues	6
2.3.	Estimation des densités de silure	8
3.	Résultats.....	9
3.1.	Hydrologie et conditions de prospection	9
3.2.	Analyse de la qualité des images et dénombrement des silures	10
3.3.	Production d'orthophotos	12
3.4.	Comptages subaquatiques	15
3.5.	Sur et sous-estimation.....	15
3.	Caractérisation des silures et de leurs habitats.....	16
4.	Discussion - Conclusion.....	19
5.	Références bibliographiques	20
6.	Annexes.....	23

1. Contexte

Le silure (*Silurus glanis*), espèce piscicole introduite depuis les années 1970-1980 en France est désormais bien établi dans les eaux douces intérieures de l'ouest de l'Europe (Copp et al., 2009). Étant donné sa grande taille, jusqu'à 2,7 m, ce nouveau prédateur dépasse largement le plus grand prédateur local, le brochet (*E. Lucius*) qui peut atteindre le mètre. Ainsi, les espèces migratrices amphihalines, dont la taille adulte les met à l'abri de la prédation par le brochet, rencontrent de nouvelles pressions. Opportunistes, les silures développent des nouveaux comportements et sont capables d'exercer une prédation ciblée sur les migrateurs amphihalins tant au niveau des obstacles qu'en parcours libre (Syvaranta et al, 2009 ; Libois et al., 2016 ; Boisneau, 2018 ; Boulêtreau et al., 2018, 2020, 2021).

Avant d'engager une démarche de quantification de l'impact de la pression de prédation par le silure sur d'autres espèces, les densités de silure en milieu naturel constituent un des éléments à collecter et quantifier. Aussi, l'action 1 du WP3 a-t-elle pour **objectif d'évaluer les modalités d'utilisation des habitats aquatiques et la densité de silures, à 3 périodes différentes, dans 4 types d'habitats fonctionnels, sur la Creuse en amont du Bec des Deux Eaux** :

- Un site de frayère de lamproie,
- Un tronçon libre en amont de la frayère à lamproies,
- Un site d'hivernage connu,
- Un site en aval d'un obstacle à la continuité (barrage de Descartes).

Les trois périodes correspondent à la phase de reproduction des lamproies, mi-mai à fin mai, qui est aussi la phase pré reproductrice du silure, la phase estivale de basses eaux (août) qui est une période d'activité des silures mais dans un volume d'eau restreint et la phase hivernale, période de repos liée aux faibles températures de l'eau.

Il est attendu que la répartition des silures varie dans le temps en fonction de la disponibilité en proies et des comportements saisonniers. Ils sont supposés être plus nombreux sur les sites à frayères à lamproie marine et avec obstacle au printemps et se réfugier, en hiver, dans le site hivernage.

Au vu des superficies à couvrir, des prises de vues aériennes par drone sont envisagées et il est prévu de tester la faisabilité de la production d'orthophotos afin de réduire le temps d'analyse des images.

Tous les résultats de ce suivi ont été présentés et discutés à l'ensemble des membres du consortium de l'étude GLANISPOMI. Les conclusions de ce rapport ont été validées par l'ensemble du consortium.

2. Méthodes

2.1. Sites d'études

La portion de cours d'eau identifiée est celle comprise entre la confluence Vienne-Creuse et le barrage de Descartes, site privilégié pour l'étude Glanispomi. Les critères retenus pour le choix des sites sont :

- La présence d'un obstacle à la migration des lamproies : site de Descartes,
- La présence de frayères de lamproies marines,

- La succession d'au moins une séquence radier – mouille ou de 500m de cours d'eau contenant si possible une fosse de profondeur > 2m en étiage, celle-ci étant supposée servir d'habitat de refuge hivernal,
- La succession d'au moins une séquence radier – mouille ou de 500m de cours d'eau, en amont du site de frayère des lamproies, constituant un tronçon libre d'accès et utilisable par les silures quelle que soit la saison

Le choix des sites d'études (Figure 1 et annexe 1) a été finalisé lors d'un comité technique spécifique réunissant le MNHN, l'université de Tours, LOGRAMI et les fédérations départementales de pêche 86 et 37, sur la base d'une bathymétrie longitudinale simplifiée (enregistrée lors de la dépose des hydrophones), des observations de présence de frayères à lamproies les deux semaines précédentes et de la présence avérée des silures sur les sites (réunion du 2/03/2021).

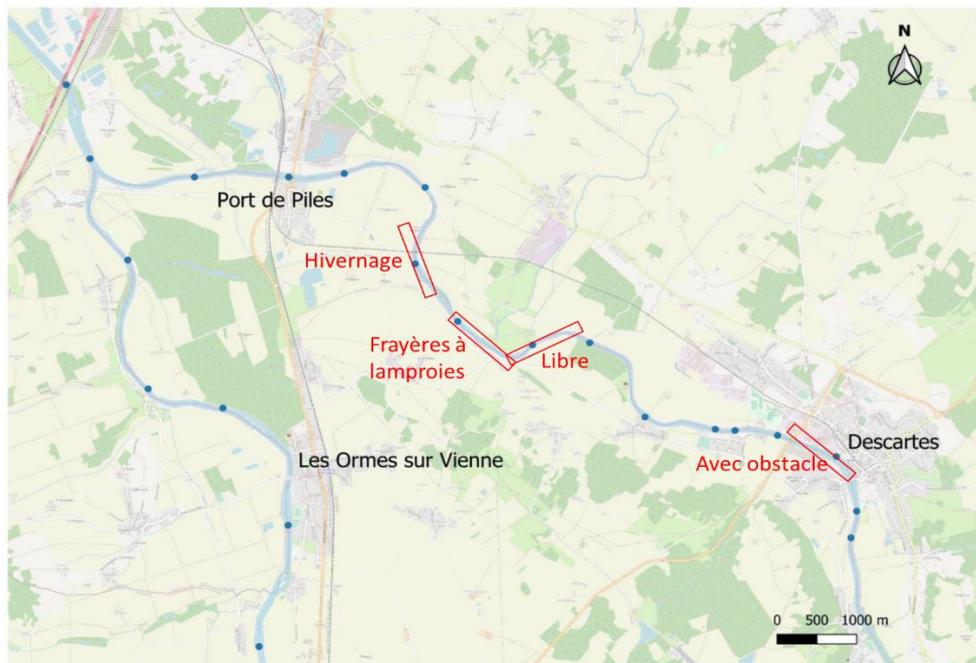


Figure 1 : Localisation des tronçons frayères, hivernage, libre et avec obstacle sur la Creuse pour l'étude des densités de silure. Source du fond de carte : Géoportail

La largeur de la Creuse, sur les 4 tronçons varie de 52.6m à 117m, cette valeur étant un extrême lié au barrage de Descartes. Les largeurs ont été mesurés avec l'outil « mesurer une distance » sur Géoportail à raison de 13 transects équidistants. Le tronçon libre avec une largeur moyenne de 64.1m diffère des autres par une largeur inférieure (Test de Kruskal-Wallis, $K=8.437$, $p=0.038$, post test de Dunn).

Tableau 1 : Mesures des largeurs de la creuse sur les 4 tronçons

Tronçon	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Barrage	13	62,1	117,3	77,1	15,8
Frayères LPM	13	56,9	87,0	71,2	7,7
Hivernage	13	53,4	99,5	72,5	12,3
Libre	13	54,3	73,0	64,1	6,4

2.2. Méthodologies de terrain retenues

Des observations antérieures ont montré que les silures sont distribués de manière agrégative dans les cours d'eau mais privilégient certains habitats tels que les fosses, les encombres ... (Carol et al., 2007 ; Bouletreau et al., 2011 ; Breve et al., 2014 ; Boisneau, 2018). L'objectif étant d'estimer les densités de silure sur des espaces à fonctionnalité différentes et de manière saisonnière, l'approche retenue a été celle d'un couplage entre deux approches, prises de vues aériennes et comptages subaquatiques (Boisneau, 2018 ;

Figure 2), de jour, avec une transparence de l'eau minimale de 1m.

Les prises de vue aériennes sont réalisées lors de survols par drone, par échantillonnage systématique d'un tronçon de rivière, selon des transects à altitude constante. En complément, des comptages subaquatiques sont mis en œuvre afin de réaliser des observations sur les secteurs inaccessibles au drone tels que les berges, les encombres et les fosses. Les silures de taille > 0,8 m sont ciblés.

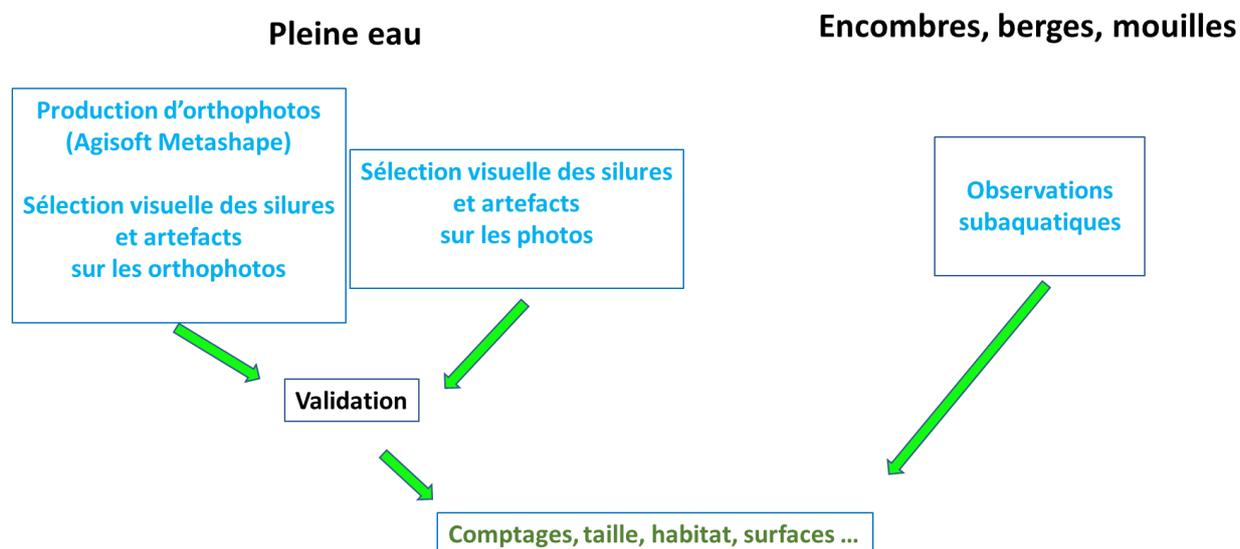


Figure 2 : Démarche suivie pour aboutir à l'acquisition des données permettant une estimation des densités de silure

Dans cette configuration, les variables affectant la qualité des images aériennes prises par drone sont les conditions météorologiques et les conditions de transparence de l'eau (Linchant et al., 2015 ; Zorbas et al., 2016 ; Caughley, 2018). Aussi, les différents paramètres influant sur la qualité des images ayant été identifiés pour la Loire (Boisneau, 2018), ceux-ci ont-ils été retenus dans cette étude afin de maximiser la qualité des photos. L'appareil doit être équipé d'un filtre polarisant. Un chevauchement des images sur les 4 côtés et un géoréférencement de chacune d'elle a été retenu. La taille a été fixée à 6000 x 4000 pixels pour pouvoir zoomer sur les éléments recherchés et réduire les sources d'erreurs liées à la détection de l'espèce recherchée. Les conditions météorologiques requises sont une vitesse de vent maximale de 15km/h et une nébulosité de moins de 10%. La transparence de l'eau doit être à minima de 1,0 m. Les opérations sont conduites à partir de 9h TU de façon à minimiser les ombres portées sur la surface de l'eau.

Les observations subaquatiques sont conduites le même jour que le survol par drone pour au moins deux sections. Le protocole appliqué a été adapté de Labrosse et al. (2001) le long de deux transects longitudinaux, rivulaires, sur l'ensemble du tronçon. Cette méthode, adaptée aux espèces peu mobiles, fournit des données quantitatives quant au nombre d'individus de l'espèce recherchée mais aussi sur les habitats qu'elle fréquente (Labrosse et al., 2001). Un binôme d'apnéistes progresse le long de chaque rive du cours d'eau en prospectant systématiquement les habitats rencontrés (sous berge, mouille aval de barre sédimentaire, fente dans la roche, herbier, encombre, tronc ...). La prospection se fait dans le sens général amont aval, mais la prospection des habitats se fait de l'aval vers l'amont (Figure 3). Lorsque la berge n'est pas propice à la présence de silure en raison d'une hauteur d'eau <30 cm, d'une surface plane ou en pente douce sans ombrage, le binôme passe en mode prospection en zig zag, de la berge vers la partie centrale du cours d'eau et retour, sur une largeur de 20m environ. En présence d'une fosse, ou d'une forte rupture de pente, une prospection conjointe des binômes est alors menée de l'aval vers l'amont avec équidistance entre les opérateurs.

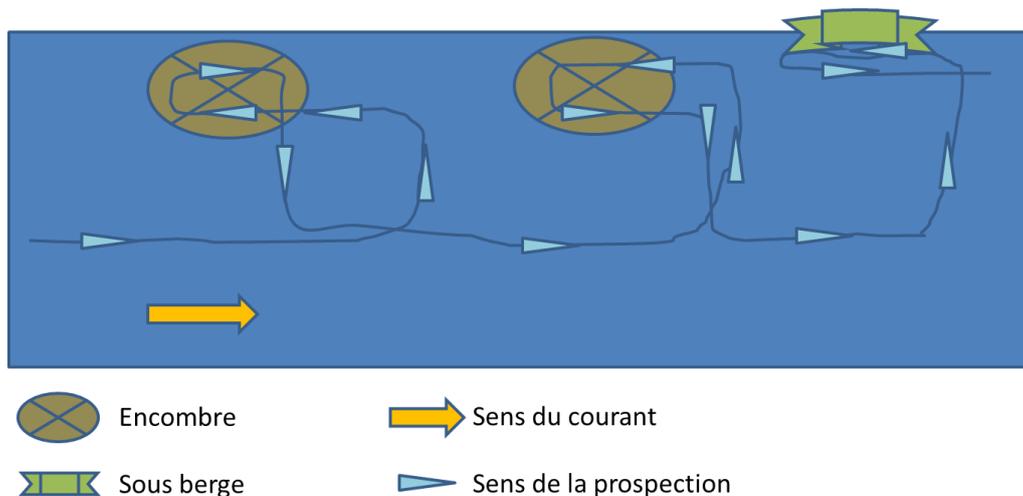


Figure 3 : Schéma du mode de prospection du cours d'eau pour l'estimation des densités de silure (Boisneau 2018)

La progression ne peut se réaliser que si les apnéistes sont capables de remonter le courant. Dans le cas contraire, le site n'est pas prospecté et ceci pour des raisons de sécurité. Les binômes sont constitués d'au moins une personne expérimentée. Une session de formation est organisée pour tous dès le premier habitat contenant des silures. Au début de la session, les observations des binômes sont validées par le responsable scientifique jusqu'à ce que l'accord soit complet. Dans la mesure du possible, la longueur du silure sera estimée de visu après la séance d'entraînement en début de sortie ou à partir d'une mesure de la hauteur de la nageoire caudale. En effet, celle-ci est généralement facile à voir et à mesurer avec une règle graduée. Cette méthode présente en outre le gros avantage de ne pas déranger les animaux. La relation entre hauteur de la nageoire caudale et la longueur totale du poisson est fournie d'après une relation établie à partir de poissons échantillonnés dans la Loire (annexe 2).

L'approche doit se faire sans gestes brusques en portant une grande attention aux poissons et aux habitats tels que souches, troncs ou herbiers dans lesquels il faut prendre le temps de la prospection. Il ne faut pas hésiter à chercher sous les débris de bois ainsi que dans les caches sous les berges et sous les rochers. Le silure doit être identifié de visu, directement, en phase de repos. Le passage des opérateurs, correctement conduit, ne doit pas déranger les poissons. Un poisson en déplacement passant dans le champ de vision ne sera pas compté pour éviter le sur comptage.

Les opérateurs fonctionnant en binôme, les descentes en apnée sont effectuées en alternance, la sécurité de l'apnéiste en prospection étant assurée par celui restant à la surface. Une observation n'est validée que lorsque les deux observateurs sont d'accord sur les données à communiquer : habitat,

nombre de poissons, taille individuelle et position dans la colonne d'eau. Elles sont communiquées au fur et à mesure de la prospection à la personne chargée de la sécurité dans un bateau à proximité. Celle-ci assure également l'orientation des plongeurs, la prise de notes, l'enregistrement de la position GPS des points de localisation des silures et règle la vitesse de progression. Ce bateau transporte également le matériel de secours dont l'oxygénothérapie, au moins un secouriste apnéiste/plongeur étant présent dans l'équipe.

Cette méthode étant conditionnée à la météorologie et à la transparence de l'eau, les autorisations (préfecturales et armée de l'air) de vols de drone ont été demandées au plus tôt de la date des sorties. Une validation de la faisabilité des prises de vue par drone et des conditions d'observation pour les plongeurs a été systématiquement conduite la veille ou 2 jours avant la sortie après avoir vérifié que les conditions météorologiques (Météofrance et météoagricole, site de Descartes) et hydrologiques (Vigicrues Descartes et Leugny) étaient adaptées.

2.3. Estimation des densités de silure

Pour chaque tronçon et chaque saison, les photos prises par le drone, sont soumises à un premier traitement visant à réduire les reflets voire à éclaircir l'image. Les « drivers » de la qualité des images ayant été identifiés et les sources susceptibles d'interférer sur leur qualité ayant été intégrés lors des prises de vue, un état des images a été conduit après retrait des images 100% terrestre, liée à la manipulation du drone (demi-tour, ile, ...). Sont ensuite identifiées les images exploitables qui seront utilisées pour comptabiliser visuellement le nombre de silures. Une image exploitable est une image ayant au maximum, 50% de la surface en eau recouverte par le reflet des nuages ou par des eaux turbides ou par des ombres portées ou des turbulences ou toute combinaison de ces quatre paramètres.

Les faux positifs, objet de forme similaire à celle d'un silure mais n'étant pas un poisson, sont également recherchés. Ils sont identifiés, via des critères de taille, de forme et de position d'une image à l'autre.

A la suite de la première session, la faisabilité de la production d'orthophotos a été testée avec pour objectif de réduire le temps d'analyse des images. Le lot intégral des images a été utilisé avec le logiciel Agisoft Metashape ©. Les silures et les faux positifs y ont été recherchés et comptés. Leur présence et localisation ont été croisées avec celles observées sur les photos. Dans le cas de désaccord, les facteurs susceptibles d'en être la source ont été identifiés.

Une analyse des facteurs susceptibles de conduire à une sur ou une sous estimation des effectifs de poissons a également été conduite.

Les densités sont calculées en nombre d'individus par unité de distance (100 m de rivière) en posant comme hypothèses que les poissons ne se sont pas déplacés lors des comptages et qu'aucun double comptage n'a été fait puisque seuls les individus au repos sont comptés. La redondance entre les résultats obtenus à partir des images et les observations subaquatiques est vérifiée. Tout individu compté dans les deux approches n'est compté qu'une seule fois.

Une analyse des caractéristiques des poissons, distribution en taille, nombre d'individus et des habitats dans lesquels ils ont été observés est conduite. Les classes de taille sont construites sur la base du statut reproducteur (juvénile/adulte) et sur leur capacité à consommer du poisson migrateur amphihaline (Boisneau, 2018 et WP2). Les classes 40-80 cm et 81-120 cm correspondent à des juvéniles ou individus ne s'étant reproduit qu'une fois et pas en capacité de consommer du poisson migrateur amphihaline tandis que les classes 121-180 cm et >181cm sont des adultes. Les individus dont la taille n'a pu être

relevée sur le terrain, car en groupe dans une fosse, ont été redistribués au hasard au prorata des proportions observées de chacune des classes.

Les habitats sont définis à partir d'éléments de géomorphologie, chenal, berge, fosse, sous berge mais aussi de d'infrastructures végétales comme les herbiers et les tas de bois mort. Un indice d'occupation des habitats est calculé pour chacun d'entre eux.

$$IH = T * \sum_k^1 (ni * oi)$$

Avec T le nombre de classes de taille des poissons, ni le nombre d'individus dans le groupe de poissons, oi l'occurrence de la classe du groupe de poissons et k le nombre de classes de groupe de poissons.

Classes des groupes de poissons, 1 individu : 1, 2 individus : 2, 3 à 5 individus : 4. Pour la classe > 5, l'occurrence de l'effectif de chaque groupe est retenue. Le seuil alpha de 0,05 a été retenu dans les tests statistiques.

3. Résultats

3.1. Hydrologie et conditions de prospection

L'hydrogramme journalier de la période d'étude montre deux crues, l'une de type flash, avec un maximum journalier de 649 m³/s, de fréquence biennale (520-687 m³/s, source Hydroeaufrance), du 14 au 16 juillet 2021 et une crue hivernale, du 28 décembre au 11 janvier 2022 avec un maximum de 430 m³/s (Figure 4). En dehors de ces évènements et de la période d'étiage, les valeurs de débits sont inférieures à celles de la moyenne de la période 2000 à 2020. Ceci à raison de 20% pour le début de la saison d'étude, du 1 mars 2021 au 13 juillet 2021, et très inférieures, 50%, pour la période du 12 janvier 2022 au 31 mars 2022.

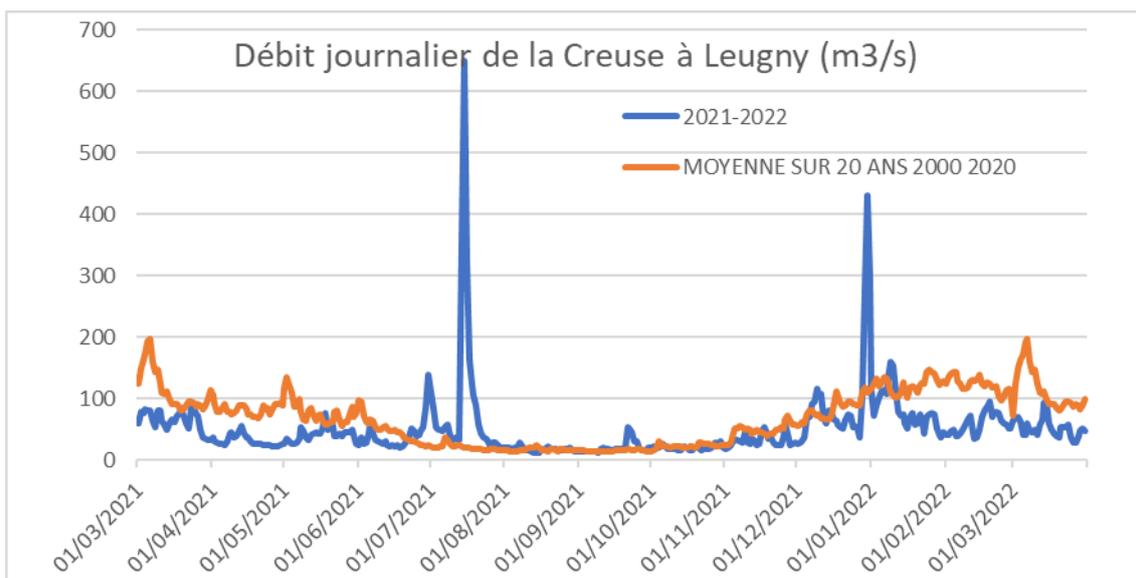


Figure 4 : Hydrologie de la Creuse à Leugny du 1 mars 2021 au 31 mars 2022 (L6020710, source Hydro eau France)

Les sorties ont été conduites, pour la période printanière, les 31 mai, 1 juin et 14 juin, pour l'étiage les 25 et 26 août, et en hiver les 25, 28 et 29 mars 2022. Les conditions des prises de vue et de comptages subaquatiques sont fournies en annexe 3. Elles ont été globalement homogènes lors d'une session sauf lors de la session hivernale en raison d'une augmentation de débit de 10 m³/s la première journée, non indiquée sur le site de Vigicrue. Les conditions hydrologiques ont été à nouveau favorables 3 jours plus tard. Lors de la première session, le site du barrage (Descartes) n'a pu être prospecté dans la continuité des autres sites. En effet, les conditions hydrauliques à l'aval de l'ouvrage étant trop dangereuses pour les opérateurs, une réduction du débit a été recherchée. Lors de la crue de juillet 2021, une des vannes du barrage a été arrachée modifiant ainsi la configuration hydraulique à l'aval de l'ouvrage. Celle-ci a été plus favorable à la prospection subaquatique pour les sessions d'étiage et d'hiver.

3.2. Analyse de la qualité des images et dénombrement des silures

L'ensemble des sessions a permis d'échantillonner les quatre sites à trois reprises soit 12 km de rivière. Après retrait des images 100% terrestre (2,7% au total), 5724 images sont disponibles. Ne sont exploitables que 86,5% d'entre elles, soit 4953. Les quantités d'images exploitables diffèrent selon les saisons et selon le site ($X^2 = 64,794$, ddl = 6, $p < 0,0001$). Le printemps est la saison qui compte le moins grand nombre d'images exploitables (1126) avec des proportions supérieures à 5% d'images de trois catégories, surface en eau couverte par des ombres portées, par des nuages et de la turbidité (Figure 5 et illustrations Figure 6).

Les résultats de cette première session ont permis d'affiner les conditions de prise de vue pour apporter des réponses à la qualité des photos. Les éléments sur lequel des améliorations ont été apportées en étiage et en hiver sont les facteurs nuage et turbidité. Néanmoins, en étiage, la turbulence liée à la présence des radiers, a augmenté en surface et compte pour 9,6 % des photos.

Sur l'ensemble de la période d'échantillonnage, le tronçon libre est celui qui détient le plus fort taux de photos inexploitable, 25,2% alors que le refuge hivernal n'en compte que 5,7% (Figure 7). Ces différences s'expliquent par la configuration des tronçons. Le tronçon libre est orienté SW-NE alors que les autres sont orientés SE-NW (Figure 1). La ripisylve en rive gauche étant continue et arborée sur l'ensemble des tronçons, cette orientation génère plus d'ombres portées sur la surface en eau. Ce tronçon contient 2 radiers alors que les autres n'en comptent qu'un, ce qui augmente la surface avec turbulence. Enfin, le tronçon frayère reçoit en rive droite, l'Esves, un affluent qui possède des eaux de couleur blanche qui génèrent 6,7% de photos non exploitables (Figure 7 et Figure 6 D).

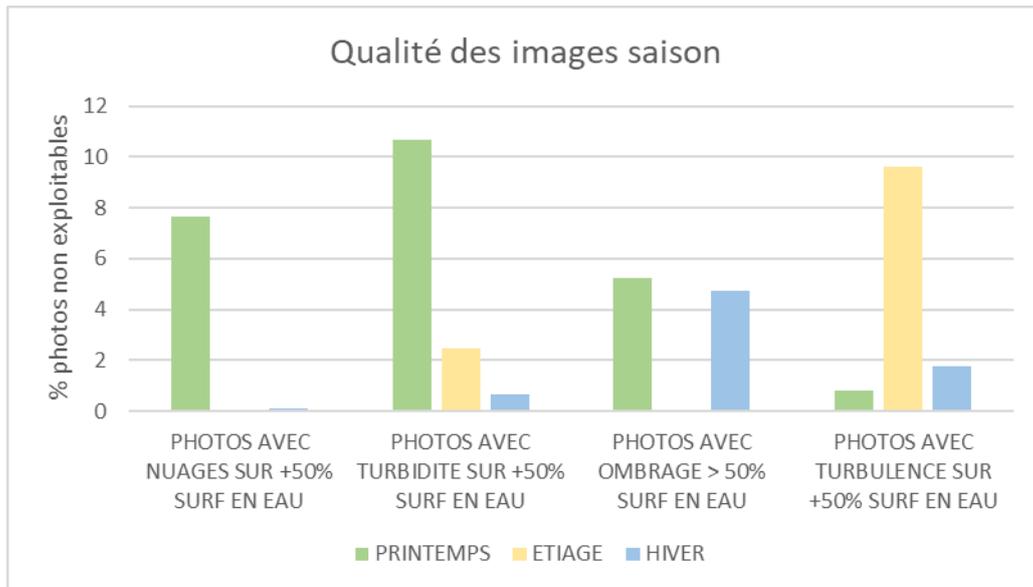


Figure 5 : Facteurs de rejet des images selon la saison

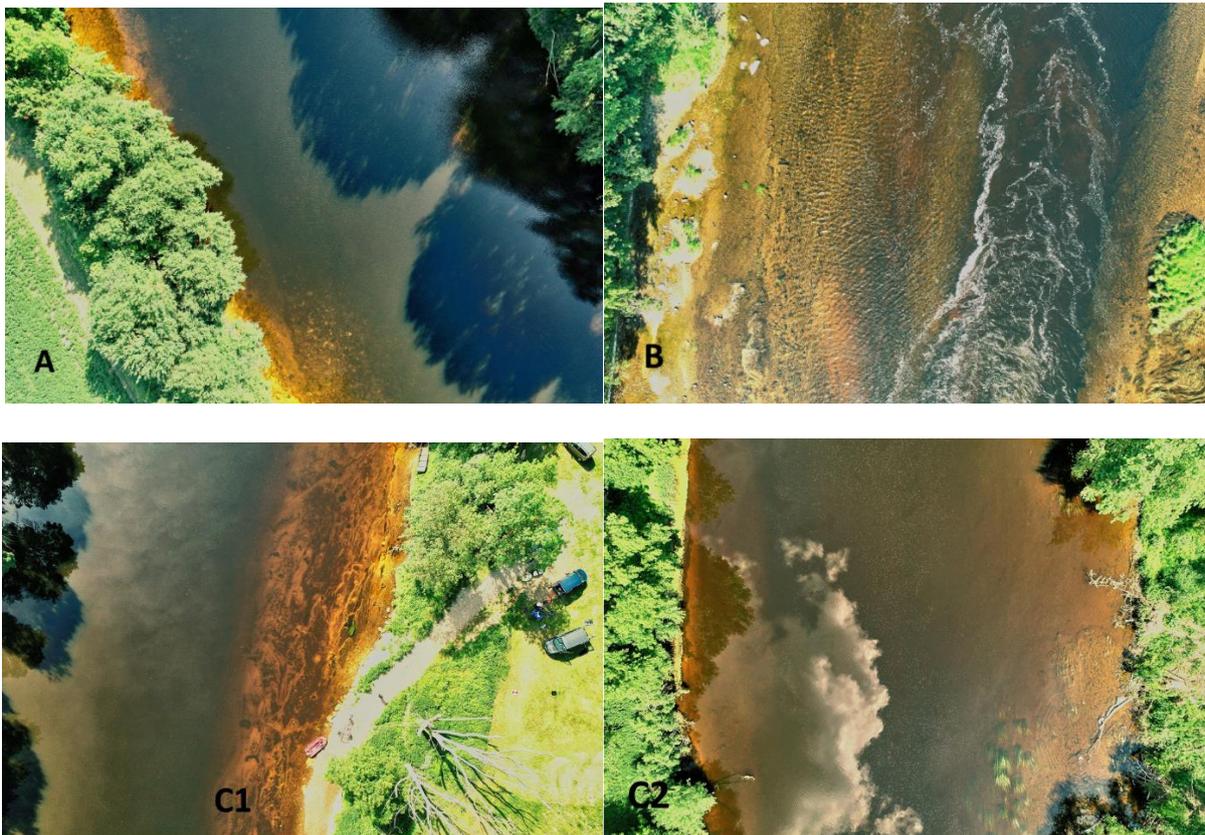




Figure 6 : Illustrations de catégories d'images non exploitables. A, ombre portée ; B, turbulence ; C1 et C2, reflet de nuages ; D, turbidité de type rejet de STEP ; E, turbidité liée à l'arrivée d'un affluent et reflets du soleil

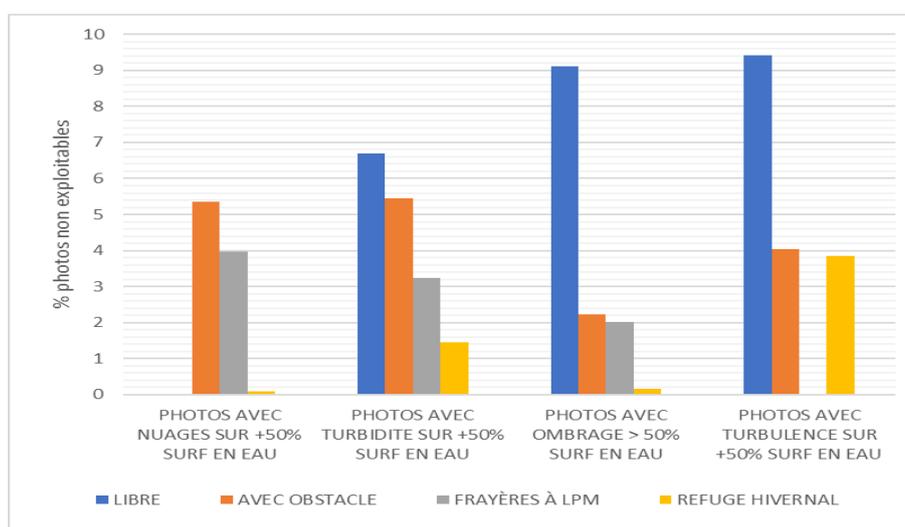


Figure 7 : Facteurs de rejet des images selon le tronçon pour l'ensemble des saisons

Au total, 3 silures ont été identifiés, 2 au printemps et un en hiver sur la zone de frayères à lamproie. 6 faux positifs ont été repérés, tous en hiver, deux dans la zone de frayères à lamproie et 4 dans la zone d'hivernage. Ils sont constitués de souches ou des branches.

3.3. Production d'orthophotos

Le jeu de données de photos a permis la production de 9 orthophotos sur 19 potentielles. Celles de la session de printemps ne présentent pas une qualité suffisante puisque les étapes maillage et texturation ont comblé, par extrapolation, des surfaces supérieures à 25% ce qui ne permet pas l'observation des poissons. La cause majeure en est un recouvrement insuffisant puisque les orthophotos n'avaient pas été envisagées à l'origine. Lors des sessions suivantes le recouvrement a été passé de 75% à plus de 85%, ce qui a réduit ces surfaces à extrapoler. Néanmoins, d'autres paramètres interfèrent sur la qualité des photos (Tableau 2, Figure 8, Figure 9, Figure 10, Figure 11). A

ceux déjà identifiés pour les photos s'ajoute les reflets du soleil. Ceux-ci ainsi que la turbidité et la turbulence, ne permettent pas la prise de repères pour l'étape d'alignement des photos à cause des déplacements des pixels d'une photo à l'autre.

Tableau 2: Orthophotos produites pour chaque site et chaque saison. Facteurs de dégradation de la qualité de l'orthophoto. a: recouvrement insuffisant ; b : présence de nuages ; c : turbidité ; d : reflets du soleil ; e : ombres portées ; f : turbulences

Tronçon	Printemps	Etiage	Hiver
Frayères à lamproie	N=0/1 a, b, c, f	N=1/1	N=1/1
Libre	N=0/1 a, c, e	N=1/2 d et f	N=1/1 e
Refuge hivernal	N=0/2 a, c	N=2/2 f	N=2/2 c
Avec obstacle	N=0/2 a, b, c, f	N=1/2, c, d, f	N=0/2 c, d, e, f



Figure 8 : Orthophoto du tronçon avec obstacle au printemps



Figure 9 : Orthophoto du tronçon avec obstacle en hiver



Figure 10 : Orthophoto du tronçon libre en hiver



Figure 11 : Orthophoto du secteur amont de la zone d’hivernage en étiage

Les silures ont été recherchés sur les orthophotos disponibles produites lors des sessions d’étiage et d’hiver. Aucun n’a été trouvé. Celui qui avait été observé sur les photos de la zone de frayère pour l’hiver n’a pas été retrouvé sur l’orthophoto. Dans un souci de vérification, les deux silures vus sur la zone de frayère au printemps ont également été recherchés sur l’orthophoto mais l’un d’entre eux a disparu et l’autre n’est plus identifiable comme tel.

3.4. Comptages subaquatiques

Les comptages subaquatiques se sont déroulés avec des visibilité comprises entre 1 et 2 m (Annexe 2). La couleur naturelle de l’eau de la Creuse, un peu rouille, réduit la visibilité et nécessite l’emploi d’un phare de plongée pour repérer et compter les poissons. Les tronçons avec obstacle et frayère n’ont pu être exploré dans leur intégralité. Sur le tronçon frayère, en rive droite, l’affluent l’Esves, possède des eaux de couleur blanche qui n’ont pas permis les comptages subaquatiques dans le panache de l’affluent de largeur 1 m environ sur une distance allant de 200m à 460m soit 0,3 à 0,66% de la surface en eau. Sur le tronçon avec obstacle, deux facteurs n’ont pas permis l’exploration complète, le rejet de la STEP de la papeterie, de couleur grise et très nauséabond, pour une largeur 1 m environ sur une distance allant jusqu’à 240m, soit 0,34% de la surface en eau et les remous liés au barrage qui, surtout à la session de printemps, n’ont pas permis les prospections à l’aval de l’ouvrage pour environ 5% de la surface en eau. Au total, 128 silures ont été dénombrés en comptage subaquatique.

3.5. Sur et sous-estimation

Tableau 3 : Variables productrices de sur ou sous-estimation des comptages de silure. VP : variable physique, VB : variable biologique et VT : variable technologique

Variable	Nature variable	Sous-estimation			Sur estimation		
Ombre portée de la ripisylve	VP	■	■				
Reflets des nuages	VP	■	■				
Vaguelettes, turbulences	VP	■	■				
Turbidité	VP	■	■				
Couleur de l’eau	VP	■	■	■			
Faux positifs	VP	■	■		■	■	
Ombres portées des poissons	VB				■		
Perte par construction de l’orthophoto	VT		■				
Recouvrement des photos	VT		■				
Reflets du soleil	VP		■				
Herbiers subaqua	VB			■			
Agrégation des individus	VB			■			■
Photos		■					
Orthophotos		■					
Comptages subaquatiques		■					

L'analyse de l'état des images a mis en évidence différentes variables influant sur la sur ou la sous-estimation des silures (Tableau 3) certaines étant spécifique à une technique tandis que d'autres opèrent quelle que soit la technique. Les variables générant de la sous-estimation sont majoritaires et l'orthophoto est la méthode qui en compte le plus. Ces variables peuvent être classées en trois catégories, physiques, biologiques et technologiques, les premières étant les plus nombreuses. Enfin, l'agrégation des individus et les faux positifs produisent de la sur comme de la sous-estimation. Ne sont retenus dans la suite de ce travail que les valeurs de comptage sans pondération liée à un facteur ou à un autre.

3.6. Caractérisation des silures et de leurs habitats

Les observations visuelles et sur les photos ont permis d'identifier avec certitude 131 silures pour l'ensemble de la période d'étude. Les distributions en taille s'étendent de 40 cm à 280 cm avec des différences non significatives entre les effectifs des quatre classes de taille ($\chi^2=5.751$, $df=3$, $p=0,124$).

Les poissons exploitent des profondeurs variant de 10 cm à 350 cm avec des différences significatives entre les classes de taille, les individus les plus petits exploitant des profondeurs moins importantes que les poissons de taille > 180 cm (Kruskall-Wallis, $K=24.33$, $df=3$, $p<0.0001$) (Figure 12).

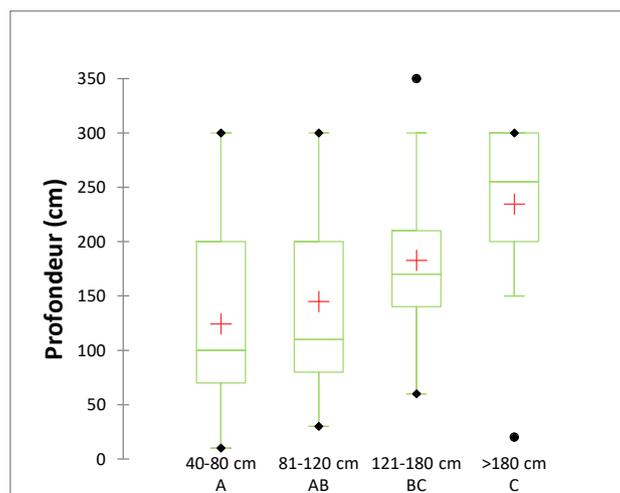


Figure 12 : Profondeurs utilisés par les silures observés en subaquatique et sur les photos, N=131

La fréquentation saisonnière des sites montre des déplacements inter sites et des entrées-sorties des tronçons d'études, avec un plus grand nombre d'individus en étiage (N=63) et des effectifs minimaux en hiver (N=26, Figure 13). Les distributions d'effectifs entre les sites sont similaires ($\chi^2=6,164$, $df=6$, $p=0,405$). Le tronçon libre est celui qui accueille le plus grand nombre d'individus (N=43). 47% des individus sont solitaires tandis que les groupes de plus de 5 individus ne sont pas présents pendant l'hiver (Figure 13).

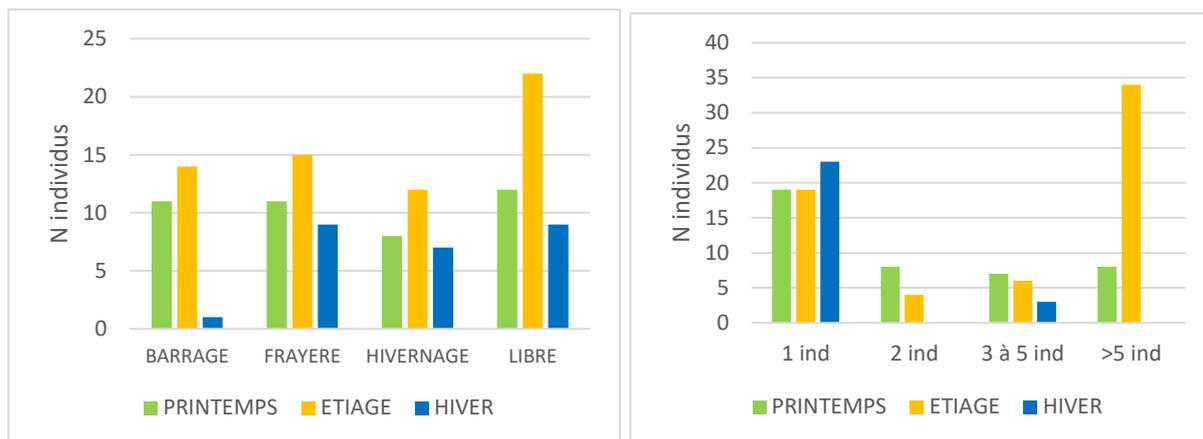


Figure 13 : Fréquentation des sites et composition des groupes de silures observés en subaquatique et sur les photos, N=131

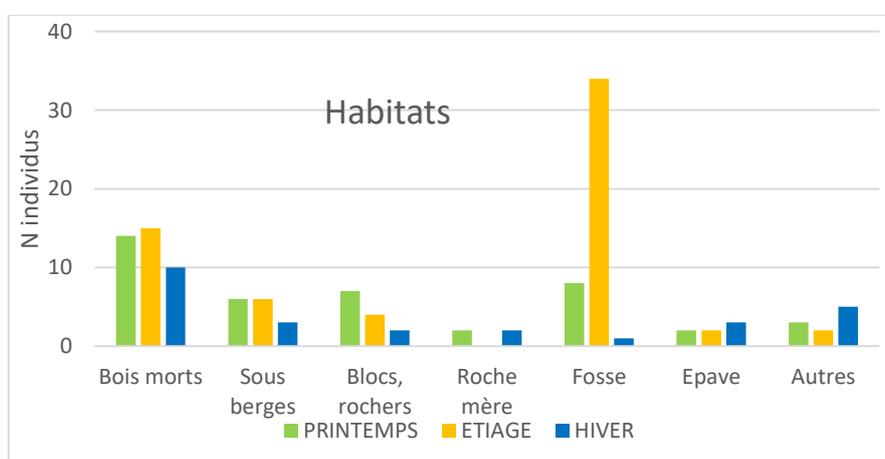


Figure 14 : Habitats utilisés par les silures selon la saison, N=131

Sept catégories d'habitats sont retenues et fréquentées quelle que soit la saison à l'exception de la roche mère. Il s'agit de micro-surplombs dans la roche, de 10 à 30 cm de haut, généralement près des berges. L'épave est celle d'un véhicule à moteur dont l'habitacle permet d'héberger 2 à 3 silures selon leurs tailles. La catégorie autres contient les habitats herbiers, sables-graviers et pleine eau. L'habitat privilégié en été est la fosse où les individus sont en groupe de 8 à 14 individus (

Figure 14, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les bois morts constituent le deuxième habitat hébergeant le plus de poissons soit 30%. Les individus solitaires sont rencontrés dans tous les types d'habitats (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Alors que la taille du groupe augmente, la variété d'habitat fréquenté diminue mais de manière non significative ($r_s = -1$, $p = 0,083$).

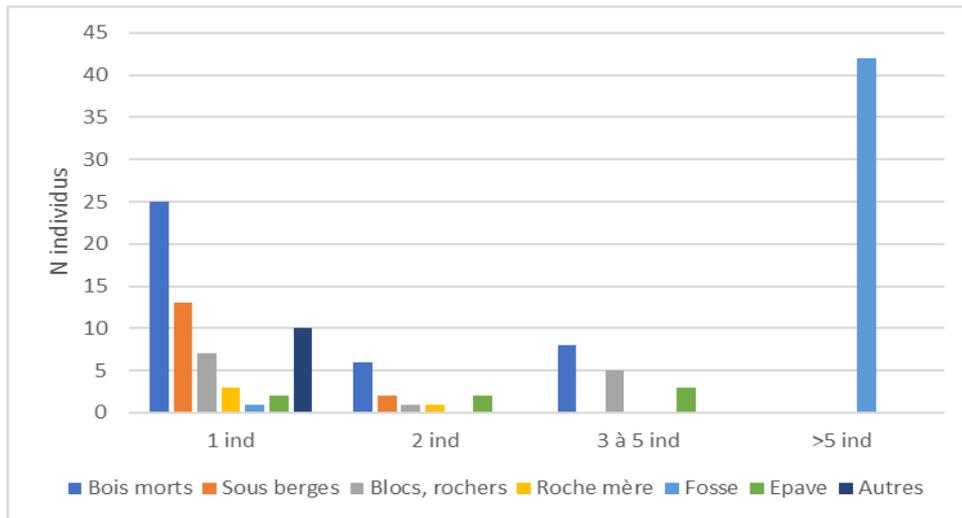


Figure 15 : Habitats utilisés par les silures selon la taille du groupe, N=131

Les quatre classes de taille des poissons sont observés dans les bois morts, blocs-rochers et fosses (Figure 16). Plus les poissons sont grands, moins ils sont présents dans les bois morts et plus ils sont observés dans les fosses. Les sous berges, roche mère et épave n'accueillent pas d'individus de taille supérieure à 180cm. L'indice d'occupation de habitats montre que les silures privilégient les bois morts puis les fosses et les blocs rochers (Tableau 4).

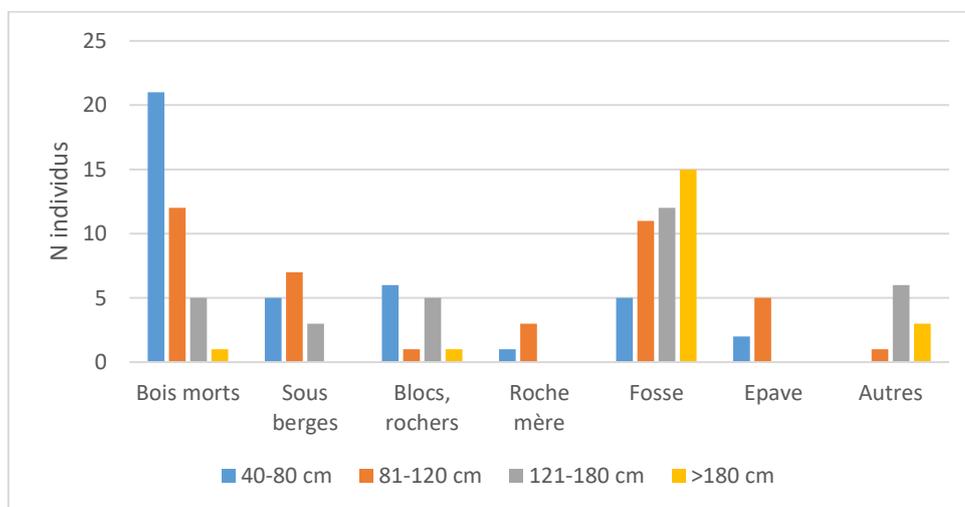


Figure 16 : Habitats utilisés par les silures selon la classe de longueur, N=131

Tableau 4 : Valeurs de l'indice d'occupation des habitats

	Bois morts	Sous berges	Blocs, rochers	Roche mère	Fosse	Epave	Autres
Catégorie de taille	4	3	4	2	4	2	3
1 ind	25	13	7	3	1	2	10
2 ind	12	4	2	2	0	4	0
3 à 5 ind	32	0	20	0	0	12	0
> 5 ind	0	0	0	0	40	0	0
IH	276	51	116	10	164	36	30

Les densités d'individus de longueur supérieure à 80 cm, varient de 0,1 ind pour 100m de linéaire de cours d'eau, pour le tronçon barrage en hiver, à 2,2 pour le tronçon libre en étiage, période à laquelle les densités sont maximales (Tableau 5).

Tableau 5 : Densités de silure selon les tronçons

Densité (N/100m)	BARRAGE	FRAYERE	HIVERNAGE	LIBRE
PRINTEMPS	1,1	1,1	0,8	1,2
ETIAGE	1,4	1,5	1,2	2,2
HIVER	0,1	0,9	0,7	0,9

6. Discussion - Conclusion

Dans toute phase de design d'un protocole, des compromis sont recherchés entre les objectifs scientifiques de l'étude et les éléments de contextes physique et biologique sous les contraintes logistiques liées à la méthode et/ ou au protocole retenu. Il en a été de même dans ce travail où se pose la question scientifique de la répartition des silures dans le temps en fonction de la disponibilité en proies et de leurs comportements saisonniers et celle de l'estimation de leurs densités en milieu naturel. Une question d'ordre méthodologique s'est ajoutée, celle de tester la faisabilité de la production d'orthophotos.

L'analyse de l'état des images prises par drone a permis de conforter certains facteurs physiques comme « driver » de leur qualité et d'affiner les conditions de prise de vue pour maximiser le nombre d'images exploitables. Cette étape a permis d'en augmenter le nombre pour les 2^e et 3^e sessions. La production d'orthophotos, non prévue dans le projet de départ, confirme l'importance de ces variables auxquelles s'ajoutent des variables technologiques liées au logiciel. En l'état actuel de la technique, l'orthophoto ne permet pas le dénombrement des silures dans un cours d'eau comme la Creuse, quelle que soit la saison. L'analyse visuelle, certes chronophage, reste la meilleure solution. Cependant l'orthophoto aérienne de cours d'eau, très peu utilisée actuellement (Christie and al., 2016 ; Tyler et al., 2018) constitue un futur défi.

En effet, une fois les problèmes méthodologiques améliorés, elle offre des perspectives très intéressantes en termes de positionnement des poissons dans les tronçons de rivière à partir du moment où l'opérateur dispose du positionnement GPS des individus observés en subaquatiques. De plus, elle contribuerait à une approche de type « Riverscape » (Torgersen et al., 2022). Cette approche considère, entre autres, les trois dimensions spatiales des hydrosystèmes mais aussi leur dimension temporelle via l'acquisition de nombreuses données relatives aux habitats et aux poissons. Selon Fausch et Carbonneau in Torgersen et al. (2022), l'hétérogénéité physique et biologique d'un écosystème rivière est mieux appréhendée au travers de données collectées en continu spatialement qu'au travers d'échantillonnages traditionnels stratifiés ou au hasard sur des séquences de cours d'eau.

Les drivers de la qualité des images sont également des facteurs de sur et sous-estimation des effectifs de poissons. Aussi, afin de maximiser la robustesse des données dans les estimations de densité de silures, le choix a été fait de ne considérer que les effectifs observés sans pondération ni extrapolation. Il n'existe à ce jour que très peu de données relatives aux densités de silure en milieu naturel, même dans la synthèse de Copp et al. (2009). Les densités citées par Bouletreau et al. (2011) font référence à des regroupements particuliers. Les densités observées sur la Loire (Alosa 21016-17, données finalisées), pour des individus de taille supérieure à 80 cm, sur la base d'observations subaquatiques et de photos prises par drone, sont légèrement supérieures, de 1,95 à 3,1 ind/100 m.

Les comptages de silures en subaquatique et sur les photos ont permis une analyse spatiale à deux échelles. A l'échelle du tronçon, des déplacements saisonniers sont observés. Un processus de concentration des poissons en étiage est observé. Ceci pourrait s'expliquer par une moins grande possibilité de circulation entre les différents faciès, certains radiers étant susceptibles d'être infranchissables par les silures en raison de la faible hauteur d'eau et/ou de la forte vitesse de courant. De même les seuils du barrage n'étaient pas franchissables en étiage. En revanche, en hiver, les silures ont quitté les tronçons étudiés. Ce WP ne permet pas de savoir où ils sont partis, notamment si les poissons ont franchi le barrage ou s'ils se sont réfugiés dans la portion de cours d'eau entre le tronçon du barrage et le tronçon libre.

A l'échelle de l'habitat, la fosse est celui qui est privilégié en étiage avec une distribution agrégative des poissons de grande taille. La disponibilité en habitat de repos semble s'amoinrir avec la baisse des débits. Les habitats le long des berges sont soit à sec soit peu accessibles ou ne présentent pas toutes les caractéristiques requises pour satisfaire aux besoins des silures à cette saison. Les bois morts sont les infrastructures qui fournissent la plus forte valeur d'indice d'occupation de l'habitat. Ils sont localisés principalement en berge où ils occupent un volume de $x 10^3$ à plusieurs milliers de m^3 . On en trouve également dans le chenal où ce sont le plus souvent des restes de tronc. La grande variété d'espaces disponibles permet le repos de diverses classes de taille de silure mais aussi d'effectifs variés. Si l'importance du bois dans les écosystèmes aquatiques est avérée pour le fonctionnement de l'écosystème comme pour certaines espèces de poissons (Meleason et al., 2002 ; Rowe et al., 2002 ; Whol et al., 2016), il s'avère être aussi un habitat de repos pour les silures, quelle que soit la saison.

6. Références bibliographiques

Boisneau C, (2018). ALOSA 2016-17, Suivi des aloses en Loire moyenne 2016 et 2017 et première approche d'une estimation des densités de silures en Loire moyenne. Rapport de l'université de Tours, AELB, PLGN, 99p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02134961>

Boulêtreau, S., Cucherousset, J., Villeger, S., Masson, R., & Santoul, F. (2011). Colossal Aggregations of Giant Alien Freshwater Fish as a Potential Biogeochemical Hotspot. *PLoS ONE*, 6(10): e25732. doi:10.1371/journal.pone.0025732

Boulêtreau S., Gaillagot A., Carry L., Tétard S., De Oliveira E., & Santoul F., (2018). Adult Atlantic salmon have a new freshwater predator. *Plos One*, 12

Boulêtreau S., Carry L., Meyer E. et al., (2020) High predation of native sea lamprey during spawning migration. *Sci Rep* 10:6122. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62916-w>

Boulêtreau S., Fauvel T., Laventure M., Delacour R., Bouyssonnié W., Azemar F., Santoul F., (2021). “The giants’ feast”: predation of the large introduced European catfish on spawning migrating allis shads. *Aquat Ecol* (2021) 55:75–83.

Brevé, N. W. P., Verspui, R., de Laak, G. A. J., Bendall, B., Breukelaar, A. W., & Spierts, I. L. Y. (2014). Explicit site fidelity of European catfish (*Silurus glanis*, L., 1758) to man-made habitat in the River Meuse, Netherlands. *Journal of Applied Ichthyology*, 30: 472–478.

Carol, J., Zamora, L., & García-Berthou, E. 2007. Preliminary telemetry data on the movement patterns and habitat use of European catfish (*Silurus glanis*) in a reservoir of the River Ebro, Spain. *Ecology of Freshwater Fish*, 16: 450–456.

Caughley G., (2018). Sampling in Aerial Survey. *The Journal of Wildlife Management*, 41(4), 605–615.

Christie, K.S., Gilbert, S.L., Brown, C.L., Hatfield M., & Hanson, L., (2016). Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(5): 241–251, doi:10.1002/fee.1281

Copp, G.H., Britton, J.R., Cucherousset, J., Garcia-Berthou, E., & Kirk, R., (2009). Voracious invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish *Silurus glanis* in its native and introduced ranges. *Fish and Fisheries*, 10, 252–282.

Labrosse P., Kulbicki M., Ferraris J. (2001). Comptage visuel de poissons en plongée, conditions d’utilisation et de mise en œuvre. Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD, 60p.

Libois R, Rosoux R, Gabris B, (2016). Approche du régime alimentaire chez le Silure glane. *Rech Nat en Reg Centre*, 3: 32-38

Linchant J, Lisein J, Semeki J, Lejeune P, Vermeulen C., (2015). Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Rev.*, 45, 239–252. doi: 10.1111/mam.12046

Meleason M., Quinn J., Davies-Colley R., (2002). Why is wood important in streams? *Water & Atmosphere*, 10(3): 18–19.

Rowe D.K., Smith J., Quinn J., Boothroyd I., (2002). Effects of logging with and without riparian buffer strips on native fish abundance, size and community structure in small streams running through a Coromandel pine forest. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 36: 67–79.

Syväranta J., Cucherousset J., Kopp D., Martino A., Cereghino R., & Santoul F., (2009). Contribution of anadromous fish to the diet of European catfish in a large river system. *Naturwissenschaften*, 96, 631–635.

Torgersen C. E, Le Pichon C., Fullerton A. H., Dugdale S. J., Duda J. J., Giovannini F., et al., (2022). Riverscape approaches in practice: perspectives and applications. *Biological Reviews*, 97, 481–504

Tyler, S., Jensen, O.P., Hogan, Z., Chandra, S., Galland, L.M., & Simmons, J., (2018). Perspectives on the Application of Unmanned Aircraft for Freshwater Fisheries Census. *Fisheries*, 43(11), 510-516 DOI: 10.1002/fsh.10167

Whol E., Bledsoe B.R., Fausch K.D., et al. 2016. "Management of Large Wood in Streams: An Overview and Proposed Framework for Hazard Evaluation. *Journal of the American Water Resources Association*, 52(2)

Zorbas D, Di Puglia Pugliese L, Razafindralambo T, Guerriero F., (2016). Optimal drone placement and cost-efficient target coverage. *Journal of Network and Computer Applications*, 75, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.08.009>

6. Annexes

Annexe 1 : Coordonnées GPS amont et aval des tronçons échantillonnés pour l'étude des densités de silure

Sites	Amont	Amont	Aval	Aval
Barrage de Descartes	524351	6655351	523329	6655640
Hivernage	519501	6657496	519366.26 400 m aval pont SNCF environ	6658305
Frayère	520089 Confluence avec Esves	6656816	519501 = amont hivernage	6657496
Tronçon libre	521444	6656811	520480	6656596

Annexe 2 : Relation entre la longueur totale du poisson (LT) et la hauteur de la nageoire caudale (LQ)

N=94, r=0,958, p<0.0001, LQ = 0.0953LT + 0.0349

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
LT (cm)	59,000	238,000	145,043	49,019
LQ (cm)	5,200	25,000	13,851	4,875

Annexe 3 : Conditions des prises de vue et des comptages subaquatiques. * indique le jour des prises de vue par drone

Site	PRINTEMPS				ETIAGE				HIVERNAGE			
	LIBRE	FRAYERE	HIVERNAGE	DESCARTES	LIBRE	FRAYERE	HIVERNAGE	DESCARTES	LIBRE	FRAYERE	HIVERNAGE	DESCARTES
Date	31/05/2021*	31/05/2021 et 1/06/2021	01/06/2021	14/06/2021	25/08/2021*	25 et 26/08/2021	26/08/2021	26/08/2021	25/03/2022*	25 et 28/03/2022	28/03/2022	29/03/2022
Débit de la Creuse à Leugny à 12H00 (m ³ /s)	38	Cf 31/05 et 1/06	35	32	15	Cf 25 et 26/08/2021	20	20	65 à 75	36	36	43
H eau à Leugny (m)	1,17		1,15	1,13	1		1,04	1,04	1,42 à 1,49	1,2	1,2	1,26
Visibilité (m)	1,2		1,2	1	1,8		2	2	1,2	1,8	1,8	1,6
T eau (°C)	25		25	25	21		22	22	10,5	13	13	13,8
Orientation vent	Est		Pas de vent	Pas de vent	Est		Nord	Nord	Nord-Est	Est	Est	Pas de vent
Vitesse vent	< 10km/h		-	-	< 10km/h		< 10km/h	< 10km/h	< 10km/h	< 10km/h	< 10km/h	-
Nébulosité	< 10%		< 10%	< 10%	< 10%		< 10%	< 10%	< 10%	< 10%	< 10%	Nuageux

Remerciements : Que soient ici remerciés toutes les personnes qui ont contribué à la bonne réalisation de cette action sur le terrain et tout particulièrement les plongeurs et apnéistes d'Aqualibre et de Chinon qui n'ont pas hésité à se mouiller même quand il faisait froid, T Handfuss de Ath-geo.com pour les prises de vue par drone, C Scheid du Laboratoire d'Archéologie de Touraine (LAT) ainsi qu'E Labergerie de l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes (CNAM) du Mans pour leurs conseils et aides pour les orthophotos et bien sur les collègues du MNHN Dinard tant pour le terrain que pour les échanges divers et variés que nous avons pu avoir.

Ce travail est le fruit d'une collaboration principale entre le MNHN et deux structures de l'Université de Tours, l'UMR CNRS 7324 CITERES et le CETU Elmis, il s'inscrit également dans le périmètre géographique et scientifique de la Zone Atelier Loire sous tutelle du CNRS.

Logistique terrain et observations terrain : P Juge, CETU ELMIS Université de Tours

Observations terrain, analyse des données et rédaction : C Boisneau, CITERES Université de Tours