

Etude de la valeur des débits biologiques sur plusieurs cours d'eau du bassin Boutonne, Charente et Seudre



METHODOLOGIE DES ETUDES DE DEBITS BIOLOGIQUES EN RIVIERE

SOMMAIRE

1	ETUDE DE L'HABITAT AQUATIQUE : DE LA BIOLOGIE A LA PHYSIQUE DES COURS D'EAU ..	4
1.1	Les micro-habitats	4
1.1.1	<i>Principes et méthodes disponibles.....</i>	4
1.1.2	<i>Modélisation hydraulique et débits étudiés</i>	6
1.2	Les indicateurs.....	7
1.2.1	<i>Les indicateurs éprouvés de l'habitat piscicole pour l'étiage et les eaux moyennes.....</i>	7
1.2.2	<i>Habitat aquatique et invertébrés benthiques</i>	11
1.2.3	<i>Connexion du cours d'eau avec des habitats particuliers.....</i>	15
1.2.4	<i>Débordement en lit majeur et reproduction du brochet</i>	19
1.2.5	<i>Dynamique sédimentaire : Critères hydrauliques pour l'auto-entretien des cours d'eau, des frayères et la vulnérabilité à l'homogénéisation des faciès.....</i>	21
1.2.6	<i>Les frayères en lit mineur : un enjeu périodique.....</i>	24
1.2.7	<i>Qualité des eaux.....</i>	25
2	MODALITE D'INTERPRETATION DES RESULTATS : METHODE DES SCENARIOS	27
2.1.1	<i>Principes</i>	27
2.1.2	<i>Synthèse des indicateurs à prendre en compte selon la période.....</i>	29
2.1.3	<i>Des spécificités à vérifier sur le terrain</i>	30
3	RESUME DES ETAPES METHODOLOGIQUES DES ETUDES DE DEBITS BIOLOGIQUES.....	31
3.1	Processus d'ensemble.....	31
3.2	Etapas préparatoires (P)	32
3.2.1	<i>Etape 1 – Analyse de l'hydromorphologie</i>	32
3.2.2	<i>Etape 2 - Analyse de l'hydrologie : un élément de contexte important</i>	32
3.2.3	<i>Etape 3 - Analyse de l'écologie et des enjeux du débit biologique</i>	33
3.2.4	<i>Etape 4 : Validation des secteurs d'études et des enjeux.....</i>	34
3.3	Etapas de prise de données et d'interprétations.....	34
3.3.1	<i>Etape 5 : Choix d'un protocole expérimental adapté aux enjeux.....</i>	34
3.3.2	<i>Etape 6 : Prises de données terrain</i>	35
3.3.3	<i>Etape 7 : Réalisation d'un modèle hydraulique sous Hec-Ras 2D et couplage de ce modèle avec les modèles biologiques</i>	36
3.3.4	<i>Etape 8 : Enjeux biologiques et cycle hydrologique.....</i>	36
4	METHODE D'IDENTIFICATION DES BORNES DE DEBIT BIOLOGIQUE.....	40
5	LES LIMITES DE L'EXPERTISE ET DE SON UTILISATION.....	43
6	ANNEXE DESCRIPTIFS DES DIFFERENTS OUTILS DISPONIBLES ET RAISONS DU CHOIX DE LA METHODE HYDRAULIQUE 2D.....	44
6.1.1	<i>EVHA (1998).....</i>	44
6.1.2	<i>ESTIMHAB (2002)</i>	45
6.1.3	<i>LAMMI (2011).....</i>	46
6.1.4	<i>Méthodes microhabitat 2D EAUCEA (2016)</i>	46
6.1.5	<i>HABBY (2016)</i>	47
6.1.6	<i>Tableaux récapitulatifs.....</i>	48
7	BIBLIOGRAPHIE	50

1 ETUDE DE L'HABITAT AQUATIQUE : DE LA BIOLOGIE A LA PHYSIQUE DES COURS D'EAU

Un débit biologique est un débit qui garantit la bonne fonctionnalité des milieux aquatiques d'un cours d'eau (maintien d'un environnement favorable à la faune et à la flore aquatiques et maintien des principales fonctions du cours d'eau). Exprimé sous la forme d'une plage de valeurs (et non d'une seule valeur figée), il concerne généralement la période d'étiage, période naturellement limitante pour les milieux sur le plan hydrologique. Il se rapproche alors du DMB (débit minimum biologique) qui correspond au débit minimum garantissant la survie, la circulation et la reproduction de la faune aquatique. Le débit biologique peut également être périodisé, c'est-à-dire défini à plusieurs périodes de l'année. Il représente alors la plage de valeurs favorable à certains enjeux spécifiques (reproduction de certaines espèces, mise en eau d'une zone humide, ...). Ces enjeux sont explicités dans le rapport (notamment au 3.3.4). Les méthodes de définition des débits biologiques relatifs aux périodes hors basses eaux restent toutefois expérimentales car encore peu utilisées, contrairement aux méthodes appliquées en basses eaux (étiage).

Le présent rapport vise à balayer les différentes méthodes existantes pour calculer des débits biologiques. Il dresse également une liste des différents indicateurs qui peuvent être utilisés pour définir les plages de débit biologique.

NOTA

Les éléments présentés sont en grande partie communs aux territoires de la Seudre, de la Boutonne et de la Charente. Cependant les sections traitant des modalités d'interprétations des courbes de SPU, des invertébrés, de l'analyse de l'hydrologie ou encore l'analyse de l'écologie et des enjeux ont évoluées depuis le comité d'expert de juillet 2022 et ne concerne que les territoires des SAGE Boutonne et Charente. Cela ne remet pas en cause la méthodologie appliquée à l'étude des affluents de la Seudre dont les résultats reste à ce jour pertinents.

1.1 Les micro-habitats

1.1.1 Principes et méthodes disponibles

La méthode proposée est une étude dite de « micro-habitats ». Ce type de méthode permet de relier le fonctionnement hydraulique des rivières avec le comportement biologique d'une espèce cible à un stade donné. Pour cela, de multiples observations ou une modélisation hydraulique des stations de mesure doit être réalisée pour décrire le cours d'eau dans ses différents états entre basses eaux et hautes eaux. Ce modèle hydraulique est ensuite couplé à un modèle biologique (préférence des espèces cibles aux paramètres hydrauliques modélisés : vitesse et hauteurs d'eau).

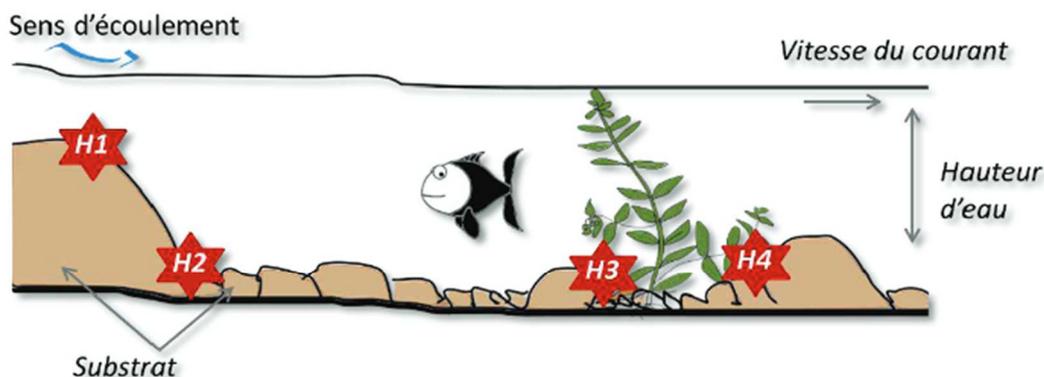


Fig. 1.1.2. La sélection d'habitat est le processus à travers lequel le poisson choisit l'habitat le plus favorable où vivre en fonction des habitats H1, H2, H3 et H4 disponibles autour de lui. En écohydraulique, les habitats sont caractérisés par la vitesse du courant, la profondeur d'eau et des caractéristiques du substrat.

Figure 1 : Sélection d'habitat

Source : Laura Plichard. Modélisation multi-échelles de la sélection de l'habitat hydraulique des poissons de rivière. Ecosystèmes. Université de Lyon, 2018.

Plusieurs méthodes de calcul de débits biologiques existent à ce jour. Une synthèse spécifique est présentée en annexe.

Le logiciel d'origine développé pour le protocole EVHA est toutefois obsolète et possède un modèle hydraulique « 1,5D » induisant peu de précision et beaucoup d'incertitudes sur le plan hydraulique. ESTIMHAB est une méthode simplifiée qui ne permet pas une analyse fine des paramètres hydrauliques. Les mesures se font à deux débits différents. L'extrapolation de part et d'autre de ces deux débits apparaît scientifiquement peu fiable et la méthode ne permet pas de repérer des ruptures dans les scénarios de débit. La méthode LAMMI impose les relevés à minimum 3 débits différents pour palier à un modèle hydraulique moins sophistiqué que les modèles hydrauliques classiques, ce qui représente une lourde contrainte logistique. Elle pose aussi des problèmes d'extrapolations.

La méthode développée par Eaucea et mise en œuvre s'appuie quant à elle sur un modèle hydraulique 2D (modèle HEC-RAS) couplé à des modèles biologiques issus de EVHA. Elle permet une analyse fine des paramètres hydrauliques et des valeurs d'habitats. Les relevés de terrain sont réalisés à un seul passage, réduisant la contrainte logistique et donc le coût de l'opération.

Actuellement, un outil nommé HABBY est en cours de développement. Il permettra à terme de coupler des modèles hydrauliques comme le modèle HEC-RAS aux modèles biologiques issus de EVHA. Cet outil n'est actuellement pas tout à fait abouti.

Le tableau ci-dessous compare les différentes méthodes proposées. La méthode hydraulique dite Eaucea a été validée par l'OFB dans le cadre des études des DOE Adour Garonne.

	Moyens et produits						
Méthode	Fonctionnalité	Nombre de campagnes	cartographie simulée de l'habitat	Capacité extrapolation	Visualisation franchissabilité radiers	Modélisation des annexes hydrauliques	Dynamique des éclusées
EVHA 1995	Obsolète (plus de mises à jour disponible)	1	oui	bonne	non	non	non
ESTIMHAB 2002	Opérationnel	2	non	mauvaise	non	non	non
LAMMI 2011	Opérationnel	3 ou 4	oui (sommaire)	mauvaise	non	non	non
MODELE EAUCEA	Opérationnel	1	oui	bonne	oui	oui	oui
Outils							
HABBY 2018	En cours de production	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	oui (suivant le modèle choisi)

Tableau 1 : Moyens et produits pour les différentes méthodes et outils microhabitats.

Le développement de la plateforme logicielle dite « HABBY » est intervenu après le début de cette étude, ce qui ne remet pas en cause le fondement des choix méthodologiques initiaux. La plateforme réunie dans un même ensemble logiciel l'ensemble des étapes de calcul et propose diverses méthodologies d'analyse des résultats. En particulier, les méthodes de calcul hydrauliques répondent aux mêmes principes que ceux mobilisés sur les bassins Charente et Seudre. La plateforme actualise aussi la bibliothèque de modèles biologiques qui ont été mobilisés pour l'interprétations des habitats des invertébrés benthiques notamment.

1.1.2 Modélisation hydraulique et débits étudiés

Un modèle hydraulique est réalisé avec le logiciel HEC-RAS 2D. Il permet de calculer, sur une maille de l'ordre de 1 m x 1 m, la cote de la ligne d'eau et la vitesse moyennée verticalement, en fonction du débit simulé. Cela permet de retranscrire la diversité des écoulements le long de toute la station étudiée. Compte tenu de son importance décisive dans la suite des interprétations, ce modèle est construit et validé par des ingénieurs spécialisés en hydraulique qui ont participé aux relevés de terrain.

Le modèle hydraulique de la station est basé sur des relevés de terrain effectués par transect (profondeur, vitesse et granulométrie en plusieurs points du transect, conformation du profil de berge hors d'eau) et sur le profil en long (pente de la ligne d'eau par relevés des niveaux d'eau au niveau de chaque transect, position des transects les uns par rapport aux autres).

La limite aval de la station est choisie au niveau d'une limite hydraulique (radier par exemple) pour permettre le calage du modèle hydraulique. Il est recommandé de prendre un tronçon d'une longueur égale à environ 15 fois la largeur du lit mouillé afin de tenir compte des alternances de faciès présents sur le site. De toute façon, chaque station est choisie pour prendre en compte deux, voire trois alternances de type radier/mouille.

Le modèle hydraulique retenu permet une analyse de tous les paramètres hydrauliques et hydromorphologiques déterminant pour la biologie. C'est la plasticité de cette approche qui en fait le principal intérêt pourvu que les prises de données terrain et les modélisations soient conduites rigoureusement. Elle pourra apporter des réponses sur une très grande diversité de contextes hydrauliques qui apparaîtraient importants dans la phase d'analyse des conséquences biologiques.

Il peut s'agir notamment de la proportion d'habitats courants, de la variation de la largeur mouillée, de la connexion entre le cours d'eau et un habitat particulier (annexe hydraulique, bras secondaire, zone humide, ...), du tirant d'eau nécessaire au niveau des zones de radiers pour la libre circulation des poissons d'une mouille à l'autre, de l'énergie dissipée, etc.

Les gammes de débit testées dans la modélisation vont de l'étiage jusqu'à un débit de débordement (sortie du lit mineur). Les modèles biologiques les plus étudiés et pratiqués concernent les étiages et les eaux moyennes. Or, sur les bassins charentais, il est demandé une prise en compte de l'intégralité du régime hydrologique ce qui conduit à s'intéresser aux conditions écologiques qui prédominent en période d'eaux moyennes à hautes. Les indicateurs sont donc proposés à titre expérimental. Les enjeux de cette période, qui va de l'automne à la fin du printemps, sont majoritairement centrés sur le recrutement des poissons (frayères et premiers stades de développement).

Sur le portail technique de l'OFB, nous lisons : « *Les outils d'aide à la détermination des objectifs sont aujourd'hui uniquement disponibles pour les débits bas à moyens, c'est-à-dire pour la définition des **Débits Objectifs d'Etiage (DOE)**. Les méthodes adaptées aux hautes eaux sont aujourd'hui au stade de la recherche. L'Europe donne cependant des éléments de cadrage dans le guide « Les débits écologiques dans la mise en œuvre de la DCE ».*

En revanche, il n'est pas prévu d'explorer systématiquement le fonctionnement de la zone inondable sauf dans le cas spécifique de la Seudre car explicitement demandé dans le cahier des charges. En effet, la modélisation du champ d'expansion des crues nécessiterait des investigations topographiques du lit majeur et des calages spécifiques à des modèles de crue. Un référentiel de crue a ainsi été fourni par le maître d'ouvrage sur la Seudre.

1.2 Les indicateurs

1.2.1 Les indicateurs éprouvés de l'habitat piscicole pour l'étiage et les eaux moyennes

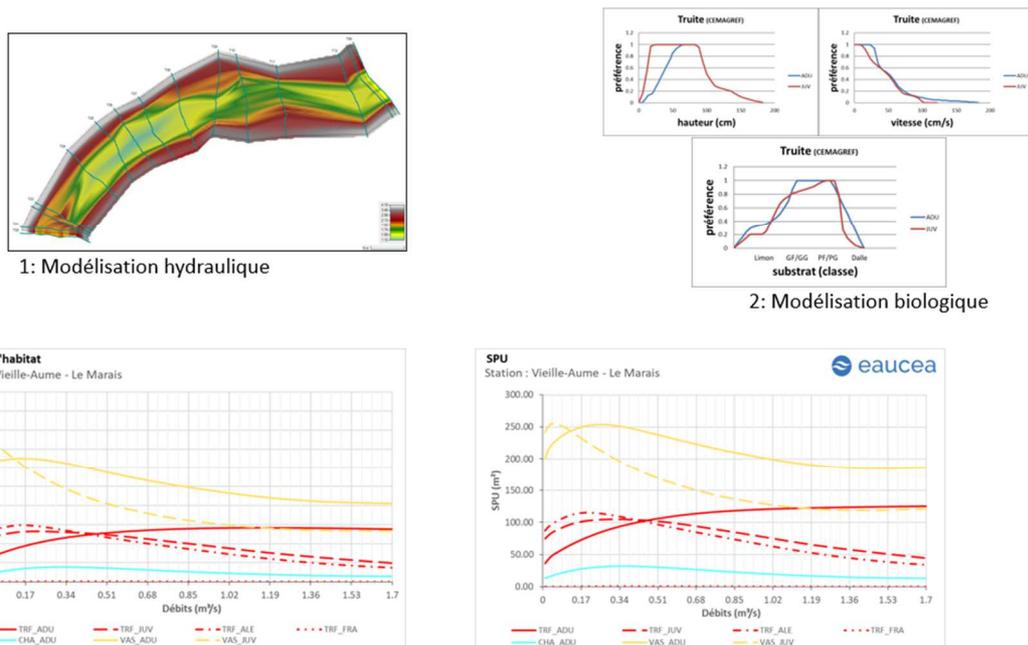
1.2.1.1 Principes et domaines d'application

Les courbes de préférendas des méthodes de micro-habitats, disponibles pour les espèces cibles, permettent de prédire la quantité et la qualité des habitats potentiellement favorables aux poissons dans une portion de cours d'eau, en fonction de différents paramètres hydrodynamiques. Rappelons cependant que les poissons et les populations d'invertébrés sont sensibles à bien d'autres variables environnementales que le débit (qualité, température, continuité, etc..) qui constitue aussi des éléments d'explication du bon état écologique au côté de la qualité de l'habitat physique.

Les courbes de préférence permettent de déterminer en tout point la valeur d'habitat de la rivière pour telle ou telle espèces et stades de développement. En systématisant ce calcul sur l'ensemble de la station elle permet de décrire la surface d'habitat favorable à une espèce en couplant le modèle hydraulique à une interprétation biologique. Ces courbes de préférence seront donc superposées au modèle hydraulique utilisé pour quantifier les pertes ou gains de superficie en habitats en fonction de la valeur du débit.

Des modèles biologiques prennent en compte l'intérêt potentiel du milieu pour différents stades ontogéniques (classes d'âge) d'une espèce de poisson en fonction des variables utilisées dans le modèle hydraulique. Les valeurs obtenues sont appelées Valeurs d'Habitat (VH) et vont de 0 à 1. 0 correspond à une absence de conditions favorables à l'établissement d'une espèce pour le stade considéré et 1 correspond à une potentialité maximale de trouver cette espèce à ce stade au niveau du point considéré. Insistons sur le fait que cette méthode ne s'intéresse pas à d'autres paramètres déterminants de la biologie : température, oxygène, conductivité, qualité physico-chimique, etc... La valeur d'habitat n'est donc pas une probabilité de présence mais bien un potentiel d'accueil "habitat hydraulique théorique".

Les valeurs d'habitat multipliées par la superficie permettent d'obtenir une surface potentiellement habitable pour chaque espèce et stade ontogénique en fonction du débit. Cette surface habitable est appelée « surface pondérée utile » (SPU).



3: Interprétations pour la station (valeurs d'habitat et Surface Pondérée Utile en fonction du débit)

Figure 2 : Processus type des études d'habitat aquatique

Domaine d'application :

Deux critères déterminent le domaine d'application :

- La capacité à modéliser correctement le fonctionnement hydraulique du secteur considéré ;
- Le domaine du modèle biologique associé (chevaine, barbeau, ...).

Les modèles biologiques utilisés sont issus initialement d'EVHA et d'autres publications basées sur la même méthodologie. Il s'agit de courbes de *preferenda* concernant la vitesse, la hauteur d'eau et la granulométrie. Ces courbes sont disponibles pour 27 espèces à divers stades ontogéniques.

Toutes les espèces ne sont pas décrites par des courbes de préférence. Nous retenons donc pour l'analyse les courbes de préférence des espèces cibles dont les besoins écologiques sont caractéristiques du cortège piscicole présent dans la rivière. Le choix des espèces cibles peut également être aiguillé par d'autres critères tels que le statut de protection, le classement IUCN, ...

Les modèles biologiques utilisés ont été développés par le CEMAGREF, sur la base des données récoltées sur le Rhône, l'Ain, l'Ardèche, la Drôme, la Loire et la Garonne.

1.2.1.2 Valeur d'habitat : un indicateur qualitatif

Cet indicateur, exprimé par une valeur entre 0 et 1 caractérise un potentiel d'habitat pour une espèce et un stade donné (adulte, juvénile, alevin, fraie). Cet indicateur évolue avec le débit. Une valeur élevée est plus favorable car elle traduit un potentiel d'habitat élevé. Toutes les espèces présentes et disposant de modèles biologiques d'habitat de type *preferenda* peuvent être testées. Un indicateur existe aussi pour les zones de fraie de la truite (TRF-FRA).

Ces courbes sont établies pour l'ensemble des débits susceptibles d'être rencontrés mais en hautes eaux la pertinence des résultats est parfois mauvaise si l'on dépasse les conditions de vitesse (environ 1,5 m/s) et de profondeur (environ 1,5 m). Cette limite explique pourquoi la valeur d'habitat n'est pas spécifiquement étudiée en hautes eaux.

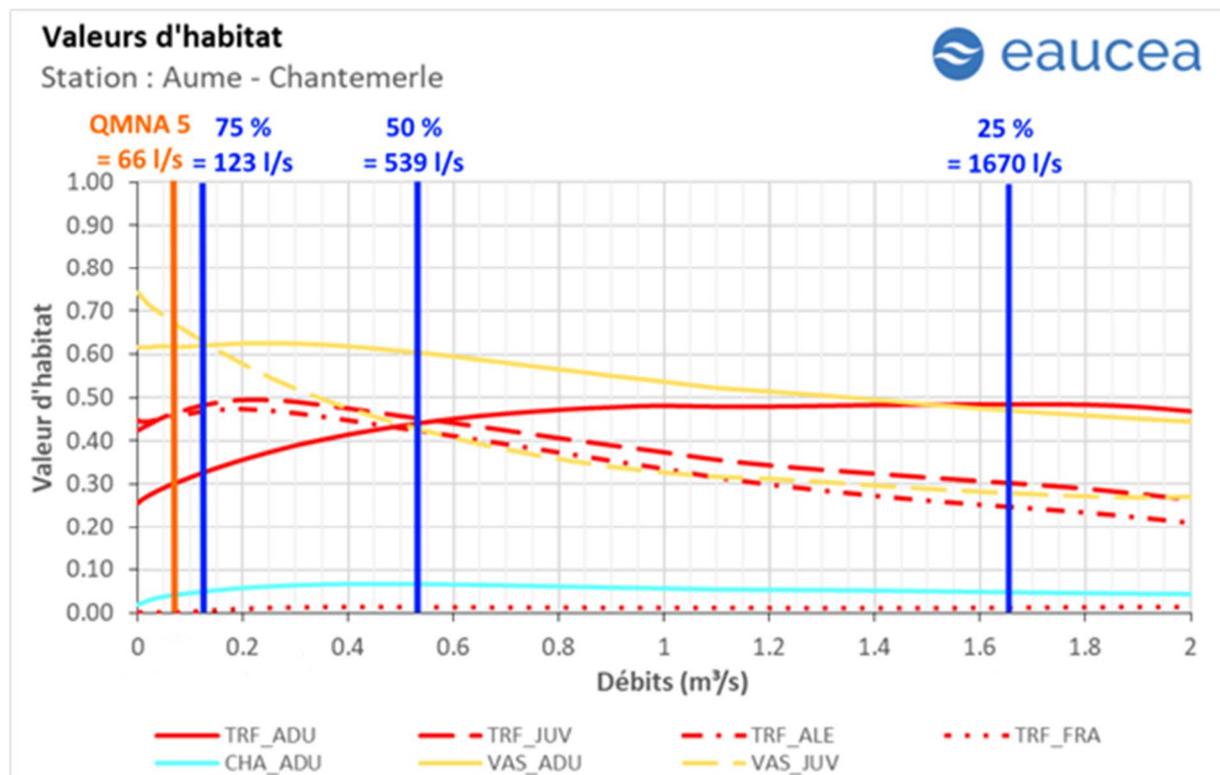


Figure 3 : exemple de courbe d'évolution relative de la valeur d'habitat avec le débit

1.2.1.3 Surface pondérée utile (SPU) : : un indicateur quantitatif

Cet indicateur, exprimé en m^2 , quantifie le potentiel d'habitat pour une espèce et un stade donné (adulte, juvénile, alevin, fraie). Cet indicateur évolue avec le débit et le remplissage du lit. Une valeur élevée est plus favorable car elle traduit un potentiel d'habitat élevé. Toutes les espèces présentes et disposant de modèles biologiques d'habitat de type *preferenda* peuvent être testées. Leur sensibilité relative pourra faire apparaître des critères utiles à l'analyse.

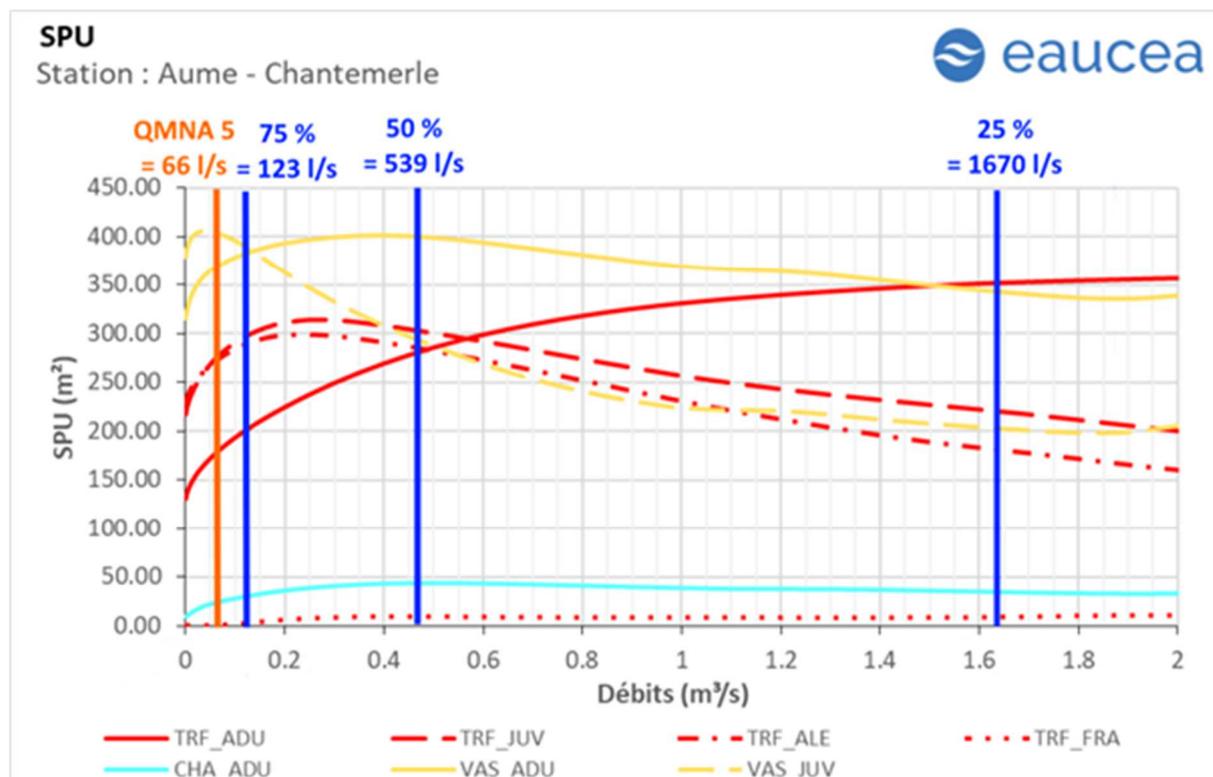


Figure 4 : exemple de courbe d'évolution en m^2 de la SPU avec le débit

Interprétations : Les modalités d'interprétations ont été standardisées après les premiers retours des études Boutonne et Charente. Une première analyse fixe le domaine de débit considéré comme représentant le meilleur compromis entre toutes les espèces, qui constitue le débit biologique indépendamment de l'hydrologie. Cependant afin d'affiner l'expertise, la courbe des valeurs d'habitats et l'expertise territoriale conduit à sélectionner la ou les espèces et stades de poissons qui piloteront l'analyse des courbes de SPU. Il s'agit le plus souvent de la truite fario, du chabot ou de la vandoise, voire du brochet.

Sur cette base, un deuxième diagnostic est porté sur les débits les plus bas. En effet, dans ce domaine, les courbes de SPU présentent souvent une évolution relative plus forte en proportion du débit. Il s'agit donc de proposer un seuil de débit en deçà duquel, la baisse des débits est très pénalisante. Une courbe présentant **les variations relatives** par rapport au maximum théorique atteint pour chaque espèce et stade peut alors illustrer ce domaine de forte sensibilité (à gauche sur le graphe). L'expert propose une valeur qui servira de seuil de débit minimal.

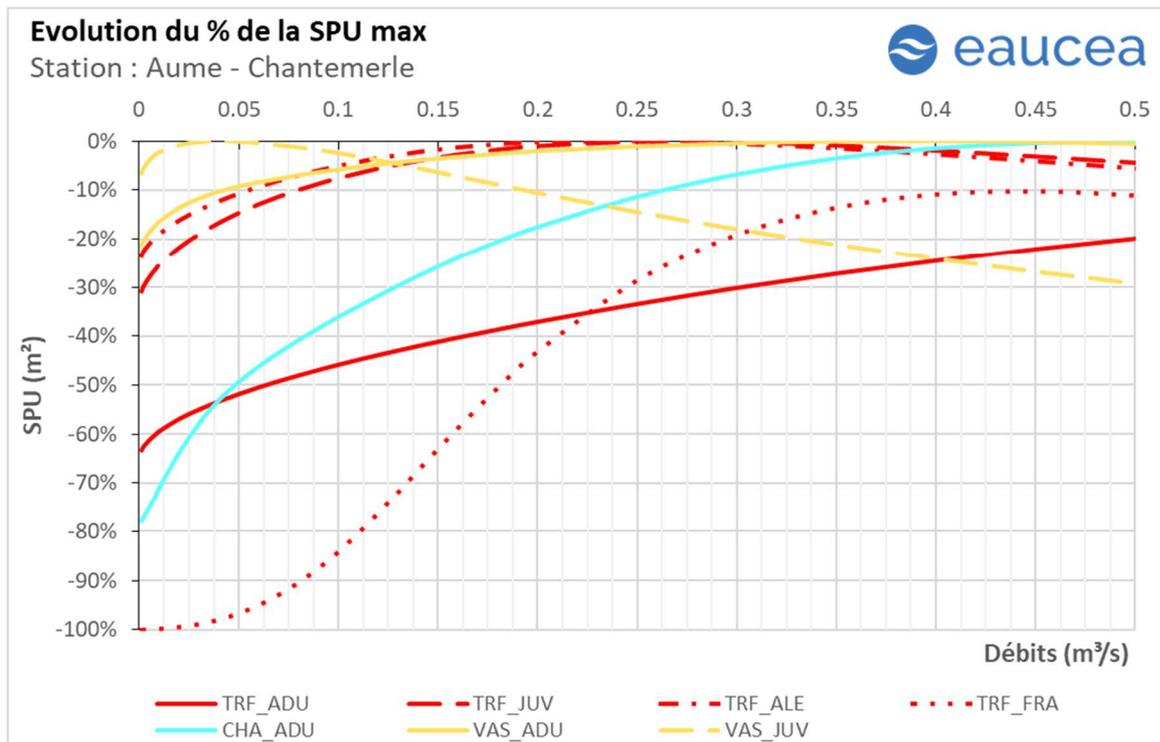


Figure 5 : exemple de courbe d'évolution relative de la SPU avec le débit

1.2.2 Habitat aquatique et invertébrés benthiques

La diversité de l'habitat est souvent une condition de la diversité des espèces animales ou végétales et notamment les invertébrés benthiques qui vivent au contact du sédiment du lit des cours d'eau. Sur les bassins Charente Boutonne et Seudre les cours d'eau de plaine sont plutôt à faible pente. Les zones rapides bien que plus rares, sont donc importantes pour la biologie car elles offrent des conditions de vie originales pour les poissons, la flore et les invertébrés qui « aiment » les zones courantes : ce sont les espèces dites rhéophiles. Ces zones sont très importantes dans les prospections des hydrobiologistes qui établissent les indicateurs DCE.

Les radiers naturels, faciès les moins profonds, sont donc des zones de nourriture et d'habitat mais ce sont aussi des zones du cours d'eau où l'oxygénation est meilleure par brassage des eaux du fait de l'augmentation des vitesses, contrairement aux zones profondes et lentes où l'oxygénation ne se fait que par diffusion. Les radiers jouent donc un rôle important pour le bon fonctionnement des milieux. En étiage, la baisse des débits peut réduire drastiquement ces zones de courant et banaliser les faciès dominants. Dans des milieux perturbés notamment sur le plan de la granulométrie du lit et de la qualité des eaux, la pérennité de zones courantes est un enjeu important de l'état écologique du cours d'eau.

Les évolutions récentes du modèle HABBY offre aujourd'hui (2023) une bibliothèque de modèles biologiques pour un grand nombre d'espèces d'invertébrés benthiques (environ 200 taxons) au côté d'une liste d'environ 40 taxons de poissons.

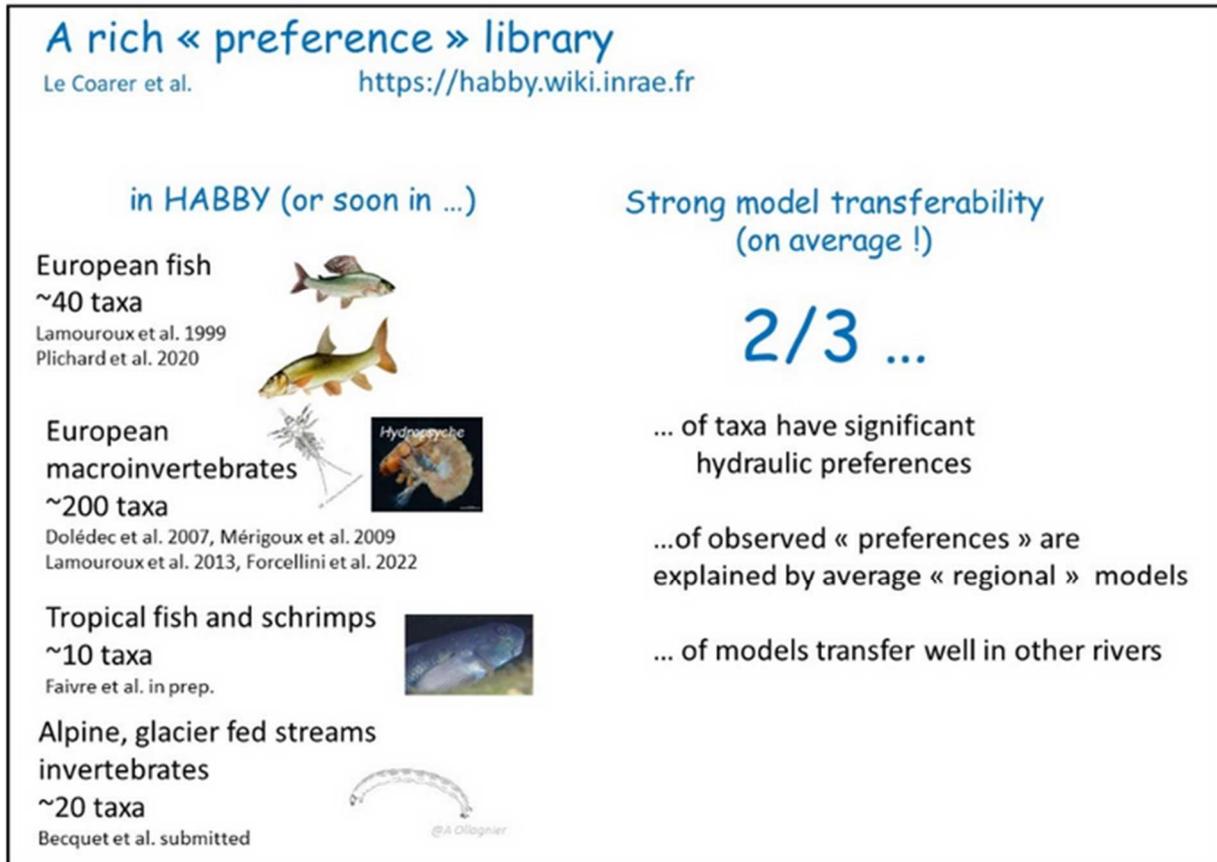


Figure 6 Qu'est-ce que HABBY Source <https://habby.wiki.inrae.fr/fr:habby>

L'étude de la population d'invertébrés du bassin de la Charente permet de lister les espèces présentes dont une partie dispose de courbes de préférences d'habitat. Elles sont identifiées dans cette note méthodologique.

Il convient cependant de soulever différentes limites au rapprochement de débits biologiques classiquement appliqués aux poissons avec une approche concernant les invertébrés. Ces limites sont :

- les populations inventoriées le sont à la fin de l'été et ne comprennent donc que les espèces présentes en fin de période de basses-eaux, aucune expertise ne peut être faite concernant les autres périodes hydrologiques ;
- ce sont des espèces peu mobiles en comparaisons avec les poissons, un diagnostic précis par station n'est donc pas envisageable ;
- les modèles ne représentent pas tous le même niveau phylogénétique ;
- les clades (famille, groupe, taxon, ...) disposant de courbes de préférence sont peu nombreux comparés à la diversité des espèces présentes.

Nous pouvons cependant simplifier l'approche en considérant les grandes familles comportementales en lien avec les paramètres « hauteur » et « vitesse » eux-mêmes dépendants du débit.

1.2.2.1 Préférence de hauteur d'eau

Seuls 15 clades disposent de courbes de préférence concernant les hauteurs d'eau.

On peut néanmoins distinguer deux sous-groupes suivant leur préférence. Un premier groupe comprend les espèces vivant dans les eaux peu profondes jusqu'à une quinzaine de centimètres de fond correspondant à des faciès de type radier ou courant peu profond.

Clade	Code
Caenis	CAEN
Esolus	ESOL
Gammarus	GPUL
Glossiphoniidae	GLOSSO
Heptagenia	HEPT
Limnius	LIMN
Micronecta	MICRO
Physella	PACU
Psychomyia	PPUS
Radix	RADI
Rhithrogena	RHIT
Rhyacophila lato-se	RHYA
Serratella	SIGN
Theodoxus	TFLU
Tipulidae	TIPUL

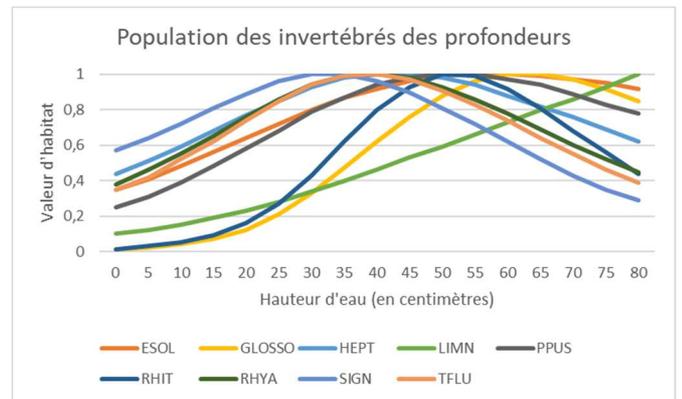
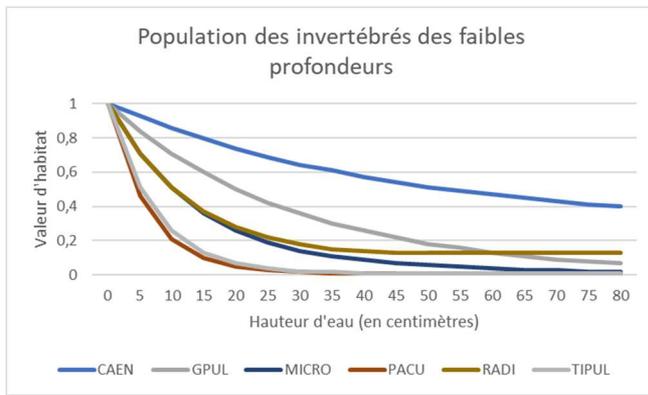


Figure 7 Distribution des VH-H pour les invertébrés charentais bénéficiant d'un modèle biologique

Un second groupe correspond aux espèces dont l'optimum se situe entre 30 et 60 cm de hauteurs d'eau. Ce sont donc plutôt des espèces de fosses ou de chenaux qui restent toujours en eau. Ce sont d'ailleurs ces espèces qui dominent en diversité et en nombre d'individus sur le secteur.

En résumé, la différenciation des habitats benthiques en lien avec la profondeur peut s'analyser en distinguant deux zones de part et d'autre de la valeur-seuil de 15 centimètres de profondeur.

1.2.2.2 Vitesses d'écoulement

Clade	Code
Baetidae	BAET
Baetis	BAETI
Bithynia	BITH
Caenis	CAEN
Cheumatopsyche	CLEP
Dicranota	DICR
Erpobdellidae	ERPO
Esolus	ESOL
Gammarus	GPUL
Glossiphoniidae	GLOSSO
Heptagenia	HEPT
Hydraena	HYDRA
Hydropsyche	HYDROPS
Hydroptila	HYDROP
Limnius	LIMN
Micronecta	MICRO
Nemoura	NEMO
Pisidium	PISI
Polycentropus	POLYC
Psychomyia	PPUS
Radix	RADI
Rhithrogena	RHIT
Rhyacophila lato-sensu	RHYA
Serratella	SIGN
Simuliidae	SIMU
Tabanidae	TABA
Valvata	VCRI

27 clades disposent de courbes de préférence concernant les vitesses d'écoulement. Comme avec les hauteurs d'eau, on peut aussi distinguer deux sous-populations. La première correspond aux espèces ne tolérant pas les fortes vitesses. Leur optimum se situe en dessous d'une valeur comprise entre 0 cm/s et une trentaine de cm/s. C'est donc une population des milieux lenticques. Ce constat conforte les seuils fixés dans les protocoles de prélèvement d'invertébrés aquatiques (I2M2) définissent les vitesses en dessous de 25 cm/s comme lente et supérieure à 25 cm/s comme appartenant à des classes de vitesses moyennes (voire rapides au-delà de 75 cm/s).

Nous retiendrons donc le seuil de 25 cm/s comme démarquant les milieux plutôt lenticques des milieux plutôt rhéophiles.

Une seconde sous-population, bien plus nombreuse, préférera les vitesses situées entre 70 et 130 cm/s à l'exception de Dicranota sp. (optimum à 40 cm/s) et Rhithrogenas sp. (optimum à 170 cm/s). Il s'agit d'espèces inféodés aux milieux lotiques et elles sont majoritaires sur le bassin.

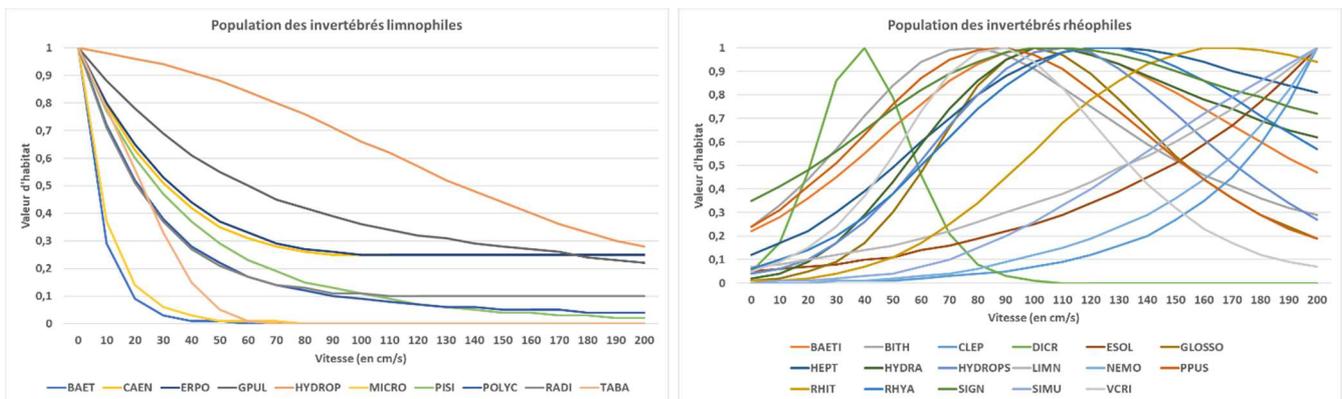


Figure 8 Distribution des VH-V pour les invertébrés charentais bénéficiant d'un modèle biologique

En résumé, la différenciation des habitats benthiques en lien avec la vitesse, critère le plus discriminant en étiage, peut s'analyser en distinguant deux zones de part et d'autre de la valeur-seuil de 25 cm/s. Ce paramètre est quantifié via la surface occupée par les classes de vitesses inférieures ou supérieures à 25 cm/s. L'interprétation consiste donc à qualifier le milieu de plutôt lent ou plutôt rapide puis de fixer un taux de répartition de ces deux catégories dont nous considérerons qu'il garantit une diversité des habitats benthiques cohérente avec l'ambiance dominante. En étiage, le taux d'habitat lotique est fixé forfaitairement à 10% et en hautes eaux et eaux moyennes à 20%. Pour permettre une comparaison inter-station, ce débit est positionné sur la courbe fréquentielle des débits classés.

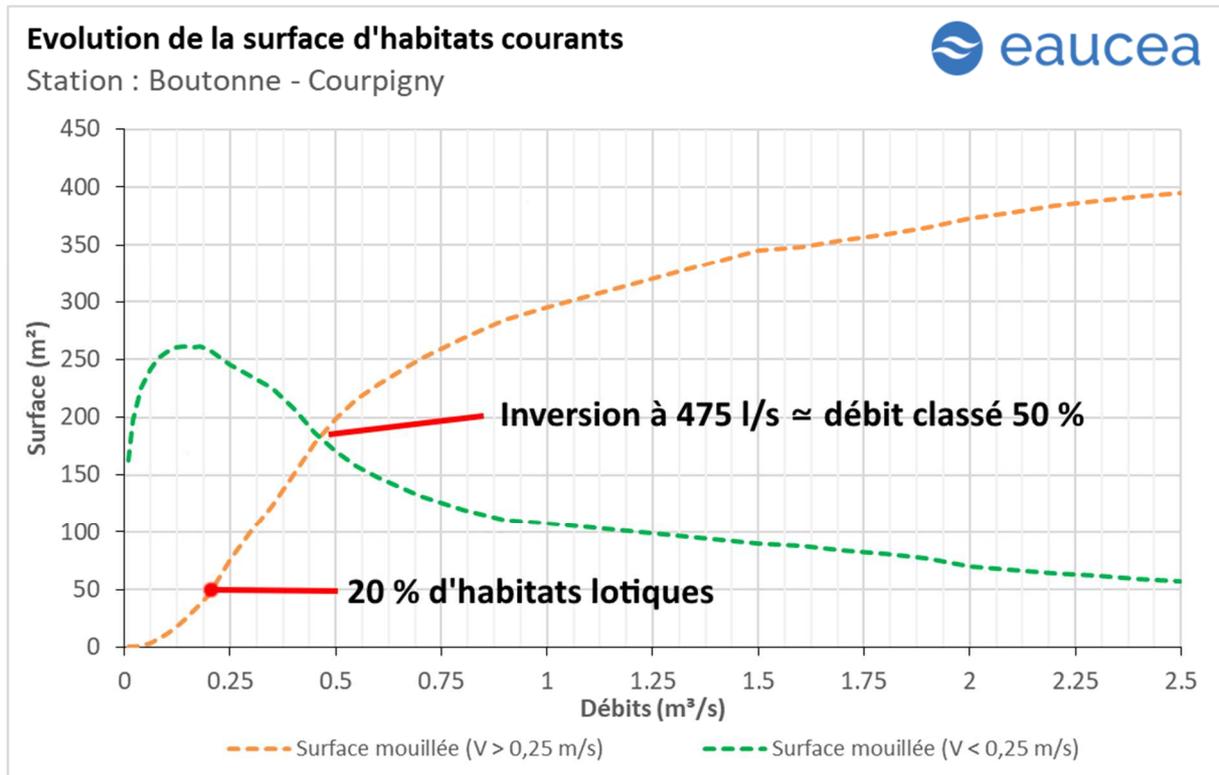


Figure 9 Exemple de traitement de la donnée vitesse

1.2.3 Connexion du cours d'eau avec des habitats particuliers

A voir au cas par cas en fonction de la pertinence. Il s'agit par exemple d'apprécier l'accessibilité à des bras morts, prairies humides, sous-berges, ... Ce paramètre est retranscrit de manière qualitative selon plusieurs catégories à définir au cas par cas : connecté, peu connecté, déconnecté, ... Il peut concerner autant la période d'étiage (connectivité à des habitats comme par exemple des sous-berges, des annexe hydraulique, ...) que des périodes plus humides (connectivité à une frayère potentielle, une zone humide, ...).

1.2.3.1 Connectivité longitudinale des milieux naturels : un enjeu pour l'étiage

La circulation des poissons est l'un des enjeux garantissant le bon fonctionnement écologique des milieux.

Pour les poissons, cette connexion est parfois impossible au niveau des faciès de radier naturel quand l'épaisseur de l'eau est trop faible ou nulle. Cette épaisseur est très fortement liée au débit.

Dans un milieu naturel peu impacté par l'activité humaine, les espèces (biodiversité et abondance) sont moins impactées par des situations de connectivité non optimales. Cependant, dans un milieu perturbé et soumis à de multiples pressions anthropiques (altération de l'hydromorphologie et de la qualité des eaux, vulnérabilité aux fluctuations des prélèvements, ...), la connectivité des habitats naturels est un facteur de sécurité pour la faune aquatique, permettant le déplacement pour échapper à des conditions limitantes ou pour la recherche de nourriture.

La connectivité décrit le niveau de liaison entre les différents tronçons d'eau profonde de la rivière, par franchissement des radiers naturels (haut fond). Elle ne concerne pas seulement l'accès aux

frayères, le poisson doit pouvoir se déplacer à tout moment pour se nourrir, se cacher, s'oxygéner ou s'échapper en cas de dégradation des habitats et notamment en période de bas débits.

Rappelons que la présente étude ne vise pas à corriger par le débit l'effet d'obstacle piscicole au niveau des ouvrages artificiels (seuils) en cours d'eau, même si l'on peut prendre en compte le débit d'alimentation des passes à poissons.

La profondeur nécessaire au franchissement des radiers par les poissons a été déterminée en s'appuyant sur le rapport ICE (Indice de continuité écologique) de l'ONEMA (Baudoin & al., 2014). Ce guide s'appuie, pour chaque espèce, sur les exigences de nage. Ces exigences diffèrent selon l'espèce ou le stade de développement en matière de tirant d'eau nécessaire à la nage. Ce tirant d'eau est fonction de la hauteur du poisson (h_p). Cette hauteur peut être calculée selon la longueur du poisson (L_p) et son facteur de forme (k) selon la formule suivante : $h_p = k \times L_p$. Le tirant d'eau (h) nécessaire au franchissement d'un radier par un poisson est lui calculé selon la formule suivante : $h = 1,5 \times h_p$. La Figure 10 illustre les variables utilisées pour définir le tirant d'eau nécessaire à la nage.

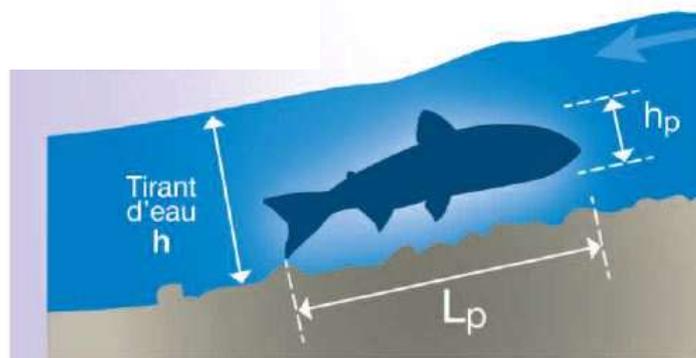


Figure 10 : Tirant d'eau nécessaire pour le franchissement des poissons, issu du guide ICE de l'ONEMA (2014)

Seul le tirant d'eau minimal de la méthode ICE est utilisé pour définir les conditions requises pour la nage, par stade et par espèce pour garantir le déplacement des poissons au sens de la connectivité des milieux. Cet indicateur de nage n'est pas exclusivement dédié à la méthode ICE. Son utilisation se justifie pleinement car il s'agit de définir les conditions qui régissent les déplacements des espèces à des stades différents. Cet indicateur ne fait que définir, en fonction de la taille du poisson, la lame d'eau minimale pour qu'un individu à un stade donné puisse se déplacer. La question des déplacements des poissons ne peut se résumer à la seule période de migration reproductive.

Interprétation

Une cartographie permet d'identifier les secteurs susceptibles de constituer une barrière physique au déplacement des poissons. Ces barrières se situent en général dans les zones de radier qui séparent deux zones plus profondes.

La méthode consiste à explorer les débits qui encadrent la fermeture du dernier point de passage potentiel. Compte tenu de la fiabilité relative des modélisations et des risques non maîtrisables de blocage par une branche par exemple, la valeur retenue doit être prise plutôt par excès.

Le tableau suivant, issu du guide ICE, précise le tirant d'eau minimal nécessaire pour différentes espèces piscicoles.

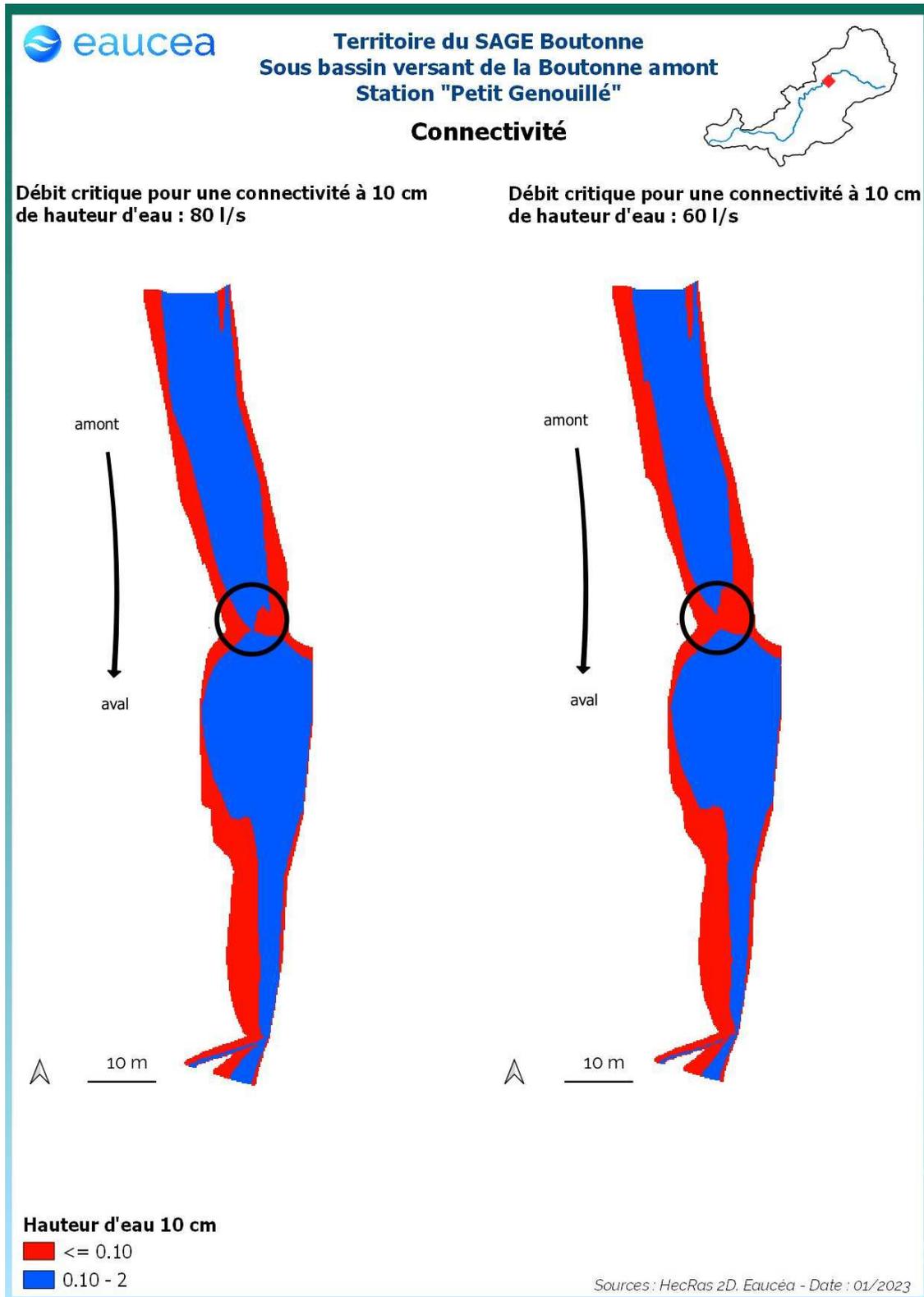


Figure 11 Exemple d'analyse cartographique du risque de déconnexion longitudinale

Groupe ICE	Espèces	Especies sauteuses	Charge minimale sur l'obstacle (Hmin)
1	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	Oui	0,20 m
	Truite de mer ou de rivière [50-100] (<i>Salmo trutta</i>)		
2	Mulets (<i>Chelon labrosus</i> , <i>Liza ramada</i>)	Oui	0,10 m
3a	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	Non	0,15 m
3b	Alose feinte (<i>Alosa fallax fallax</i>)		0,10 m
3c	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)		
4a	Truite de rivière ou truite de mer [25-55] (<i>Salmo trutta</i>)	Oui	0,10 m
4b	Truite de rivière [15-30] (<i>Salmo trutta</i>)		0,05 m
5	Aspe (<i>Aspius aspius</i>)	Non	0,15 m
	Brochet (<i>Esox lucius</i>)		
6	Ombre commun (<i>Thymallus thymallus</i>)	Oui	0,10 m
7a	Barbeau fluviatile (<i>Barbus barbus</i>)	Non	0,10 m
	Chevaine (<i>Squalius cephalus</i>)		
	Hotu (<i>Chondrostoma nasus</i>)		
7b	Lamproie fluviatile (<i>Lampetra fluviatilis</i>)		0,05 m
8a	Carpe commune (<i>Cyprinus carpio</i>)	Non	0,25 m
8b	Brème commune (<i>Abramis brama</i>)		0,15 m
	Sandre (<i>Sander lucioperca</i>)		
8c	Brème bordelière (<i>Blicca bjoerkna</i>)		0,10 m
	Ide melanote (<i>Leuciscus idus</i>)		
	Lotte de rivière (<i>Lota lota</i>)		
	Perche (<i>Perca fluviatilis</i>)		
8d	Tanche (<i>Tinca tinca</i>)		0,05 m
9a	Vandoises (<i>Leuciscus sp hors Idus</i>)	Non	0,05 m
	Ablette commune (<i>Alburnus alburnus</i>)		
	Ablette sprilin (<i>Alburnoides bipunctatus</i>)		
	Barbeau méridional (<i>Barbus meridionalis</i>)		
	Blageon (<i>Telestes souffia</i>)		
	Carassin commun (<i>Carassius carassius</i>)		
	Carassin argenté (<i>Carassius gibelio</i>)		
	Gardon (<i>Rutilus rutilus</i>)		
	Rotengle (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)		
Toxostome (<i>Parachondrostoma toxostoma</i>)			
9b	Apron (<i>Zingel asper</i>)		
	Chabots (<i>Cottus sp</i>)		
	Goujons (<i>Gobio sp</i>)		
	Grémille (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)		
	Lamproie de Planer (<i>Lampetra planeri</i>)		
	Loche franche (<i>Barbatula barbatula</i>)		
	Loche de rivière (<i>Cobitis taenia</i>)		

Figure 12 : Tirant d'eau minimum pour plusieurs espèces de poissons sur des ouvrages de franchissement, issu du guide ICE de l'ONEMA (2014)

1.2.3.2 Connectivité latérale : un enjeu pour les hautes eaux hivernales et de printemps

Si les barrages dans les cours d'eau constituent à l'évidence un obstacle visible à la continuité longitudinale, la question des connexions latérales est encore peu explorée. C'est un enjeu de moyennes et hautes eaux qui dépend beaucoup de l'histoire hydromorphologique du cours d'eau. « Lorsque le débit augmente, l'eau remplit le chenal et déborde en franchissant ses berges ; cela se produit statistiquement pour une période de retour de la crue de 1,5 à 2 ans sur les rivières en équilibre. Le débordement peut emprunter d'anciens chenaux par des points bas ouvert dans les berges¹ ». Ces chenaux peuvent être d'anciens méandres ou des canaux artificiels (zones de marais et basse plaine) ou même des petits affluents (sous influence du remous hydraulique du cours d'eau principal). Ces zones inondées et souvent très productives contribueraient potentiellement à la richesse quantitative des populations piscicoles d'un système naturel. Cependant l'aménagement séculaire des rivières et des terres agricoles riveraines a fortement réduit cette possibilité d'expansion latérale et a souvent modifié les chemins de l'eau et les zones de stagnation.

Sur chaque station une lecture de terrain permet d'apprécier la réalité de cet enjeu.

1.2.4 Débordement en lit majeur et reproduction du brochet

Rappelons que la modélisation du champ d'expansion des crues nécessiterait des investigations topographiques du lit majeur et des calages hydrauliques spécifiques à des modèles de crue. Ce travail est généralement non prévu par le cahier des charges. En revanche, le débit de premier débordement peut être calculé. La fréquence et la durée des périodes de débordement pourraient être calculées à partir des chroniques hydrologiques. Ces conditions d'inondabilité pourront être rapprochées des exigences écologiques du brochet. L'occupation des sols des terrains riverains susceptibles d'être inondés sera évaluée à partir de photos aériennes et lors des visites de terrain.

Plusieurs indicateurs peuvent ainsi être pressentis :

- Grand type de végétation inondée (prairie, herbiers d'hélophyte, sol cultivé, boisement, ...), qui détermine notamment l'attractivité du substrat de reproduction pour le brochet ;
- Hauteur d'eau : le brochet nécessite un minimum de hauteur d'eau pour aller se reproduire. D'après les sources, cette hauteur d'eau varie de 10 à 30 cm (les valeurs comprises entre 20 et 30 cm étant celles qui ressortent le plus). D'après le guide ICE, le tirant d'eau nécessaire à la nage du brochet adulte est de 15 cm ;
- La surface inondée ou le linéaire de fossé enherbé mis en eau ;
- La durée de mise en eau. En effet, la frayère doit rester en eau suffisamment longtemps pour que les œufs aient le temps d'éclore et que les alevins arrivent en âge de s'émanciper. Le temps de développement est fonction de la température de l'eau (plus cette dernière est élevée et plus le développement est rapide). Ce temps de développement est exprimé en degrés/jours correspondant à un laps de temps pondéré par la température. Il est considéré que le temps nécessaire à ces deux phases soit de 250° jours (soit 25 jours à 10°C). Il est donc régulièrement admis que la durée minimale d'ennoiement d'une frayère fonctionnelle est d'environ 1,5 mois mais qu'une immersion plus longue est bien sûr plus sécurisante pour la portée. Cette durée peut être étudiée via la relation entre le débit nécessaire à l'inondation des frayères et l'hydrologie du bassin.

Pour la Seudre, une approche hydraulique spécifique est proposée. Ce bassin bénéficie d'une modélisation des crues en 1D, suffisante pour identifier les seuils de contrôle hydraulique. Une

¹ « La gestion écologique des rivières françaises » p 92 Jean Paul Bravard, Christian Lévêque

seconde étape consiste à identifier des secteurs qui sont potentiellement favorables à la reproduction du brochet. Ces sites ont été repérés par le SMB Seudre. La modélisation hydraulique couvre alors le lit mineur et le lit majeur dans la zone de débordement potentiel ainsi que différentes zones d'accumulation (fossés).

Le modèle hydraulique est appliqué en régime transitoire avec un calage qui s'appuie sur l'expertise du site, les données du modèle d'inondation et des vérifications sur des événements récents. Le débit de débordement est calculé ce qui permet d'identifier les séquences hydrologiques observées dans le passé et qui auraient conduit à des débordements longs. Les hydrogrammes historiques permettent de tester la dynamique d'inondation et donc d'apprécier les surfaces, les profondeurs et les durées caractéristiques du champ inondé ainsi que les chemins de l'eau. Cette approche est confrontée à quelques limites méthodologiques puisque le modèle hydraulique ne gère pas la percolation et donc la pérennité des stagnations.

Ces éléments sont confrontés aux exigences écologiques du brochet. Une analyse interannuelle permet alors de décrire les épisodes favorables et leurs fréquences.

La méthode proposée est de suivre différentes étapes représentées dans le logigramme ci-dessous.

Pour chaque site il faut expertiser par modélisation ou observation (plus aléatoire) les relations hydrauliques entre la rivière et les secteurs pouvant être connectés (lit majeur, chenaux, bras mort, etc..). Ces milieux sont caractérisés vis-à-vis de leur fonctionnalité potentielle en tant que frayère (profondeur, vitesse de courant, connexion au cours d'eau, etc..). Les valeurs de débit caractéristique sont alors relevées.

L'analyse hydrologique vérifie que ces débits sont effectivement constatés durant la période biologiquement favorable de février à avril et recense la durée des épisodes favorables et la fréquence en année. Seuls les épisodes de plus de 45 jours seront alors conservés.

En fonction de cette analyse le diagnostic conclue à une situation favorable et conserve le **débit plancher hydraulique** comme débit objectif ou au contraire constate des incompatibilités.

L'analyse est alors prolongée d'un deuxième niveau de recommandation, en mode dégradé et qui suppose une intervention physique sur le lit majeur pour favoriser l'inondation des milieux préidentifiés. Afin de garder le maximum de naturalité au processus, on s'appuie sur l'analyse hydrologique pour repérer les débits qui répondent aux seuls critères de fréquence interannuelle et de durée. Ce **débit plancher hydrologique** devient le débit biologique et peut servir au dimensionnement des travaux en faveur de la reproduction du brochet.

Logigramme pour définir les débits biologiques «frayères à brochet »

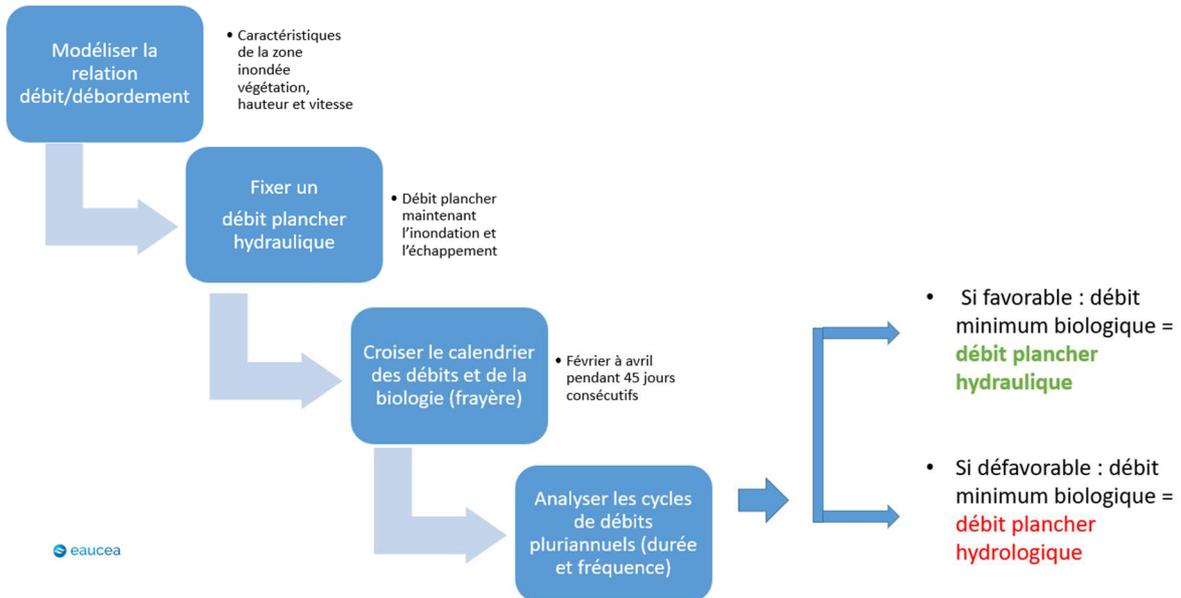


Figure 13 Logigramme appliqué pour les frayères à brochet de la Seudre

1.2.5 Dynamique sédimentaire : Critères hydrauliques pour l'auto-entretien des cours d'eau, des frayères et la vulnérabilité à l'homogénéisation des faciès

1.2.5.1 Principes

La remobilisation des fractions grossières du lit participe à la régénération de faciès souvent favorables à la biodiversité (séquence profond radier) et au mécanisme d'autoépuration. Le décolmatage du fond par la reprise des sédiments les plus fins, favorise des échanges biologiques et chimiques entre les eaux courantes et les eaux interstitielles du lit.

L'écosystème tirerait profit d'une mobilité du sédiment qui s'exerce en général en période de crue.

Selon JP Bravard et C.Lévêque « *En dessous d'une puissance fluviale spécifique de 20 W/m² les particules grossières composant le fond des rivières ne sont pas significativement mobilisées par les crues* ». Ce seuil est sans doute élevé pour les cours d'eau étudiés mais la puissance fluviale sera cependant calculée au travers des modèles hydrauliques. Néanmoins, nous ne pourrions pas en déduire simplement des éléments de décision car bien d'autres facteurs interviennent (flux sédimentaire réel, concrétionnement du fond en milieu majoritairement calcaire, blocages de l'érosion des berges,).

L'objectif est de vérifier si dans le cycle hydrologique « normal » du cours d'eau, les débits d'hiver sont suffisants pour auto-entretenir grâce à l'érosion, les faciès les plus profonds. Ce point est important car ces trous d'eau constituent souvent le dernier refuge pour la faune en situation d'étiage extrême. Une faible puissance érosive, traduira une forte vulnérabilité au comblement par des sédiments fins (vase, limons et sables). Le calcul se fonde sur la modélisation hydraulique pour un débit de hautes eaux.

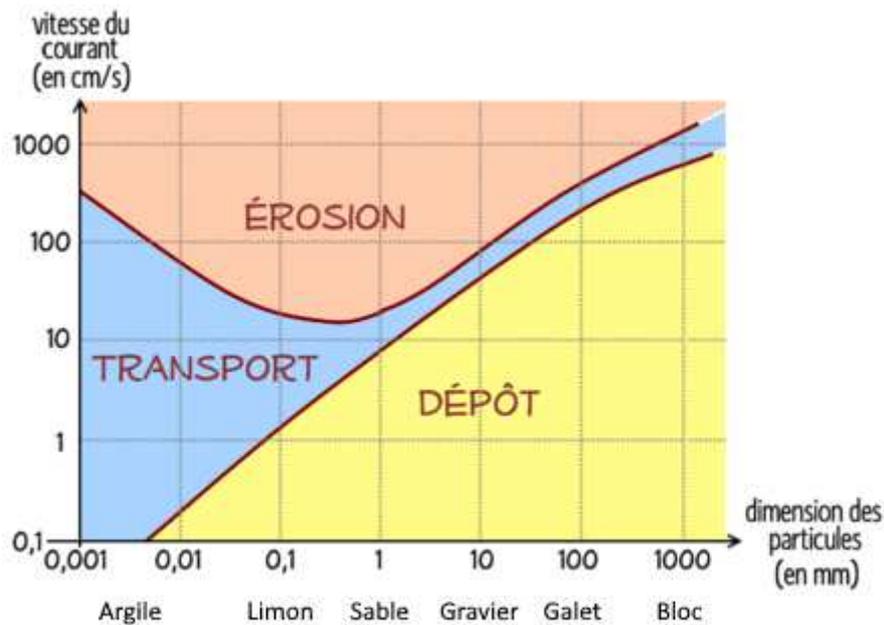


Figure 14 : Liens entre granulométrie, vitesse d'écoulement

A l'échelle spatiale des particules, le paramètre hydraulique permettant de définir les conditions de leur mise en mouvement est la contrainte de cisaillement au fond du lit. Comme détaillé par Malavoi et Bravard (Malavoi & Bravard, 2010), il existe en théorie un seuil à partir duquel les particules sont mises en mouvement. Sous l'hypothèse d'un écoulement graduellement varié, le **débit d'entraînement** peut être déduit de cette contrainte connaissant la hauteur d'eau, le coefficient de Strickler et la pente du lit.

La capacité de transport sédimentaire d'un cours d'eau est proportionnelle à la contrainte de cisaillement τ (notée aussi contrainte de frottement, exprimée en Pa) exercée par l'écoulement sur le fond du lit. Le débit nécessaire à la mise en mouvement du substrat par charriage est exprimé par le critère de Shields. La relation ci-dessous représente, dans le cadre d'une modélisation filaire 1D des écoulements, le **paramètre de Shields** :

$$\tau^* = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D}$$

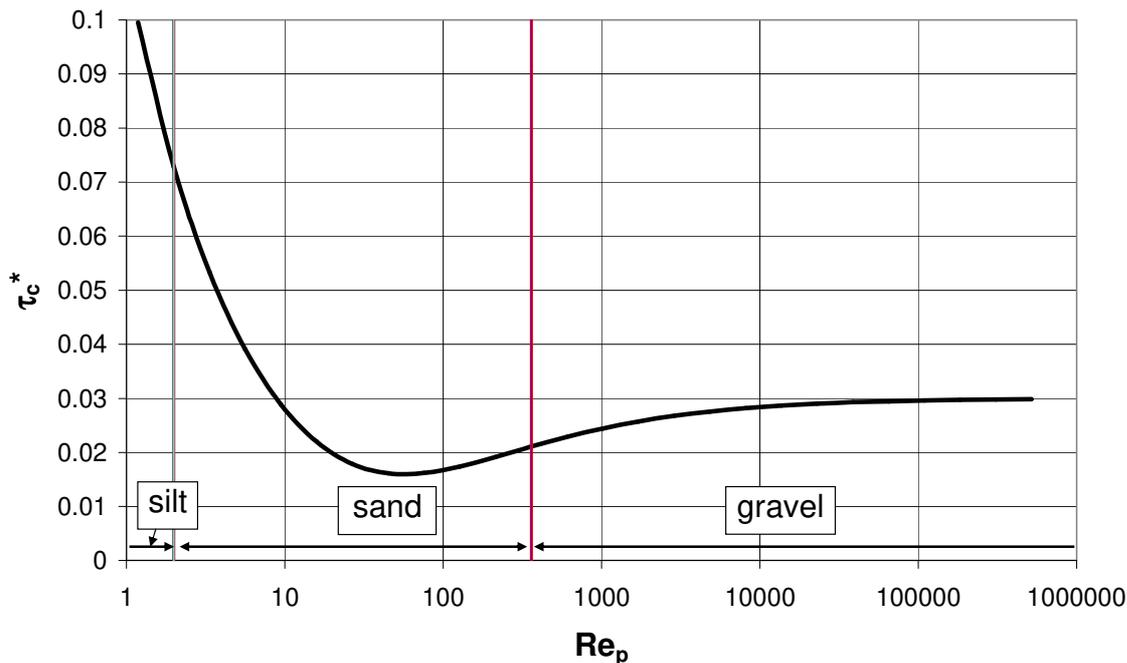
Où :

- g est l'accélération due à la gravité
- ρ_s, ρ sont respectivement la masse volumique des particules et de l'eau
- D le diamètre des particules

Si la valeur de τ^* dépasse un certain seuil alors les particules sont entraînées et le charriage peut commencer.

1.2.5.2 Interprétation

La prise en compte du diamètre des particules dans l'établissement des valeurs seuil du paramètre de Shields fait intervenir le nombre de Reynolds particulaire. Ce nombre lie le diamètre des particules et la nature turbulente de l'écoulement au fond du lit.



Les sédiments les plus cohésifs sont les argiles et limons qui ont tendance à se tasser et résistent mieux à l'érosion hydraulique. Bien que légers, ces sédiments une fois installés, s'avèrent finalement résistants à l'érosion. Leur accumulation est déjà le signe d'une dégradation notable et difficilement réversible de l'habitat. Il convient donc de limiter la durée de ces phases favorables. Plusieurs débits caractéristiques du régime hydrologique sont étudiés.

Pour l'analyse, nous avons choisi d'étudier la mobilité des limons et sables, en considérant que si des sables sont mobilisables régulièrement alors le dépôt durable des vases sera contrarié et l'équilibre hydromorphologique préservé. Le calcul peut être élargi et testé à des fractions sédimentaires plus grossières de type gravier qui correspondent mieux à des conditions favorables aux frayères (Truites) et à certains types d'habitats (vandoise, chabot, etc..). En fonction des résultats, cette hypothèse sera retenue ou adaptée.

En présence de la Truite fario, c'est une condition qui doit être particulièrement suivie dans les phases de transition automnale qui précède notamment la période de fraie.

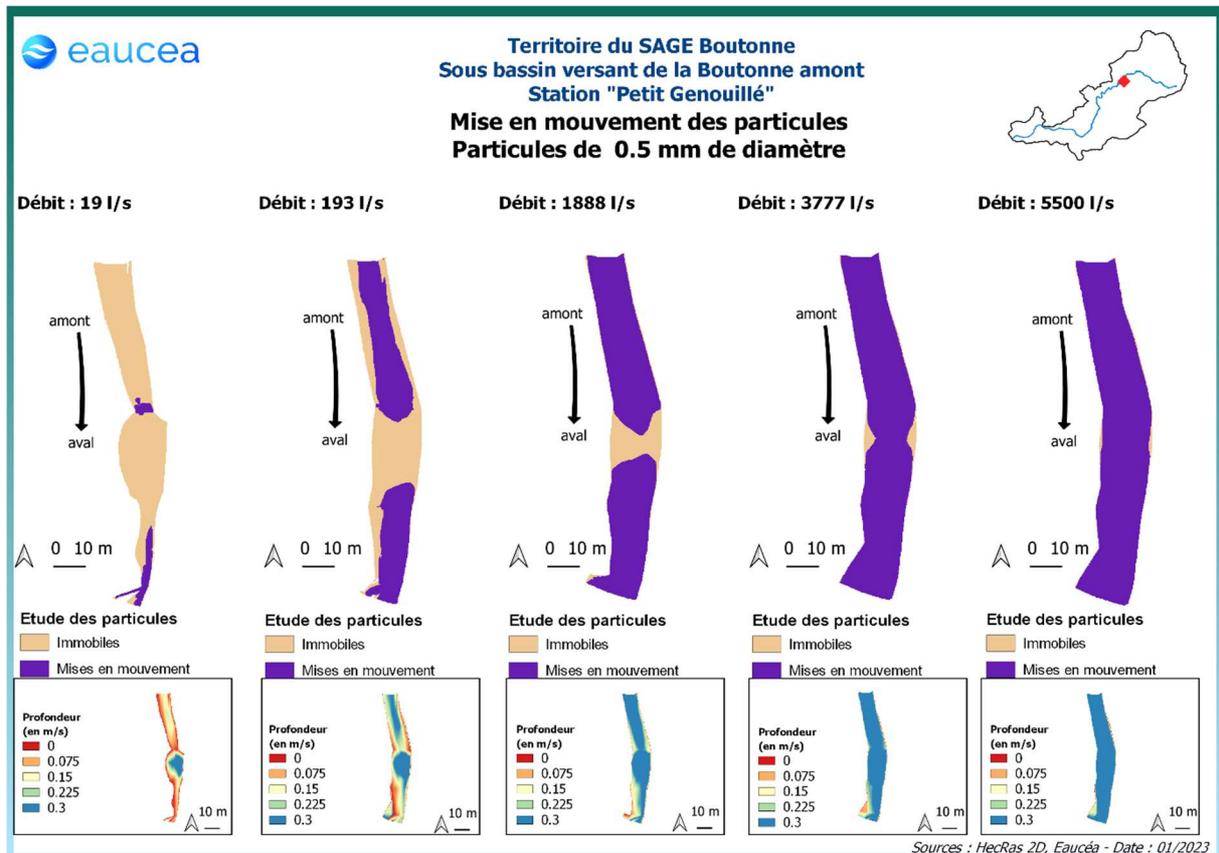


Figure 15 Exemple de cartographie des mouvements sédimentaires

1.2.6 Les frayères en lit mineur : un enjeu périodique

La question des frayères est particulière car elle croise deux critères sensibles au débit :

- Elle doit présenter des paramètres hydrauliques propices à l’acte de fraie et à la survie des œufs et alevins et de ce point de vue répond à des critères de type microhabitat. Il n’existe aujourd’hui des SPU fraie que pour les salmonidés. Ces modèles biologiques seront appliqués sur les rivières qui abritent des salmonidés.
- Elle doit aussi présenter des caractéristiques granulométriques qui dépendent souvent de la dynamique sédimentaire notamment pour les salmonidés. La régénération du substrat s’effectue à la faveur de débits souvent élevés à forte énergie. Ils ne doivent pas forcément être concomitant avec la période de fraie mais idéalement doivent la précéder. C’est donc souvent un enjeu de début d’automne dans les phases dites de transition hydrologique.

Pour les autres espèces l’analyse sera plus qualitative et réalisée au cas par cas. Globalement nous serons amenés à distinguer les grandes espèces et les petites, moins exigeantes en termes de surface favorable. Le second critère sera celui des supports de ponte (espèces lithophile ou phytophiles) et des conditions hydrauliques identifiées dans la littérature scientifique.

Il est à noter que les périodes de frai correspondent à des périodes généralement hors basses eaux (automne, hiver et printemps). Ces enjeux concernent peu la période d’été.

1.2.7 Qualité des eaux

L'analyse de la qualité des eaux est essentielle à la description de l'état du milieu selon les critères de la directive européenne. Il s'agit de décrire les paramètres de la qualité actuelle sur la base des données publiques regroupées par l'Agence de l'Eau.

Les paramètres qui déclassent la qualité du cours d'eau font l'objet d'une attention particulière. D'une manière générale, deux grands types de pollution sont à distinguer dans les milieux aquatiques :

- **Les pollutions diffuses** sont causées par le transfert des polluants présents dans les sols agricoles (nitrates, pesticides, ...). Elles proviennent généralement de l'ensemble du bassin versant. Leur intensité, variable dans le temps, dépend notamment du type de sol, du niveau de traitement et de la pluviométrie. Ces polluants peuvent, selon les cas de figure, être entraînés dans le cours d'eau par ruissellement superficiel (phénomènes d'érosion des sols) ou via les aquifères souterrains (via les eaux d'infiltration). Le manque ou l'absence de ripisylve le long des cours d'eau, les destructions et dégradations du contexte bocagers et des zones humides sont des facteurs aggravant la pollution diffuse, ces milieux jouant un rôle de « filtres » pour les eaux de ruissellement. Dans un système karstique comme celui de la majorité des secteurs amont des bassins versant charentais, la pollution diffuse passe essentiellement par les aquifères souterrains avant de rejoindre les cours d'eau au niveau des sources.

En conséquence, les principaux flux de pollutions diffuses par ruissellement correspondent à des épisodes de hautes eaux alors que les flux issus des eaux souterraines sont strictement proportionnels aux apports hydrauliques de ces nappes et donc au débit du cours d'eau. **Une meilleure gestion des prélèvements n'est donc pas susceptible de diluer d'avantage ces pollutions.** Néanmoins, en permettant le maintien d'apports quantitatifs à la rivière, la gestion quantitative constitue un facteur important pour le maintien des équilibres biologiques des milieux aquatiques. Ces derniers peuvent être à l'origine d'une autoépuration importante, dont un des moteurs principaux est l'oxygénation de l'eau (explicité plus en détail plus bas). Ce paramètre, sur lequel le débit peut avoir une influence, est en effet un réactif essentiel dans les processus de dégradation de la matière organique et d'adsorption du phosphore pour le rendre peu biodisponible. A contrario, certains composés comme les nitrates sont dégradés via des processus de réduction survenant en absence d'oxygène (réaction anaérobie).

La gestion quantitative au sens gestion des prélèvements n'est donc pas un levier d'action direct pour traiter la problématique des pollutions diffuses sauf à imaginer des apports par des ressources extérieures de meilleure qualité. Les pollutions diffuses ont davantage vocation à être réduites à la source et en agissant sur les mécanismes de transfert sur les bassins versant (lessivage et érosion).

- **Les pollutions ponctuelles** proviennent de rejets polluants dans le cours d'eau. Ces rejets peuvent être d'origines diverses : domestiques (STEP, ANC), industrielles ou agricoles (IOTA, ICPE). Une vaste gamme de polluants peut être concernée (nutriments, métaux, hydrocarbures, ...). Parmi les polluants les plus courants peuvent être mentionnés les molécules phosphorées, l'ammonium, les matières organiques, ... Ces molécules peuvent avoir des effets divers (désoxygénation de l'eau lors de processus de réduction, toxicité, eutrophisation des milieux aquatiques, ...).

En cas de pollution de ce type, il convient évidemment de procéder dans un premier temps à la mise en place du traitement le plus efficace possible du rejet. Toutefois, les procédés de traitement peuvent s'avérer dans certains cas insuffisants pour abattre l'intégralité de la

pollution, induisant une pollution résiduelle. Dans ce type de cas, il peut s'avérer nécessaire de garantir le maintien d'un débit minimum dans le cours d'eau récepteur. Ce débit a donc pour but de sécuriser le potentiel de dilution du cours d'eau dans les secteurs vulnérables et favoriser l'autoépuration biologique par les milieux aquatiques eux-mêmes. Ce type de mesure permet d'atténuer l'effet de la pollution sur les communautés aquatiques.

La plupart des pollutions diffuses ne sont donc pas prises en considération directement pour établir le débit biologique. Il s'agira essentiellement de considérer l'oxygénation et les pollutions ponctuelles.

Comme évoqué précédemment, la teneur en oxygène dissous d'un cours d'eau est un paramètre qualitatif essentiel pendant la période d'étiage, notamment pour des cours d'eau lents.

Au fur et à mesure de son avancement dans le linéaire, le bilan en oxygène dissous d'une masse d'eau est fonction de plusieurs phénomènes de consommations...

- la consommation d'oxygène par dégradation de la matière organique ;
- la consommation d'oxygène par nitrification de l'ammoniac en nitrate ;
- la consommation d'oxygène des boues à l'interface eau – sédiment du fond du cours d'eau ;
- la consommation d'oxygène par respiration du phytoplancton et des algues.

... et de phénomènes d'apports d'oxygène :

- la réoxygénation via l'interface eau – atmosphère ;
- la production d'oxygène par photosynthèse (algues et phytoplancton) efficace en journée ;
- la réoxygénation par brassage de l'eau dans les secteurs courants (radiers, ...).

Les phénomènes précédents ont tendance à appauvrir en O₂ le fond du cours d'eau et à enrichir la proche surface. Ce déséquilibre dans les cours d'eau est en général effacé par la diffusion de l'oxygène des zones à forte concentration vers les zones à faible concentration. Les flux d'O₂ au travers de la tranche d'eau sont inversement proportionnels au gradient de concentration, et fonction du coefficient de mélange de l'oxygène. Plus ce coefficient est fort, plus les échanges sont rapides.

Dans des secteurs profonds (fosse, bief de moulin ...), une différence parfois marquée est observable entre la teneur du fond et celle de la surface. Cette différence est due au temps de diffusion de l'oxygène dissous particulièrement long dans les fosses profondes. Ce phénomène est comparable au sucre dissous dans du café : sans mélange, le sucre n'est pas homogénéisé dans la tasse...

Le potentiel de mélange est variable et dépend notamment pour des petits cours d'eau, de la turbulence de l'écoulement. Il est mesuré au travers de l'indicateur cisaillement qui s'exprime en N/m². **Nous considérons par expérience, qu'un risque apparaît lorsque ce coefficient est inférieur à 0,002 N/m².**

2 MODALITE D'INTERPRETATION DES RESULTATS : METHODE DES SCENARIOS

L'interprétation des résultats sera l'étape finale de la phase de détermination des débits biologiques.

2.1.1 Principes

Chaque situation de références hydrologiques, hautes eaux ou étiages, est associée à un type d'enjeu spécifique décrit par des indicateurs (métriques). Des relations peuvent être trouvées montrant par exemple qu'une fonction écologique peut être plus ou moins sécurisée par tel ou tel débit. Néanmoins, les variations de débit sont constantes dans les milieux naturels et les écosystèmes sont adaptés à ces fluctuations. Il n'y a donc pas un débit biologique unique par fonction, mais plutôt une gamme de débits qui permet le bon état des cours d'eau.

La méthode des scénarios consiste donc à évaluer pour chaque fonction écologique les pertes et gains dépendant de scénario de débit. Le modèle hydraulique et les modèles biologiques produisent donc des indicateurs qui sont contextualisés en fonction de la période et du croisement entre cycle biologique et cycle hydrologique. Des variations autour des valeurs hydrologiques habituelles pour la période (scénario de référence) peuvent être simulées et il est possible de quantifier la sensibilité des indicateurs à ces fluctuations.

Trois cas de figures peuvent se rencontrer pour chaque fonction :

- L'indicateur est « constant » dans la gamme de débits testés. Il n'est donc pas sensible aux variations habituelles et ne constitue pas un paramètre discriminant.
- L'indicateur est « variable » dans la gamme de débits testés et cette variation est continue. L'indicateur est donc sensible aux variations habituelles et constitue un paramètre à prendre en compte. Ces variations sont exprimées en relatif (pourcentage de perte ou de gain par rapport au scénario de référence). Des plages de débits critiques, bons ou très bons peuvent être identifiées.
- L'indicateur présente une rupture dans la gamme de débits testés (exemple du débit de débordement, de la connectivité). Le débit critique est alors clairement identifié.

En général ces trois cas de figure cohabitent et il est donc important de les confronter. Pour cela, un tableau appelé « matrice comparative » est réalisé pour chaque phase importante (étiage, hautes eaux, crues). Cette étape se solde par la proposition de plages de débits biologiques par période de l'année. Au-delà d'une aide à la décision pour orienter le choix d'une plage de débit biologique, elle permet aussi d'évaluer les conséquences d'une crise climatique ou d'une décision de gestion à venir : autorisation d'un prélèvement, effet d'une économie d'eau, etc. Elle permet donc de mesurer la sensibilité du milieu aux variations de débits. Elle permet ainsi de se faire une idée de la résilience des milieux notamment vis-à-vis des effets attendus des changements climatiques (diminution de l'hydrologie, augmentation de la durée et de l'intensité des étiages, ...). Elle facilite la communication sur les enjeux avec des acteurs non experts.

Un exemple de cette matrice est proposé ci-dessous pour la période d'étiage. Elle offre la possibilité de comparer plusieurs scénarios de débit et d'en visualiser les effets sur divers paramètres (à déterminer au cas par cas en fonction de la pertinence dans le contexte). Il peut notamment s'agir de la surface potentiellement favorable aux espèces et stades ontogéniques cibles ; de la connectivité des

milieux ; de la surface d'habitats courants, de la connexion à d'éventuels milieux annexes (bras secondaires, zones humides, ...), de l'ennoiement des frayères, ...

Matrice		Cayenne			Hautes-eaux et transition									
Niveau	Critère	Code	Espece	Stade	Débit de référence de la période									
		Débit en m3/s			0.04	0.05	0.400	0.45	0.47	0.50	0.60	0.80	1.00	2.00
Principal	Hydrologique	% des débits classés			82%	81%	38%	35%	34%	32%	26%	17%	10%	2%
Principal	Habitat	BRS_ADU	Brochets	Adulte	-9%	-7%	0%	-3%	-4%	-5%	114	-17%	-23%	-35%
Principal	Habitat	CHA_ADU	Chabot	Adulte	-64%	-59%	0%	1%	2%	2%	15	2%	-2%	-32%
Principal	Habitat	VAS_ADU	Vairon	Adulte	-42%	-39%	0%	2%	3%	3%	277	8%	9%	2%
Principal	Habitat	VAS_IUV	Vairon	Juvenile	-13%	-11%	0%	-2%	-2%	-3%	185	-12%	-17%	-32%
Principal	Vitesses	Milieu rapide > 25 cm/s			0%	0%	8%	9%	10%	11%	13%	22%	31%	63%
Principal	Surface mouillée	% du maximum			45%	46%	67%	67%	68%	68%	69%	71%	73%	80%
Complémentaire	Circulation au niveau des radiers	Gros poissons			non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
		Petits poissons			oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Synthèse indicateurs principaux														
Habitat	SPU													
Habitat	Habitats rapides													
Habitat	Surface mouillée													
Habitat	Connectivité	Longitudinale												
Résultat							Plage de débits biologiques							

Figure 16 : Exemple d'une matrice comparative pour réaliser une approche par scénario

2.1.2 Synthèse des indicateurs à prendre en compte selon la période

Les tableaux ci-dessous recensent des indicateurs qui peuvent être pris en compte pour la construction des matrices en fonction de chaque période hydrologique x biologie. Ce tableau sera utilement complété durant l'avancement des travaux par les partenaires du groupe technique. Rappelons que certaines propositions restent exploratoires y compris pour le monde de la recherche. Elles s'appuient donc sur des approches de type expert.

		Saison	Eté	Automne
		Hydrologie dominante	étiage	étiage/recharge
Analyse piscicole				
Critère	Espèce	Stade de développement	Eté	Automne
Habitat (SPU)	Toutes espèces piscicoles cibles	Tous stades	SPU en m ²	SPU en m ²
Habitat de reproduction	Selon période	Adulte		SPU en m ² (salmonidés)
Habitat de sous-berge ennoyé	Toutes espèces + invertébrés	Tous stades	Linéaire en m	Linéaire en m
Vitesses	Toutes espèces	Tous stades	Très faible / faible / moyen	Très faible / faible / moyen
Surface mouillée	Toutes espèces	Tous stades	Surface en m ²	Surface en m ²
Franchissabilité des radiers	Grandes espèces	Adulte	Oui/non	Oui/non
	Toutes espèces	Juvénile ou petites	Oui/non	Oui/non
Accessibilité aux annexes fluviales	Toutes espèces	Tous stades	Oui/non (enjeu prononcé sur espèces limnophiles)	Oui/non
Analyse qualité				
Paramètre	Enjeu	Objectif	Eté	Automne
Pression polluante	Toxicité, eutrophisation	Dilution	Enjeu fort	Enjeu fort
Oxygène dissous	Survie de la faune, auto-épuration	Brassage de l'eau suffisant	Enjeu fort (T°c)	Enjeu moyen
Analyse indicateurs bio				
Paramètre	Enjeu	Objectif	Eté	Automne
Invertébrés benthiques	Contraintes de fond du lit	Préservation et renouvellement de l'habitat, décolmatage	Enjeu secteurs courants	Enjeu secteurs courant et remobilisation substrat (crue)
Macrophytes	Contraintes d'arrachement (crue) et exondation (étiage)	Préservation et renouvellement de l'habitat	Enjeu secteurs courants	Enjeu secteurs courant et remobilisation substrat (crue)

Figure 17 : Matrice périodisée des indicateurs (partie 1)

		Saison	Hiver	Printemps
		Hydrologie dominante	Hautes eaux	Hautes eaux
Analyse piscicole				
Critère	Espèce	Stade de développement	Hiver	Printemps
Habitat (SPU)	Toutes espèces piscicoles cibles	Tous stades	SPU en m ²	SPU en m ²
Habitat de reproduction	Selon période	Adulte	Débordement (esocidés)	Micro-habitat favorable estimé en m ² (cyprinidés rhéophiles et phytophiles, lamproies, percidés, ...)
Habitat de sous-berge ennoyé	Toutes espèces + invertébrés	Tous stades	Linéaire en m	Linéaire en m
Vitesses	Toutes espèces	Tous stades	Peu d'enjeu	Peu d'enjeu
Surface mouillée	Toutes espèces	Tous stades	Surface en m ²	Surface en m ²
Franchissabilité des radiers	Grandes espèces	Adulte	Peu d'enjeu	Peu d'enjeu
	Toutes espèces	Juvenile ou petites espèces	Peu d'enjeu	Peu d'enjeu
Accessibilité aux annexes fluviales	Toutes espèces	Tous stades	Oui/non	Oui/non (enjeu prononcé sur espèces limnophiles)
Analyse qualité				
Paramètre	Enjeu	Objectif	Hiver	Printemps
Pression polluante	Toxicité, eutrophisation	Dilution	Peu d'enjeu	Peu d'enjeu
Oxygène dissous	Survie de la faune, auto-épuration	Brassage de l'eau suffisant	Peu d'enjeu	Peu d'enjeu
Analyse indicateurs bio				
Paramètre	Enjeu	Objectif	Hiver	Printemps
Invertébrés benthiques	Contraintes de fond du lit	Préservation et renouvellement de l'habitat, décolmatage	Enjeu remobilisation substrat (crue)	Enjeu remobilisation substrat (crue)
Macrophytes	Contraintes d'arrachement (crue) et exondation (étiage)	Préservation et renouvellement de l'habitat	Enjeu remobilisation substrat (crue)	Enjeu remobilisation substrat (crue)

Figure 18 : Matrice périodisée des indicateurs (partie 2)

2.1.3 Des spécificités à vérifier sur le terrain

Tous les indicateurs ne sont pas pertinents pour toutes les stations ; les travaux de terrain nous permettront d'en juger. On peut cependant évoquer :

- L'intensité des étiages ;
- Les espèces cibles, notamment présence de truites ou non ;
- L'hydromorphologie et les formes fluviales : lit en tresse de la Boutonne aval, connexion aux zones humides de la Seugne aval, chenaux simplifiés des cours d'eau calibrés tels que la Seudre ou l'Aume ;
- La présence d'herbiers aquatiques (affluent de la Seudre, Boutonne aval) ;
- La vulnérabilité aux épisodes de sous oxygénation.

3 RESUME DES ETAPES METHODOLOGIQUES DES ETUDES DE DEBITS BIOLOGIQUES

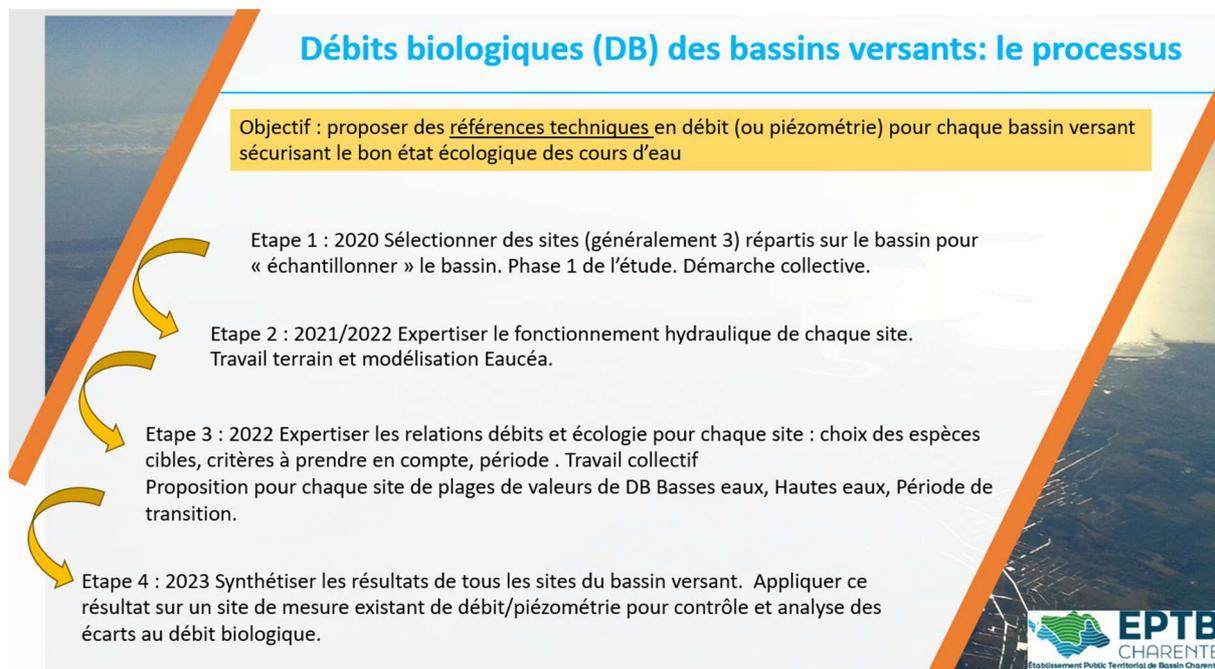
3.1 Processus d'ensemble

Pour chaque rivière à étudier, les travaux sont organisés selon plusieurs étapes.

Les trois premières étapes relèvent de l'état des lieux et préparent les travaux de terrain. Elles permettent de contextualiser les bassins versants étudiés et d'arrêter une stratégie pour choisir des stations expérimentales : nombres de stations à réaliser, secteurs à étudier, espèces à prendre en compte, cadrage hydrologique. Ces étapes qui s'apparentent à une monographie de la rivière et de son bassin versant, sont l'analyse de l'hydromorphologie, l'analyse de l'hydrologie naturelle et influencée par les usages et l'analyse de l'écologie et de la qualité des eaux (enjeux). Elles font l'objet d'un « rapport méthodologique » par sous bassin versant. Ce rapport vise à définir les enjeux spécifiques à chaque bassin afin d'y appliquer l'approche méthodologique qui est présentée dans le présent document. Cette phase se conclue par une quatrième étape qui présente les éléments méthodologiques d'entrée (stations d'études, gamme de débits sur la période basses et hautes eaux, espèces cibles).

La deuxième phase de l'étude, dite de détermination des débits biologiques, a fait l'objet de commande secteur par secteur en fonction des choix prioritaires des maîtres d'ouvrage. Elle couvre plus spécifiquement l'approche de terrain, les modélisations et l'analyse des résultats qui conduisent à la définition des débits biologiques. En pratique une plage de débit sera proposée pour les différentes périodes hydrologiques et biologiques. Le maître d'ouvrage dispose aussi des éléments d'appréciation de la sensibilité des résultats au choix proposé par le bureau d'études et validé en groupe technique.

Cette phase se conclue par le rapprochement de l'ensemble des résultats acquis sur le bassin versant. Il s'agit en effet d'aider les gestionnaires dans la fixation de valeurs guides qui satisfont au mieux les besoins observés dans les différents contextes. En général, un point de suivi hydrométrique proche de l'exutoire du bassin versant est retenu. La synthèse propose donc une transcription des différents résultats appliqués à ce point particulier qui peut être un point nodal au sens du SDAGE ou des SAGEs.



3.2 Etapes préparatoires (P)

3.2.1 Etape 1 – Analyse de l'hydromorphologie

De cette partie découle la caractérisation de l'ambiance générale des différents cours d'eau (habitats aquatiques) ainsi qu'une sectorisation hydromorphologique (découpage des cours d'eau en tronçons homogènes du point de vue de l'hydromorphologie). Cette sectorisation permet de déterminer sur quels tronçons il sera pertinent de mettre en place les stations de mesure des débits biologiques. L'objectif est de cibler les tronçons les plus intéressants pour étudier les besoins des milieux et de définir combien de stations de mesures sont à mettre en place (ce nombre étant fonction de la diversité des contextes à explorer).

3.2.2 Etape 2 - Analyse de l'hydrologie : un élément de contexte important

Les débits de référence évalués pour chaque station permettent de déterminer le calendrier hydrologique et la gamme de débits présentant un intérêt écologique (hautes eaux, étiages, période de transition).

L'analyse de l'hydrologie mesurée permet notamment de se faire une idée de la gamme de débits du cours d'eau notamment en période d'étiage (paroxysme pour la biologie) mais aussi pour le régime annuel y compris en hautes eaux. Les pressions quantitatives qui s'exercent sur le cours d'eau et les nappes connectées (prélèvement, modification du régime, etc.) permettent d'approcher, l'hydrologie naturelle à savoir l'hydrologie telle qu'elle serait sans influence humaine.

Les valeurs proposées par la carte « consensuelle » de l'IRSTEA (aujourd'hui INRAE)² servent aussi de guide dans cette étude mais sont sujettes à caution sur ces petits cours d'eau en particulier pour

² Lien vers la carte des débits consensuels au format .shp ou .csv (version 2012). Le site n'est plus mis à jour mais les liens de téléchargement fonctionnent encore.

<https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/8bcfa132902a0b35747656cf802f3a8616e0cc92>

l'étiage et peu fiables en milieu karstique. D'autre part, les données hydrométriques utilisées pour la carte des « QMNA5 consensuel » s'arrêtent en 2005 ; elles ne tiennent donc pas compte des évolutions climatiques récentes. Rappelons que pour cette carte, trois méthodes ont été appliquées indépendamment qui produisent donc trois valeurs pour le module et le QMNA5 naturel en extrapolant des critères calculés sur des stations supposées peu influencées. La combinaison multi-modèle permet d'améliorer sensiblement les estimations des trois modèles initiaux de QMNA5 et maintient la qualité des meilleures estimations initiales pour le module. La carte propose donc une valeur pour le module et le QMNA5 naturel. Cette valeur appelée Q5MOY_MN est encadrée par un intervalle de confiance à 80%. La borne basse de cet intervalle appelée Q5BASN sera retenue comme indicateur d'un risque hydrologique.

La robustesse des prévisions qualifie la plus ou moins bonne convergence des trois modèles de simulation. Pour les stations de débit biologique étudiées (cf tableau ci-dessous), la robustesse est systématiquement qualifiée de fragile pour le QMNA 5 et de robuste pour le module.

Débits Consensus IRSTEA corrigés AEAG (2013-2015)			QMNAS (corrigé)				Module (corrigé)			
			Min	Moy	Max	Robustesse	Min	Moy	Max	Robustesse
Boutonne	Boutonne amont	1-Courpigny	0.001	0.024	0.073	Fragile	0.423	0.56	0.742	Robuste
		2-Petit Genouille	0.019	0.193	0.55	Fragile	2.852	3.777	5.002	Robuste
		3-Moulin de Chatre1	0.024	0.228	0.642	Fragile	3.254	4.309	5.708	Robuste
		3-Moulin de Chatre2	0.024	0.228	0.642	Fragile	3.256	4.312	5.711	Robuste
	Boutonne aval	1-St-Pierre-de-l'Isle	0.029	0.276	0.776	Fragile	3.898	5.163	6.838	Robuste
		2-Vervant	0.041	0.363	1.006	1 seul modèle	4.924	6.522	8.638	Robuste
		3-St-Julien	0.044	0.392	1.085	Fragile	5.279	6.992	9.261	Prudence
	Trézence	1-Migre	0	0.011	0.039	Fragile	0.256	0.339	0.449	Robuste
		2-Tournay	0	0.019	0.068	Fragile	0.442	0.585	0.775	Robuste
Charente	Antenne	1-Touches-Périgny	0	0.011	0.038	Fragile	0.239	0.317	0.42	Robuste
		2-Prignac	0.003	0.062	0.197	Fragile	1.139	1.508	1.998	Robuste
	Aume	1-Chantemerle	0.007	0.066	0.186	Fragile	0.959	1.27	1.682	Robuste
		2-Aume-Bief	0.039	0.254	0.656	Fragile	2.946	3.901	5.167	Robuste
		3-Goyaud (Aume-Chenalisée)	0.039	0.254	0.657	Fragile	2.952	3.91	5.178	Robuste
		4-Marais (Vieille-Aume)	0.039	0.254	0.657	Fragile	2.952	3.91	5.178	Robuste
	Couture	1-Couture (gouffre des loges)	0.017	0.106	0.272	Fragile	1.211	1.604	2.124	Robuste
	Seugne	1-Seugnac	0.101	0.521	1.267	Fragile	5.013	6.639	8.793	Robuste
		2-Marraud	0.126	0.644	1.562	Fragile	6.154	8.151	10.795	Robuste
		3-Moulin du Gua	0.127	0.645	1.565	Fragile	6.164	8.163	10.812	Robuste
	Trèfle	1-Guimps	0	0.011	0.037	Fragile	0.215	0.284	0.377	Robuste
		2-DMB (Allas-Champagne)	0.005	0.042	0.119	Fragile	0.582	0.771	1.022	Robuste
		3-Assec	0.028	0.163	0.411	Fragile	1.737	2.301	3.047	Robuste
Seudre	Bénigousse	1-Bénigousse	0.001	0.01	0.028	Fragile	0.147	0.195	0.258	Robuste
	Chantegrenouille	1-Chantegrenouille	0.001	0.008	0.022	Fragile	0.104	0.138	0.182	Robuste
	Chatelard	1-Chatelard	0.001	0.006	0.018	Fragile	0.094	0.124	0.165	Robuste
	Péllisson	1-Péllisson	0.001	0.009	0.025	Fragile	0.126	0.167	0.221	Robuste

Figure 19 Tableau des valeurs issues de la cartographie consensuelle Irstea, appliquée aux stations de débit biologique.

Le rapport de la tranche ferme analyse ces différents aspects de l'hydrologie pour chaque bassin versant étudié. Cependant, la naturalisation des débits reste délicate en milieu sédimentaire, en raison du poids importants des nappes souterraines et des effets retardés et amortis que cela génère.

3.2.3 Etape 3 - Analyse de l'écologie et des enjeux du débit biologique

Les enjeux milieux identifiés et servant de clés de lecture aux acteurs sont : la non dégradation de l'état des eaux, l'atteinte du bon état écologique et la prise en compte d'espèces protégées. Ce sont donc à minima les mêmes paramètres que ceux qui qualifient les masses d'eau.

Cette partie correspond d'une part à l'analyse des données de l'état chimique et écologique au sens DCE. Elle intègre donc l'analyse de la qualité physico-chimique de l'eau, premier facteur de pression pour la biodiversité. Les données DCE permettent d'identifier les indicateurs sensibles au débit.

D'autre part, cette étape permet de désigner les espèces qui serviront d'indicateurs dans le reste de l'analyse (il est considéré que leurs besoins intègrent ceux de l'ensemble du milieu) et qui furent discutées en COMité TECHnique et validées en COMité de PILotage. Attention cependant à une vision trop statique de l'écosystème qui s'obligerait à retrouver des populations dites de référence. La notion d'indicateur est plus ouverte et plus proche de la réalité du fonctionnement des écosystèmes (une espèce peut être remplacée par une autre sans pénaliser l'équilibre global). Le peuplement piscicole est notamment étudié au travers des inventaires piscicoles de l'OFB et des fédérations de pêche, de l'IPR, du PDPG, des retours d'expériences des divers experts locaux, ... Dans le cas présent, ces enjeux faunistiques ont été débattus lors du Cotech de juillet 2020.

3.2.4 Etape 4 : Validation des secteurs d'études et des enjeux

Aux termes des étapes précédentes, plusieurs éléments méthodologiques sont disponibles :

- le choix du nombre et de l'emplacement des stations d'études ;
- la gamme des débits contextualisant l'analyse ;
- les espèces repères pour l'analyse ;

Ces éléments méthodologiques sont définis à l'issue de la phase « Définition de la méthodologie ». Elle se conclue par une validation de ces éléments.

Après validation de ces différents éléments, les phases de terrain et d'analyse peuvent commencer. En fonction des investigations de terrain, certains de ces éléments pourront être ajustés.

3.3 Etapes de prise de données et d'interprétations

Les modalités de prise de données terrain et de modélisation permettront de couvrir l'intégralité du cycle hydrologique et d'effectuer des tests hydrauliques pour vérifier la fonctionnalité écologique évaluée au travers des indicateurs.

3.3.1 Etape 5 : Choix d'un protocole expérimental adapté aux enjeux

Le passage de l'état des lieux écologique à l'analyse des liens avec l'hydrologie (le régime des débits puis le cas échéant l'hydrogéologie) passe par une analyse hydraulique. Le cycle biologique est particulièrement sensible aux événements à haute fréquence qui imposent des conditions adaptatives récurrentes, telles que les basses eaux estivales ou les crues fréquentes. Des espèces d'insectes aquatiques à cycle court (quelques mois) peuvent par exemple être adaptées à des assecs estivaux.

A l'inverse, le brochet, espèce à cycle long nécessitant des épisodes d'inondation pour la fraie, peut tolérer quelques années consécutives sans conditions favorables à la reproduction. En revanche l'inondation des zones de fraie même rare doit durer quelques semaines pour l'émergence des brochetons.

Les objectifs poursuivis dans la présente étude consistent donc à rapprocher la satisfaction des fonctions écologiques au travers de critères hydrauliques : profondeur, vitesse, granulométrie des fonds, énergie dissipée, remplissage du lit et ennoisement des berges, débordement ou connexion aux annexes fluviales.

Le choix du protocole de prise de données sur le terrain conditionne notre capacité à explorer ces différentes questions. Un modèle hydraulique 2 D est systématiquement préconisé dans cette gamme de cours d'eau.

3.3.2 Etape 6 : Prises de données terrain

Une phase de repérage de terrain permet d'aller sélectionner, en présence des techniciens de rivière, les emplacements des stations de mesure. Après validation du choix de l'emplacement des stations, les relevés de terrain sont réalisés de préférence en période de basses eaux qui révèle le mieux la diversité des habitats. Ceci conditionne aussi la qualité prédictive du modèle. Il est donc plus prudent d'observer des basses eaux et de modéliser des débits plus élevés que le contraire.

Le protocole permet de collecter l'ensemble des données nécessaires à la création du modèle hydraulique (débit du cours d'eau le jour des mesures, paramètres hydrauliques : hauteurs d'eau, largeurs mouillées et vitesses, paramètres géomorphologiques : profil en travers du cours d'eau, profil des berges, substrat, ...). Il est conduit sous la responsabilité d'un expert en hydraulique.

Il permet aussi de collecter des observations naturalistes réalisées par un écologue (végétation, milieux annexes, etc...). En particulier, les sites et conditions favorables à la reproduction des espèces présentes seront identifiés. Par exemple, un lit de gravier exondé en étiage, période de prise des données, peut constituer une frayère fonctionnelle au printemps. Il sera repéré et la modélisation hydraulique permettra de calculer le débit nécessaire à sa submersion.

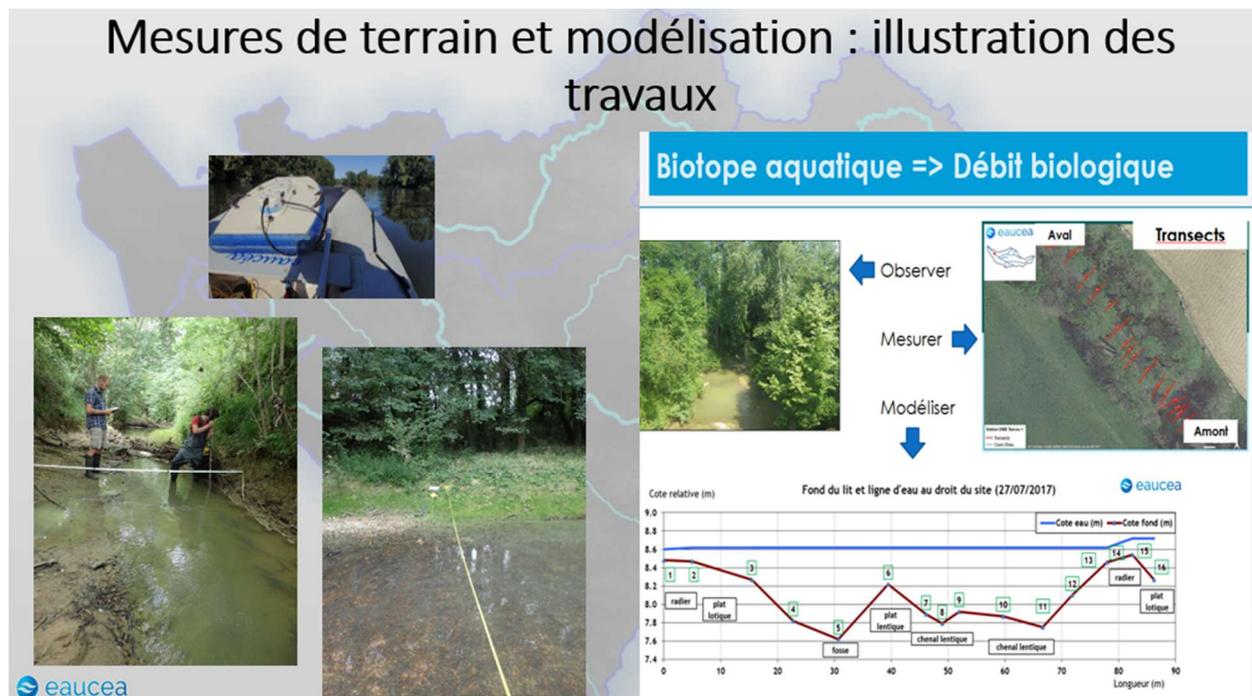


Figure 20 : Mesures de terrain

3.3.3 Etape 7 : Réalisation d'un modèle hydraulique sous Hec-Ras 2D et couplage de ce modèle avec les modèles biologiques

Un modèle hydraulique est réalisé pour chaque station sous le logiciel Hec-Ras 2D. Il permet de connaître l'évolution des différents paramètres hydrauliques (largeur mouillée, profondeur et vitesse, débordement, énergie) en fonction du débit.

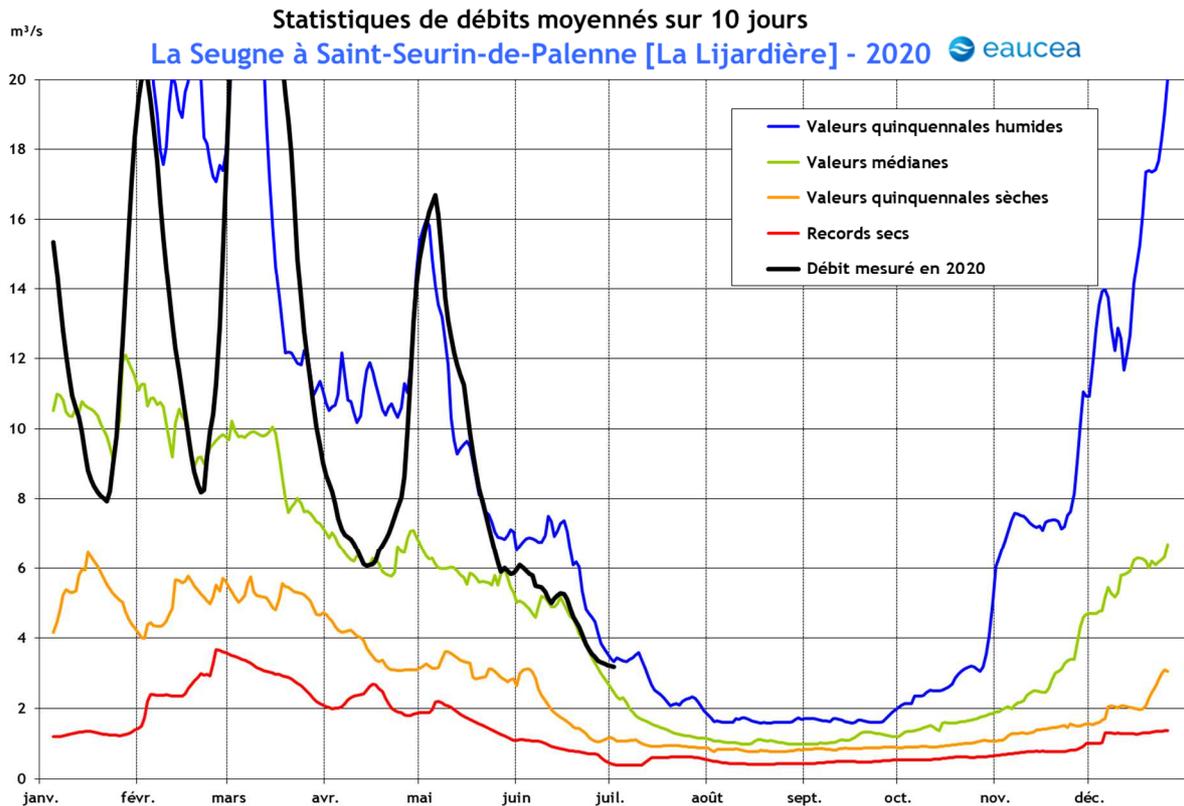
Les résultats en termes de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement sont obtenus de manière spatialisée sur l'emprise de la station modélisée pour chacun des débits simulés. Les résultats sont présentés sous forme de courbe, de tableaux et de cartes. Pour les cartes, conformément aux recommandations du comité scientifique, les valeurs de débit représentées sont le QMNA5 minimum, QMNA5 moyen, Moitié du module, module et débit de débordement soit 5 cartographies.

Il est par la suite couplé à des modèles biologiques (préférences des espèces cibles pour les différents paramètres mesurés : profondeur, vitesse et substrat) ou à des considérations écologiques (ennoisement des berges, débordement, connexion à des habitats latéraux). Cette étape permet de quantifier le potentiel d'accueil du milieu pour les espèces cibles en fonction du débit. D'autres paramètres du milieu peuvent être étudiés de manière fine : débit en dessous duquel la lame d'eau devient trop faible au niveau des radiers pour permettre le déplacement des poissons, connexion du cours d'eau à un habitat particulier, surface de faciès courants,

Le couplage des paramètres hydrauliques aux modèles biologiques sera réalisé en considérant les périodes de hautes eaux et celles de basses eaux (voir le paragraphe suivant « Etape 8 » et son diagramme).

3.3.4 Etape 8 : Enjeux biologiques et cycle hydrologique

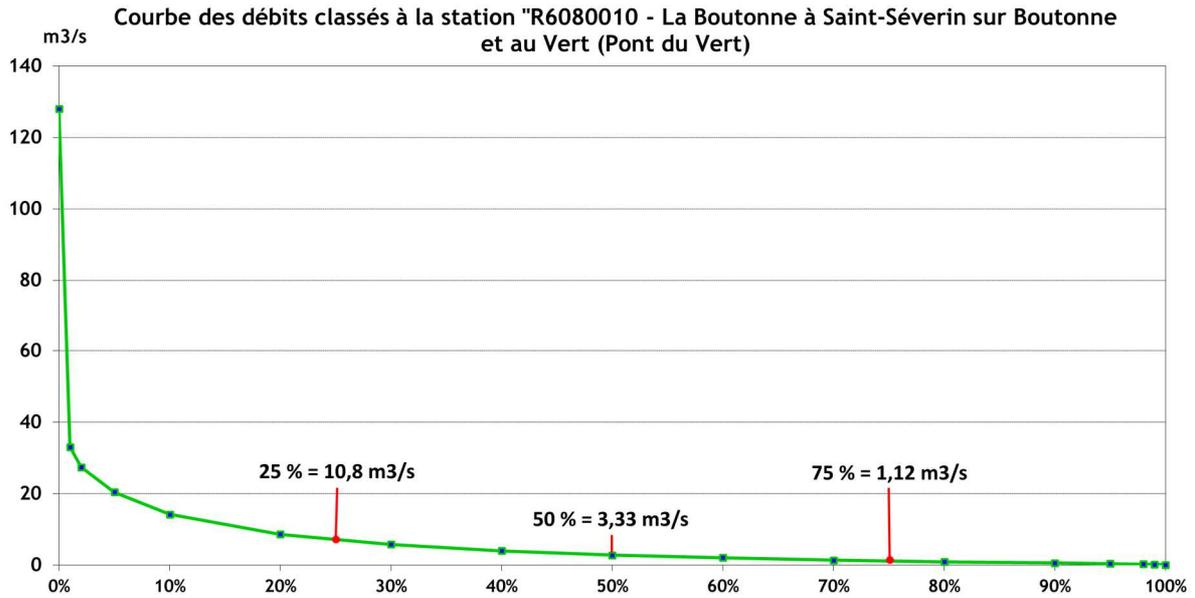
Les pertes et gains de fonctionnalités écologiques des cours d'eau étudiés seront analysés sur l'ensemble du cycle hydrologique décrit au travers des fréquences statistiques (cf. étude hydrologique). La situation sera donc qualifiée pour différents indicateurs à enjeux écologiques en simulant l'hydrologie médiane et ses fluctuations quinquennales (bornes hautes et basses) ou d'autres scénarios jugés pertinents par le comité technique. L'expérience montre que cette étape est souvent itérative et implique un partage des points de vue d'experts.



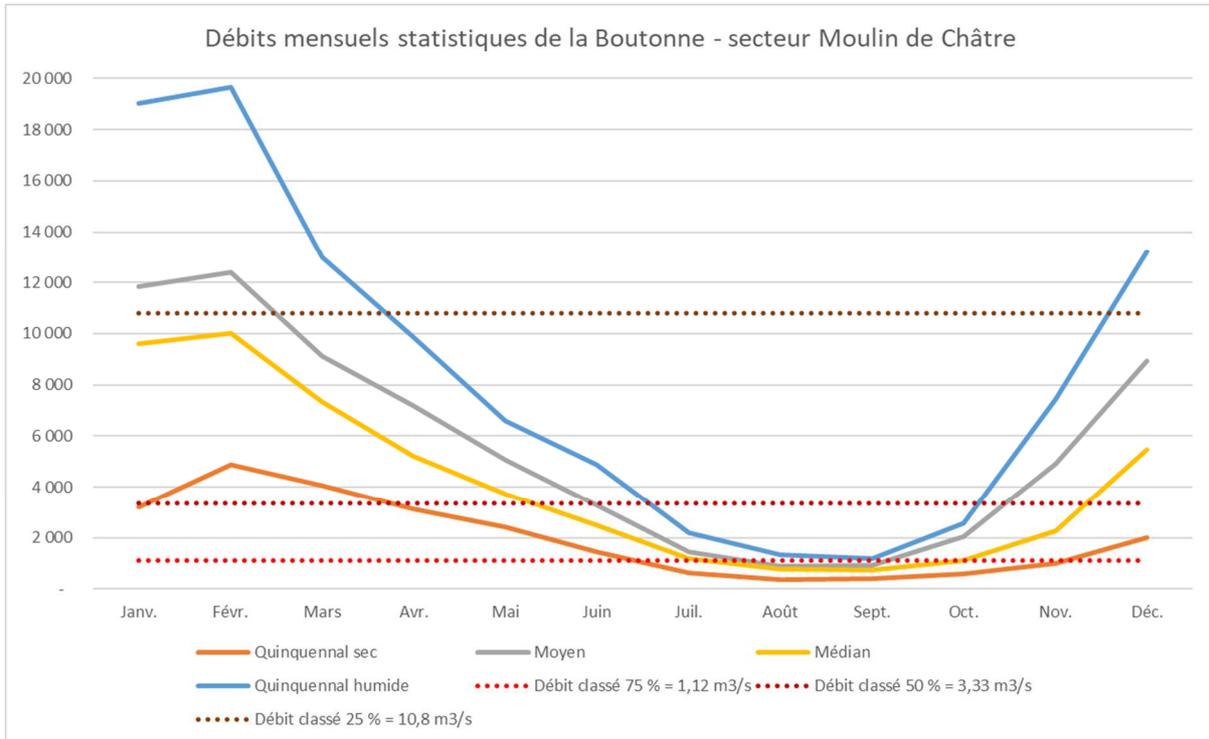
Débordement	Hautes eaux	Etiage	Automne
<ul style="list-style-type: none"> • connexion zones humides • reproduction brochet 	<ul style="list-style-type: none"> • maintien en eau des annexes hydrauliques et habitats de berges • reproduction cyprinidés • reproduction batraciens 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte d'habitat • perte de connexion longitudinale • Sensibilité qualitative • période de croissance 	<ul style="list-style-type: none"> • Souvent reprise des écoulements • Refroidissement • Reproduction des salmonidés

Figure 21 : Principe de correspondance entre débits, périodes et enjeux biologiques

Pour permettre une analyse des critères biologiques (SPU, vitesse, continuité, ...) dans des conditions de débits hors étiage, le calendrier hydrologique est simplifié. Les bornes hydrologiques permettant de séparer les périodes d’eau moyennes et de hautes eaux avec les périodes de transition ou l’étiage sont appliquées aux débits moyens mensuels. Pour les eaux moyennes et hautes, elle a été fixée arbitrairement à 50% des débits classés.



Par exemple sur la Boutonne à Moulin de Châtre elle est de 3.3 m³/s, correspond en moyenne mensuelle aux 7 mois de novembre à mai et vaut environ 4 fois le débit d'étiage mensuels d'août (0,9 m³/s environ). Les basses eaux correspondent aux mois dont la moyenne mensuelle est plus faible que la valeur classée 75% (1,12 m³/s dans notre exemple). Entre les deux, ce sont les eaux de transitions généralement observées au printemps puis à l'automne. **Cependant, ces bornes n'ont pas ou peu de conséquences directes sur le choix des valeurs de débits biologiques.**



Remarque : Pour les cartes stationnelles présentant les variables hydrauliques et biologiques (SPU, Vitesse, etc..), conformément aux recommandations du comité scientifique et par convention, les valeurs de débit représentées sont les valeurs issues du travail de l'Irstea. QMNA5 minimum (borne basse de l'intervalle de confiance), QMNA5 (borne moyenne de ce même intervalle), 50 % du module, module et aussi le débit de débordement calculé par Eaucéa sur chaque station de débit biologique soit 5 cartographies. **Ces représentations illustratives n'ont pas d'effet direct sur le choix des débits biologiques.**

NOTA

Les bornes des périodes de basses-eaux de transition et de hautes-eaux, construites sur la base de l'hydrologie, ont une vocation scientifique pour rapprocher l'hydrologie du calendrier écologique ; elles ne correspondent pas aux périodes figurant sur les arrêtés préfectoraux.

4 METHODE D'IDENTIFICATION DES BORNES DE DEBIT BIOLOGIQUE

La méthode se veut systématique et le cheminement développé est essentiellement basé sur les espèces directrices de chaque station. Rappelons que les courbes de SPU permettent de mesurer la sensibilité de l'habitat piscicole à une évolution du débit en plus ou en moins. Parfois une faible évolution du débit peut avoir de fortes conséquences, parfois très peu. Les valeurs produites pour toutes les espèces et les stades sont communiquées au maître d'ouvrage qui peut réaliser son propre diagnostic de sensibilité. Ceci est important pour expertiser une valeur réglementaire, sans refaire d'études complexes.

Vis-à-vis de l'habitat piscicole, cette méthode s'articule autour de 3 étapes :

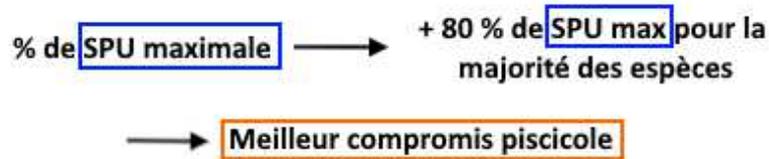
L'identification du meilleur compromis piscicole qui s'appuie sur la SPU maximale observée pour chaque espèce. Les débits garantissant le maintien de 80% de cette SPU maximale, sont considérés comme respectant l'objectif de débit biologique. La valeur de 80% est couramment admise dans ce type d'études. Chaque espèce (et stade de développement) présente donc une plage de débit biologique. En présence de plusieurs espèces (et stades), la plage de débit permettant le meilleur recouvrement entre ces zones est considérée comme le meilleur compromis pour la station. Cette approche est systématiquement mise en avant dans les débits biologiques de basses eaux.

Parfois, le maximum de SPU n'est atteint que pour des valeurs de débits très élevés (exemple fréquent pour les truites adultes) et rarement atteinte naturellement sur le secteur d'étude. L'expert propose alors une valeur plus faible susceptible d'être atteinte régulièrement (par exemple 90% de la SPU Max) et construit l'analyse autour de cette valeur dite de référence.

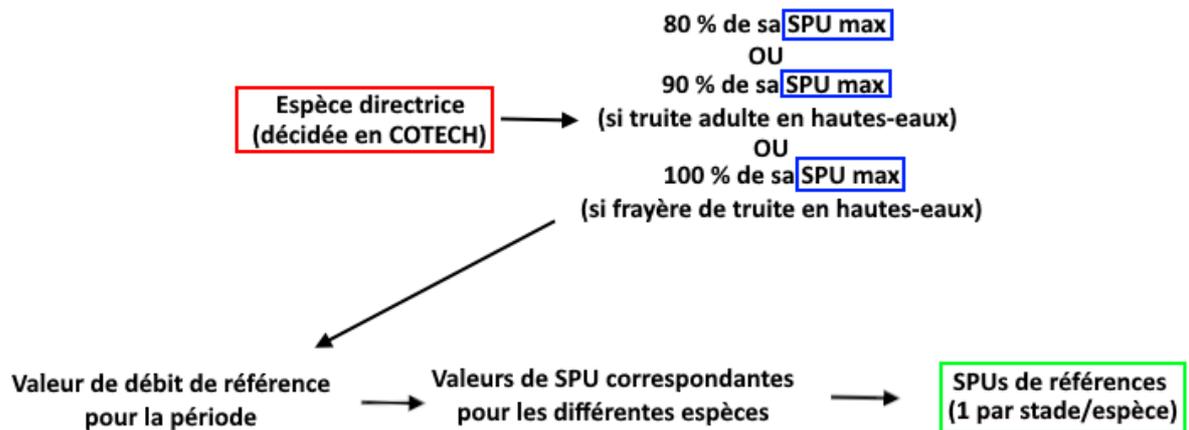
L'identification des bornes de la plage de débit biologique en elles-mêmes est réalisée en explorant, autour du meilleur compromis ou autour de la valeur de référence, la sensibilité des SPU lorsque l'on s'éloigne d'un optimum. Souvent une espèce directrice est privilégié dans cette analyse.

Les schémas ci-dessous résument ces étapes.

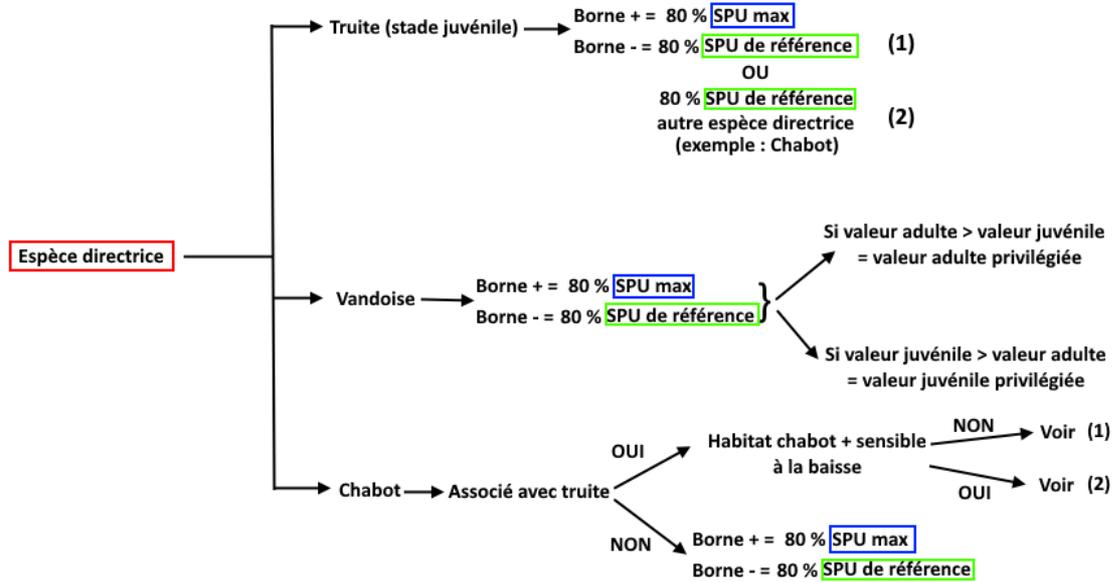
Etape 1



Etape 2

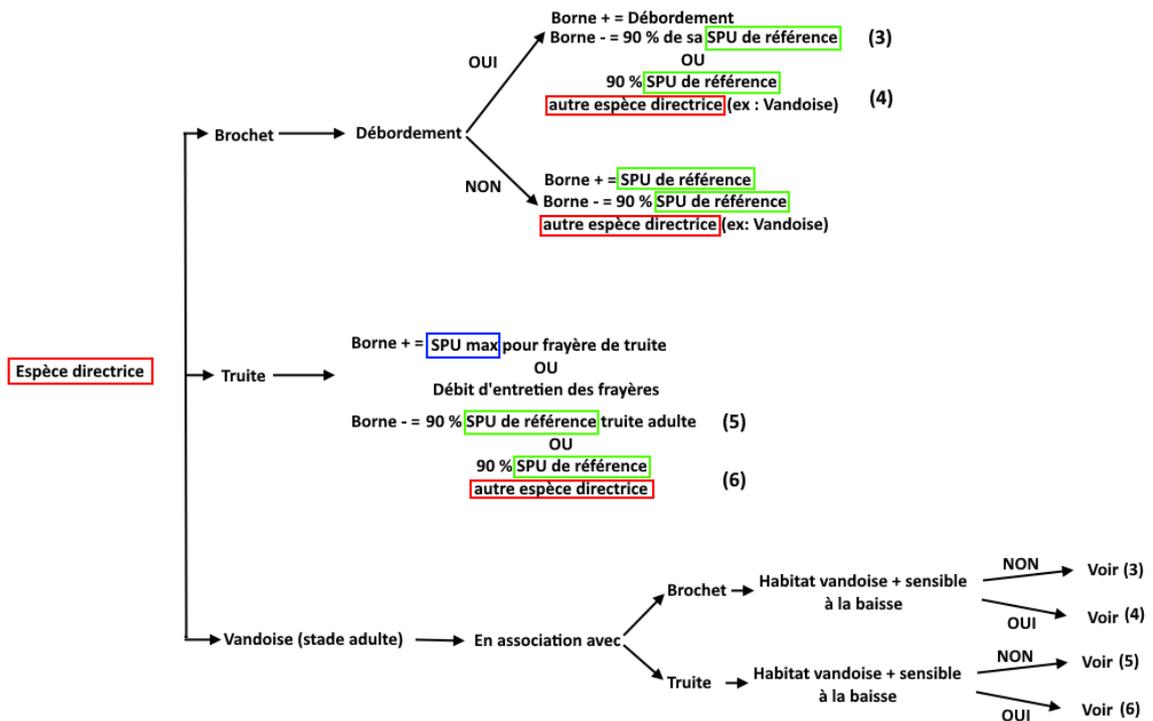


Etape 3 "Basses-eaux"



NOTA : Si débit de déconnection longitudinale > borne - → Critère "connectivité longitudinale" privilégié
 Si borne + ou - = meilleur compromis piscicole → Borne avec les deux critères : SPU de référence OU SPU max + Meilleur compromis piscicole

Etape 3 "Hautes-eaux et transition"



5 LES LIMITES DE L'EXPERTISE ET DE SON UTILISATION

Le processus de prise de données et d'interprétation présenté est le plus rigoureux possible mais il est important de se rappeler que les écosystèmes sont le produit d'interactions très complexes. Les modélisations simplifient la réalité. Chaque étape du processus engage des incertitudes quant à la représentativité des stations par rapport au cours d'eau, à l'hydrométrie et l'hydrologie, au peuplement piscicole, à la modélisation hydraulique, à la modélisation biologique. Le cumul de ces incertitudes n'est pas forcément calculable et il est donc important que les experts commentent ces résultats pour corriger le cas échéant des biais manifestes. Ce processus de partage et de contrôle collectif a été mobilisé au travers des différents comités techniques.

Les interprétations conduisant au choix d'une plage de débit biologique, se fondent souvent sur des méthodes qui ont été généralement codifiées le mieux possible pour réduire une part d'arbitraire. Par exemple des marges de tolérance de 20% utilisé dans l'analyse des SPU, se justifient surtout pour tenir compte de possibles incertitudes mais ne correspondent pas forcément à une « règle biologique ». Elles relèvent plus d'un usage dans l'interprétation des courbes.

En conséquence, la valeur ajoutée des études de débits biologiques est de proposer une traduction concrète du lien entre le débit et l'état fonctionnel d'un cours d'eau. Les paramètres sélectionnés dans ces études représentent une part importante des enjeux écologiques auxquels il faut être attentif. Cependant, en présentant la sensibilité des critères à des variations de ce débit et en croisant plusieurs compartiments de l'écosystème, le lecteur comprendra rapidement que la notion de compromis est au cœur de la proposition. Contrairement à une idée répandue, le débit biologique n'est pas une frontière stricte qui sépare définitivement un système fonctionnel d'un système dysfonctionnel. C'est plus un domaine, une plage de débit, qui marque une transition entre ces deux états.

D'autre part, il faut insister sur l'enjeu hydromorphologique qui est associé aux débits souvent de hautes eaux voire de crue. Ces débits sont les garants de la pérennité du milieu physique au travers du non comblement des fosses, du décolmatage des graviers et cailloux par les limons ou les sables ou de l'érosion des berges qui renouvelle le stock de matériaux grossiers. Ce n'est pas à proprement parler un Débit Biologique mais il faut être conscient de la nécessité écologique du caractère sans cesse renouvelé de la géographie des microhabitats sous l'effet des cycles de débit. L'écosystème des cours d'eau bénéficie de crues régulières !

L'utilisation des résultats pour la gestion constitue donc une étape supplémentaire qui n'est pas l'objet de la présente étude, sauf pour la Boutonne avec une application pour la définition de Débit Objectif Complémentaire. Dans ces étapes, les gestionnaires peuvent et doivent vérifier les conséquences probables de leurs choix en fonction de critères complémentaires telle que les limitations d'usages que cela peut induire, la fréquence et la durée des épisodes hydrologiques concernés, les interactions avec le changement climatique, le rôle de l'hydromorphologie dans la définition des valeurs, etc...

6 ANNEXE DESCRIPTIFS DES DIFFERENTS OUTILS DISPONIBLES ET RAISONS DU CHOIX DE LA METHODE HYDRAULIQUE 2D

6.1.1 EVHA (1998)

La méthode des micro-habitats a été développée par le Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts (CEMAGREF³) depuis 1985 et adaptée de l'IFIM de l'US Fish and Wildlife Service. Mise au point en 1995 la méthode EVHA est principalement destinée à fournir une aide à la détermination des débits réservés. Elle peut également servir d'outil de recherche pour évaluer une sensibilité biologique des cours d'eau aux variations de l'habitat physique (Pouilly et al., 1995). Cette méthode consiste à mettre en relation une information physique et une information biologique sur un tronçon de rivière. L'information physique permet de séparer l'aire d'étude en surfaces homogènes aux variables d'habitats (hauteur d'eau, vitesse, substrat) connues. L'information biologique est attribuée en fonction des préférences d'habitat des espèces à différents stades de vie (Ginot, 1998).

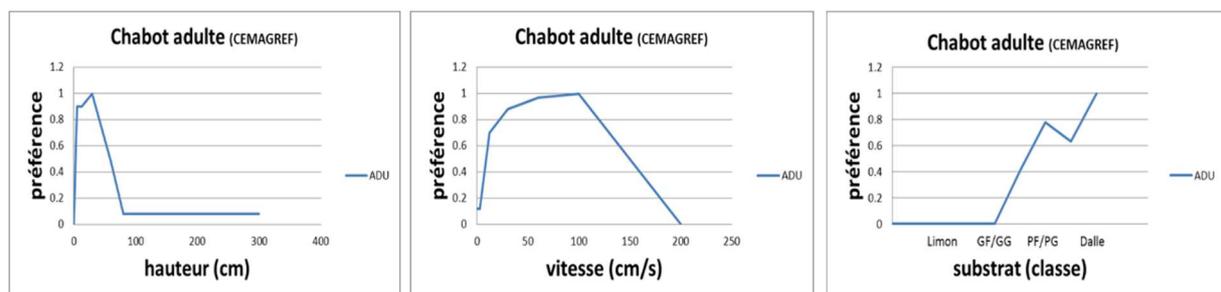


Figure 22 : Exemple de modèle biologique. Valeurs d'habitat du chabot.

Pour mettre EVHA en place, il faut appliquer un protocole strict. Tout d'abord, il s'agit de définir et valider les variables caractérisant l'habitat. Pour cela, trois variables morphodynamiques sont prises en compte : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et le substrat ainsi que des données hydrauliques et topographiques (Ginot et al., 1998 ; L'eau en Montagne, 2010). Le modèle de réponse biologique est ensuite défini, il repose sur la notion de « courbe de préférence » apportant une valeur de préférence des habitats entre 0 et 1 (0 défavorable et 1 très favorable à l'espèce) en fonction de la valeur de la variable habitat considérée (Ginot et al., 1998).

A partir des mesures réalisées sur le terrain, les calculs sont opérés à l'aide d'un modèle hydraulique pour toute une gamme de débits permettant d'obtenir les couples (hauteur d'eau, vitesse) en tout point de la station d'étude, d'en déduire la réponse biologique sous la forme de valeurs d'habitat pour l'espèce piscicole étudiée sur ces points et de produire des courbes de Surfaces Pondérées Utiles (ou SPU) variant avec le débit, qui représentent les surfaces potentiellement colonisables pour le poisson. Les courbes de préférence sont disponibles pour plusieurs espèces à un stade de développement donné tel que alevin, juvénile, adulte et parfois frai. Les SPU permettent ainsi d'obtenir des

³ Le CEMAGREF est devenu aujourd'hui l'Institut national de la recherche agronomique (INRAE)

renseignements sur l'impact des modifications du débit sur la capacité d'accueil de la rivière (Ginot, 1998).

Pour obtenir ces résultats le modèle hydraulique utilisé est un modèle en une dimension (1D). Il permet pour chaque débit simulé de fixer la ligne d'eau dans chaque géométrie (transect) ainsi que la vitesse moyenne de l'eau et donc les valeurs de hauteur d'eau et vitesses locales. EVHA est considéré comme un modèle 1,5D (Figure 1) puisqu'une approximation de la distribution des vitesses pour correspondre au débit simulé est effectuée (Prost, 2014).

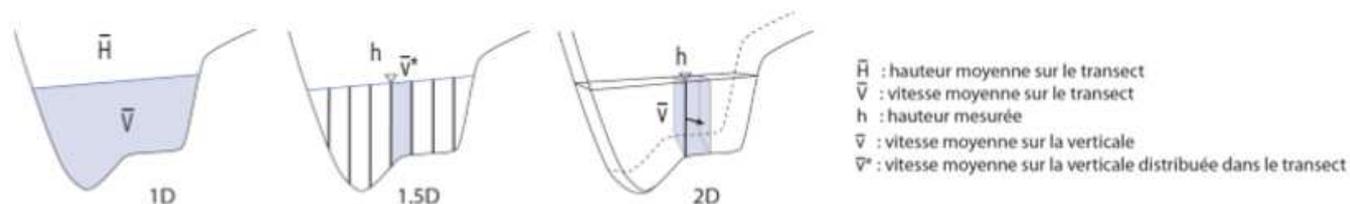


Figure 23: Schéma de comparaison entre modèles 1D, 1,5D, 2D. Source : Prost et al., 2014.

6.1.2 ESTIMHAB (2002)

La méthode ESTIMATION d'HABitats (ESTIMHAB) est un modèle micro-habitat créé par le CEMAGREF en 2002. A l'image des modèles de micro habitats, ESTIMHAB couple un modèle hydraulique et un modèle biologique mais s'en distingue par sa simplicité d'application. En effet, il détient un protocole moins lourd et strict que les autres méthodes. Les estimations de ce modèle uniquement statistiques sont basées sur cinq paramètres :

- le débit journalier médian naturel,
- le débit, la largeur du cours d'eau et la profondeur relevés à deux dates différentes
- la taille du substrat dominant.

De ces informations le modèle réalise des courbes d'évolution de la surface exploitable par le poisson en fonction du débit : les SPU (Lamouroux, Fiche ZABR).

ESTIMHAB est distribué sous forme de classeur Excel contenant trois feuilles : simulations-populations, simulations guildes et données terrains. La première permet de réaliser des simulations de qualité de l'habitat en fonction du débit. La simulation par guildes repose sur le même principe que la simulation-populations mais la qualité de l'habitat est simulée pour des groupes d'espèces aux préférences similaires en termes d'habitats.

ESTIMHAB est un modèle hydraulique statistique basé sur l'interpolation des largeurs et hauteurs d'eau entre deux débits différents (Cemagref, 2008). Il est donc conseillé de relever des débits les plus éloignés possibles (Q1 le plus bas possible et Q2 proche du débit naturel médian Q50) car l'extrapolation manque de rigueur en dehors de l'intervalle formé par ces deux débits.

6.1.3 LAMMI (2011)

La méthode LAMMI a été mise en place en 2011 par EDF, IRSTEA (aujourd'hui INRAE), l'école nationale supérieure agronomique de Toulouse (ENSAT) et le bureau d'étude ECOGEA. La méthode consiste à calculer pour un tronçon de cours d'eau un potentiel habitat (SPU) en fonction du débit. Pour cela la portion de rivière étudiée est séparée en plusieurs faciès homogènes. Les paramètres habitats (hauteur d'eau, vitesse et substrat) de ces différents faciès sont mesurés pour trois ou quatre débits différents. Les courbes de préférences des espèces et de leur stade de développement sont intégrées au modèle permettant d'obtenir les SPU pour chaque surface élémentaire homogène.

Les mesures sont effectuées sur quelques stations représentatives du tronçon dont la dynamique hydraulique permettra une représentation de l'ensemble du secteur étudié. Le protocole LAMMI consiste en une interpolation entre les valeurs de débits observés grâce à un modèle hydraulique. Ce modèle hydraulique est moins élaboré que d'autres disponibles, c'est pour pallier ce manque que plusieurs campagnes de mesures de débits doivent être effectuées. Ce calage sur des débits variés permet d'obtenir une interpolation satisfaisante des hauteurs d'eau (Tissot et al., 2011). En revanche l'extrapolation en dehors des débits observés est risquée.

6.1.4 Méthodes microhabitat 2D EAUCEA (2016)

La méthode utilisée par EAUCEA est inspirée du protocole EVHA mais a modernisé la partie hydraulique. Elle associe un modèle hydraulique à un modèle biologique, permettant de mettre en lien le comportement des différentes espèces de poissons (donc les espèces cibles) à plusieurs stades de développement face à une variation de débit. Le protocole terrain est lui fortement similaire à celui d'EVHA, les paramètres à renseigner sont la hauteur d'eau, la vitesse, la granulométrie, la topographie des berges, la pente du cours d'eau et bien sûr, le débit. Ces mesures sont effectuées sur une quinzaine de transects. Le nombre de transects varie suivant la variabilité hydromorphologique du cours d'eau, l'objectif est d'obtenir des mesures représentatives du milieu.

Le modèle hydraulique est réalisé sous HEC-RAS 2D permettant une modélisation en deux dimensions : un maillage 3D de la topographie du lit du cours d'eau est réalisé à partir de l'interpolation des transects, puis la simulation est réalisée en deux étapes :

- 1. calage du modèle sur les données mesurées pour le débit du jour des relevés,
- 2. simulations hydrauliques réalisées pour la gamme de débits recherchée.

Cette modélisation bidimensionnelle réside sur la résolution numérique d'équation afin d'obtenir des valeurs de vitesses verticales moyennées. Les modèles 2D se reposent notamment sur la topographie pour un débit donné afin de simuler les écoulements sur une section de rivière (Prost et al., 2014).

Le modèle hydraulique issu de HEC-RAS est ensuite couplé aux courbes de préférences d'habitats tirées d'EVHA et permet de visualiser la SPU en fonction des différents débits.

Le modèle HEC-RAS permet une analyse fine des paramètres hydrauliques dans des situations topographiques complexes incluant notamment plusieurs bras ou la présence d'îles, et des valeurs d'habitat (Figure 24). Il est plus rigoureux que le modèle 1,5D d'EVAH et permet d'interpoler les

données locales entre chaque transect. **C'est donc ce modèle qui sera appliqué dans la présente étude.**

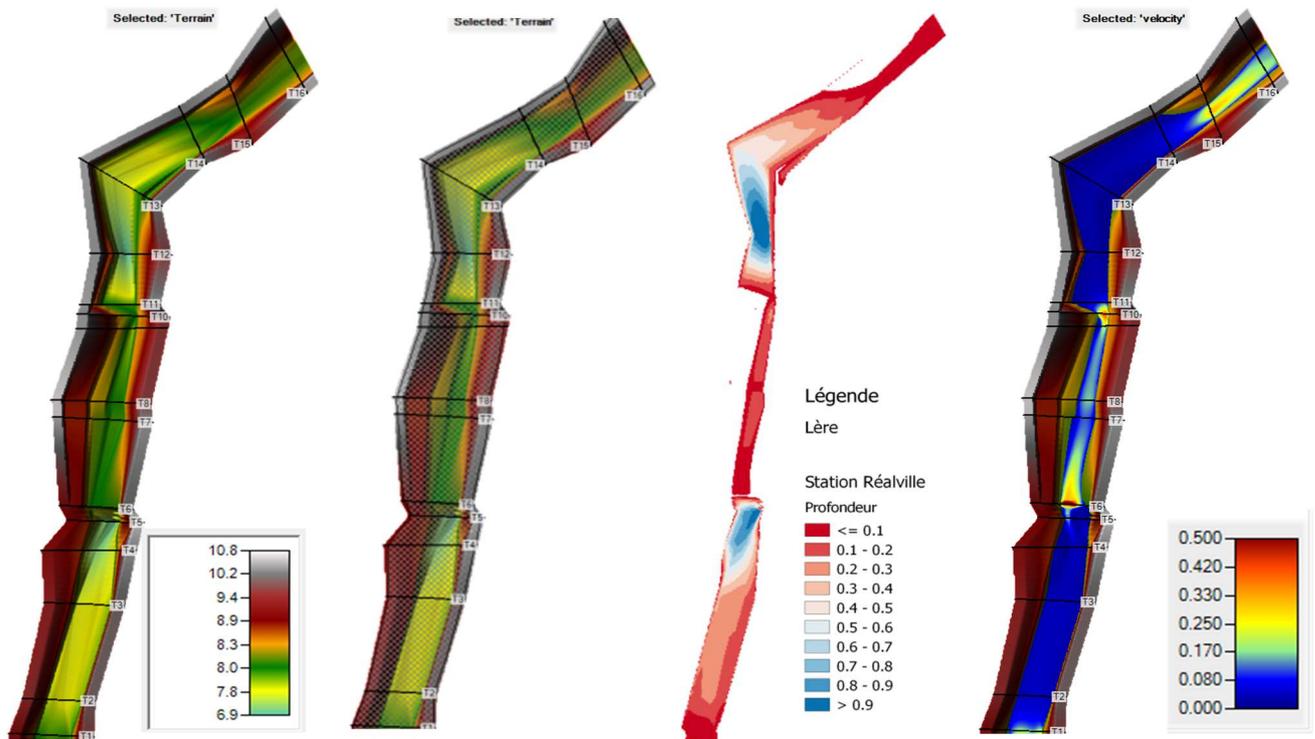


Figure 24 : (de gauche à droite) Topographie du tronçon/ Topographie avec ajout du maillage 2D pour le modèle hydraulique/ Résultats des simulations pour la hauteur d'eau (m) / Résultat simulation pour la vitesse (m/s). Source: Eaucea.

6.1.5 HABBY (2016)

HABBY n'est pas une méthode.

C'est un outil créé par un partenariat de l'Agence Française pour la Biodiversité (aujourd'hui Office Français de la Biodiversité), l'IRSTEA et EDF permettant d'analyser les modifications de la qualité des habitats aquatiques en fonction des scénarios de gestion. Il est à noter que HABBY n'est pas une méthode micro-habitats et n'a pas de modèle hydraulique, ni statistique propre. Habby est une plateforme logicielle permettant d'intégrer et donc d'exploiter des méthodes déjà existantes. Ainsi, les données exploitables pour les modèles hydrauliques disponibles sur HABBY sont celles de HEC-RAS⁴, LAMMI, MASCARET, RIVER2D, RUBAR-BE, RUBAR20, SW2D, IBER2D, et TELEMAC. L'intégration d'autres modèles hydrauliques est en cours de développement. Des méthodes statistiques sont aussi disponibles tel que ESTIMHAB. Les modèles biologiques utilisés sont aussi les courbes de préférences univariées provenant d'EVHA.

⁴ Modèle utilisé par eaucea alors que le module hydraulique d'EVHA n'est pas pris en charge par HABBY.

En développement depuis 2016, la plateforme HABBY bien qu'accessible est toujours en cours de production, son développement n'est à ce jour pas achevé (Von Gunten et al., 2017).

6.1.6 Tableaux récapitulatifs

Paramètres techniques			
Méthode	Descripteur Hydromorphologique	Modèle biologique	Domaine de validité
EVHA 1995	1,5D	Courbes EVHA : repose sur la notion de « courbe de préférence » qui donne directement la valeur du coefficient de pondération des surfaces (entre 0 et 1) Lamouroux	pente comprise entre 0,2 et 5 % largeur inférieure à 20 m -module inférieur à 30 m ³ /s température estivale inférieure à 20°C (moyenne journalière)
ESTIMHAB 2002	Modèle hydraulique statistique	Courbe Estimhab : Le modèle biologique est à base d'équations par espèces/stades (population) ou guildes d'espèces, mais uniquement celles "appries" grâce à des simulations de type EVHA.	La morphologie du tronçon étudié doit être naturelle ou peu modifiée pente inférieure à 5%
LAMMI 2011	Modèle hydraulique	différents pour rivière salmonicoles ou non salmonicole : Bovee / non salmonicole : Lamouroux	une pente comprise entre 0,2 et 5% une largeur inférieure à 20 m un module inférieur à 30 m ³ /s
MODELE EAUCEA 2017	HEC-RAS 2D	Courbe de préférence EVHA	Polyvalent
Outils			
HABBY 2018	pas de modèle dédié mais intègre : HEC-RAS, LAMMI, Mascaret, River2D, Rubar 20, Rubar BE et Telemac, Estimhab, Stathab/Fstress	Les courbes de préférence uni-variés pour 27 espèces de poisson en provenance d'EVHA	Suivant les modèles choisis

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des paramètres techniques pour les différentes méthodes et outils microhabitats

	Moyens et produits						
Méthode	Fonctionnalité	Nombre de campagnes	cartographie simulée de l'habitat	Capacité extrapolation	Visualisation franchissabilité radiers	Modélisation des annexes hydrauliques	Dynamique des éclusées
EVHA 1995	Obsolète (plus de mises à jour disponible)	1	oui	bonne	non	non	non
ESTIMHAB 2002	Opérationnel	2	non	mauvaise	non	non	non
LAMMI 2011	Opérationnel	3 ou 4	oui (sommaire)	mauvaise	non	non	non
MODELE EAUCEA	Opérationnel	1	oui	bonne	oui	oui	oui
Outils							
HABBY 2018	En cours de production	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	suivant les modèles choisis	oui (suivant le modèle choisi)

Tableau 3 : Moyens et produits pour les différentes méthodes et outils microhabitats.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Cemagref, 2008. Estimhab Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique de la gestion hydraulique des cours d'eau.
- Ginot, V., 1998. EVHA version 2.0 Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière Guide de l'Utilisateur 108.
- Ginot, V., Souchon, Y., Capra, H., Breil, P., Valentin, S., 1998. EVHA version 2.0 Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière Guide Méthodologique 130.
- Lamouroux, N., n.d. Modèle micro-habitats ESTIMHAB : ESTIMATION d'HABITats.
- L'eau en Montagne, 2010. Fiche action AB.3 «Débits minima, Débits biologiques, Débits objectifs d'étiage, Synthèse méthodologique et proposition d'harmonisation pour les cours d'eau de tête de bassin».
- Pouilly, M., Valentin, S., Capra, H., Ginot, V., Souchon, Y., 1995. Méthode des microhabitats : principes et protocoles d'application. Bull. Fr. Pêche Piscic. 41-54. <https://doi.org/10.1051/kmae:1995004>
- Prost, O., Lamouroux, N., Le Coarer, Y., Capra, H., 2014. Vers une nouvelle génération de modèles d'habitats numériques. 39.
- Tissot, L., Sabaton, C., Gouraud, V., 2011. LAMMI guide méthodologique 44.
- Von Gunten, D., Le Coarer, Y., Zaoui, F., 2017. Développement d'une plate-forme de modèles d'habitats numériques : HABBY. Rapp. Interméd. 10.
- Jean Paul Bravard, Christian Lévêque 2019 La gestion écologique des rivières françaises