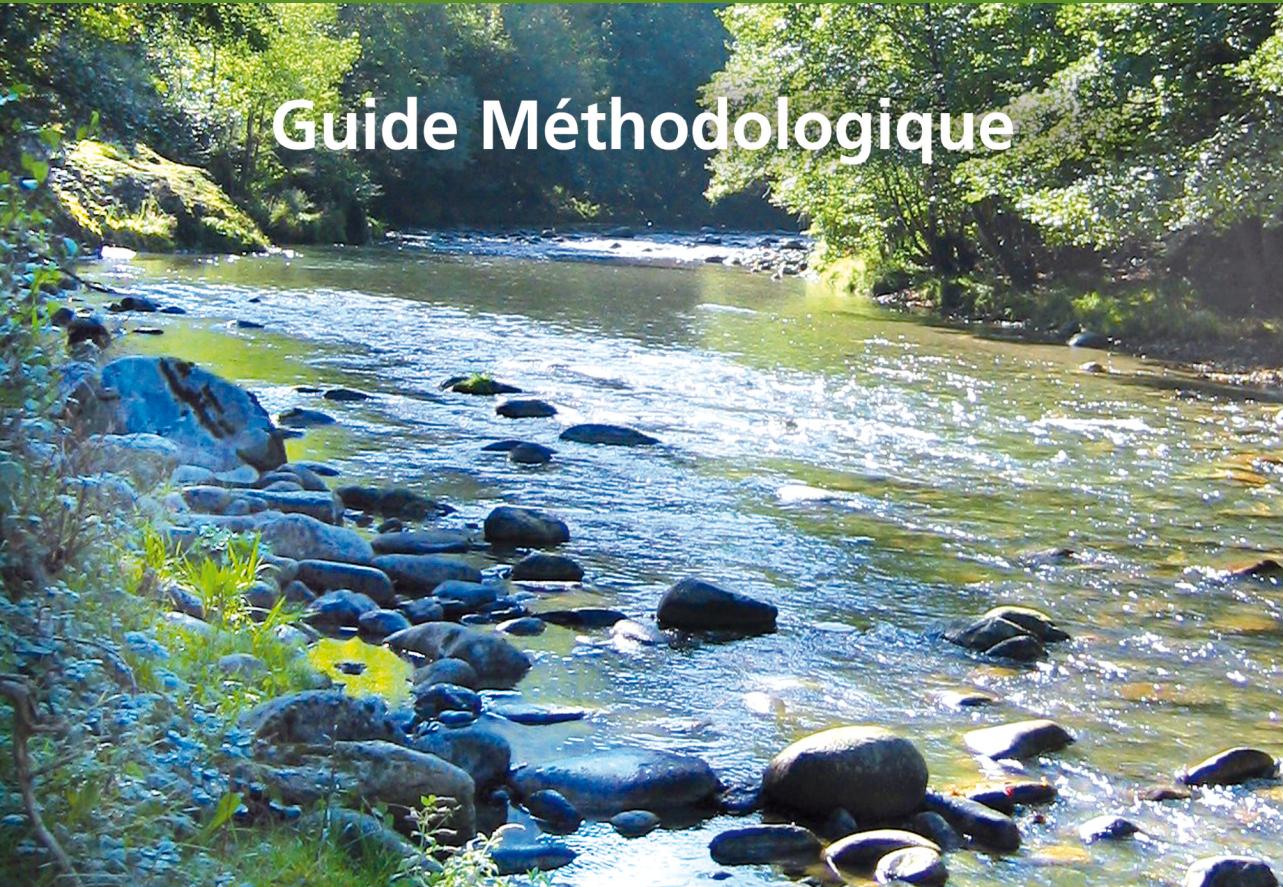




Logiciel d'Application de la Méthode des Micro-Habitats

Guide Méthodologique



Avant propos

Comment faire dialoguer un producteur d'hydroélectricité avec un protecteur des milieux aquatiques sur un sujet aussi délicat que la quantité d'eau minimale à laisser dans une rivière afin de garantir le bon équilibre de la vie piscicole ? Comment faire dialoguer un hydraulicien avec un biologiste des poissons quand l'un voit dans l'eau qui s'écoule une quantité de mouvement, de la turbulence et une dissipation d'énergie et l'autre un habitat de nutrition ou de reproduction d'une espèce ?

Pourtant, ces dialogues sont nécessaires et indispensables à la gestion des rivières et de la ressource en eau confrontée de façon de plus en plus aiguë à des enjeux environnementaux majeurs que sont la production d'énergie renouvelable, la restauration de l'état écologique des écosystèmes, la conservation de la biodiversité et la conciliation des usages. Pour faciliter ce dialogue, il est largement préférable de bénéficier d'outils d'aide à la décision qui soient à la fois objectifs et partagés par tous.

C'est l'esprit dans lequel a été bâti le protocole d'application de la méthode des microhabitats présenté dans ce guide et issu de longues années d'études et de recherches conduites par la Direction des Etudes et Recherches d'EDF en collaboration avec des partenaires de la recherche publique (CEMAGREF, ENSAT), de la gestion (le CSP devenu ONEMA) et le bureau d'étude ECOGEA. Cet outil vient finaliser plus de 20 années de travail dans le domaine des habitats et des poissons et dans l'adaptation des premiers développements réalisés aux Etats-Unis dans les années 80. Les débats autour de cette méthode des microhabitats ont été et sont encore parfois vifs, les biologistes ayant du mal à admettre que l'on réduise le comportement des poissons à de « simples » courbes de préférence, les hydrauliciens se satisfaisant peu de la caractérisation et de la modélisation des écoulements proposées par cette démarche. Et pourtant, force est de reconnaître qu'actuellement, cette méthode est l'un des rares outils opérationnels disponibles permettant d'objectiver l'évolution du potentiel physique d'un cours d'eau pour certaines espèces de poissons et certains stades de développement. Avec EVHA et ESTIM'HAB, LAMMI constitue le troisième type de protocole d'application de la méthode des microhabitats dont le principal avantage repose sur de véritables mesures à différentes valeurs de débits limitant ainsi les incertitudes de la modélisation hydraulique basée sur la topographie et les équations de pertes de charge.

Bien sûr, comme toutes les méthodes, elle reste le fruit des connaissances actuelles et de compromis entre la rigueur attachée aux caractérisations et la modélisation de grandeurs physiques et biologiques et une applicabilité relativement accessible à large échelle. Ses ambitions sont mesurées et il est important de le garder à l'esprit. Trop longtemps et trop souvent, on a voulu faire dire plus de choses aux résultats issus de cette méthode que ce pourquoi elle avait été conçue. Jamais, la valeur d'habitat d'un tronçon ne renseignera en direct sur la quantité de poissons présente, jamais l'on ne pourra réduire la capacité d'accueil d'une rivière aux seuls paramètres de hauteur d'eau, de vitesse d'écoulement et de granulométrie des fonds. Mais, pour autant, la réduction des débits liée à un usage entraînera une modification significative des paramètres hydrauliques et donc d'une partie du potentiel d'accueil du cours d'eau. C'est uniquement à la quantification de ces modifications que s'attache la méthode des microhabitats et par voie de conséquence le protocole LAMMI. Les résultats qu'il fournit doivent être considérés comme une aide à la décision qu'il faut toujours replacer dans son contexte écologique et hydrologique. La valeur de débit minimum à laisser dans un cours d'eau n'est pas forcément un compromis entre les potentialités offertes à plusieurs stades de développement de différentes espèces. Elle peut reposer au contraire sur la recherche d'une situation de faible dégradation de l'habitat d'un stade de développement particulier d'une espèce, ceci en regard du fonctionnement des populations.

Le protocole LAMMI doit être considéré comme un espace de dialogue objectif adapté à la gestion des débits minimums des cours d'eau et plus particulièrement des tronçons salmonicoles et ce n'est pas là la moindre de ses qualités.

Enfin, puisque cet avant-propos a débuté par le dialogue, je voudrais souligner à quel point les recherches conduites en amont de cet outil ont été l'occasion d'échanges de très grande qualité, qu'elles ont toujours été animées par un esprit de collaboration et surtout de très grande convivialité que nous devons en grande partie à l'énergie et aux convictions profondes de Catherine Sabaton et d'Yves Souchon.

Philippe BARAN

Pôle d'Ecohydraulique (GHAAPPE), ONEMA-CEMAGREF-IMFT
Allée du Professeur Camille Soula, 31 400 Toulouse

Remerciements

Le logiciel LAMMI est issu d'un long travail de collaboration entre EDF R&D et le Cemagref sur la mise au point de protocoles d'application de la méthode des microhabitats. Catherine Sabaton et Yves Souchon ont été à l'origine et au cœur de partenariat. LAMMI ne saurait donc être diffusé sans de sincères remerciements à Catherine et Yves pour leur enthousiasme et leur engagement dans cette démarche, qui ont permis d'aboutir aujourd'hui au logiciel. Nos remerciements vont également plus largement à l'ensemble des équipes qui ont travaillé à l'élaboration de ces protocoles d'application.

C'est dans cet esprit de discussion et de partage que nous diffusons le logiciel LAMMI finalisé, en espérant qu'il facilitera l'application du protocole présenté et plus largement qu'il contribuera à l'application de la méthode des microhabitats en France. Le logiciel ainsi que le guide utilisateur et le présent guide méthodologique sont téléchargeables librement sur Internet (<http://innovation.edf.com/>). Une boîte mail d'assistance pour toutes questions relatives au protocole et au logiciel est également mise en place : assistance-lammi@edf.fr.

Sommaire

AVANT PROPOS	1
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
1. INTRODUCTION	5
2. PRINCIPE DE LA METHODE	7
3. PROTOCOLE D'APPLICATION EDF R&D DE LA METHODE DES MICROHABITATS	7
3.1. GRANDES ETAPES DE MISE EN ŒUVRE	7
3.2. CAMPAGNES DE TERRAIN	9
3.2.1. <i>Segmentation du tronçon et choix des stations étudiées</i>	9
3.2.1.1. La notion de faciès d'écoulement	9
3.2.1.2. Reconnaissance de la rivière	9
3.2.1.3. Choix des unités morphodynamiques d'étude	11
3.2.2. <i>Mesures des paramètres morphodynamiques</i>	12
3.2.2.1. Choix des points de mesures	12
3.2.2.2. Les paramètres mesurés	13
3.3. MODELISATION HYDRAULIQUE	15
3.4. LES ESTIMATIONS D'HABITAT	15
3.4.1. <i>Principe du couplage hydraulique/biologie</i>	15
3.4.2. <i>Mode de calcul des notes d'habitat</i>	21
3.4.3. <i>La fraie (ou reproduction)</i>	23
3.5. LES INFORMATIONS FOURNIES PAR LA METHODE	24
4. CONCLUSION-CHOIX D'UN DEBIT RESERVE	25
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	27
ANNEXE 1 - EXTRAITS LOI SUR L'EAU ET LES MILIEUX AQUATIQUES (2006)	31
ANNEXE 2 - EXEMPLES DE TERMINOLOGIES DES TYPES D'ECOULEMENT	32
ANNEXE 3 - MODELISATION HYDRAULIQUE SIMPLIFIEE	34
ANNEXE 4 - PRECONISATIONS D'INTERPRETATIONS DES RESULTATS EXTRAITES DU GUIDE METHODOLOGIQUE DU LOGICIEL EVHA (CEMAGREF)	36

1. Introduction

L'impact écologique des barrages et de leur fonctionnement sur les tronçons de rivière influencés, largement décrit dans la synthèse réalisée par Petts (1984) et par la commission mondiale des barrages (WCD 2000) a fait l'objet dans le monde entier d'importants travaux de recherche lors de ces trois dernières décennies. La problématique des débits à réservé dans les tronçons court-circuités ainsi que celle des éclusées à l'aval de la restitution des usines sont particulièrement étudiées. Les enjeux futurs tendent clairement vers l'instauration d'un meilleur équilibre entre l'usage hydroélectrique et le fonctionnement écologique des cours d'eau sur lesquels ont été construits les ouvrages.

Les législations relatives à la protection du milieu aquatique sont spécifiques à chaque pays et même à chaque Etat aux Etats-Unis. En France, dès 1984, la « Loi Pêche » - suivie de la « Loi sur l'Eau » en 1992 - a imposé de nouvelles contraintes établissant une valeur plancher minimale pour le débit réservé : au moins 1/40^{ème} du module annuel pour tout aménagement, puis au moins le 1/10^{ème} du module¹ lors du renouvellement de la concession de l'ouvrage (valeur seuil issue des travaux de Tennant 1976). Le débit effectivement défini doit « garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces peuplant le cours d'eau avant aménagement ». La nouvelle "Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques" de 2006 (voir annexe 1) impose le passage à un débit plancher égal au 1/10^{ème} du module pour tous les aménagements dès 2014, avec possibilité de modulation au cours de l'année autour de cette valeur (moyenne annuelle au moins égale au 1/10^{ème} ; le débit doit toujours rester supérieur au 1/20^{ème} du module). Une dérogation à cette valeur du plancher est possible pour les ouvrages permettant la production d'électricité de pointe (plancher du 1/20^{ème}) ou pour les cours d'eau atypiques. La Directive Cadre Européenne sur l'eau, sans fixer de niveau effectif de débit, impose quant à elle une gestion des ouvrages permettant d'atteindre un « bon état écologique » ou un « bon potentiel » des communautés aquatiques, notions à définir selon le compartiment concerné.

Dans ce contexte, les producteurs d'électricité sont souvent confrontés au choix d'un débit à laisser dans la rivière pour concilier les différents usages et la

¹ Pour les ouvrages implantés sur des cours d'eau dont le module dépasse 80 m³/s ces valeurs limites sont divisées par deux (mesure conservée dans la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques).

protection du milieu. La question posée est de savoir comment déterminer, de façon objective, pour un aménagement donné, la plage du débit à résérer la mieux adaptée à ces objectifs. Dès le milieu des années 70, une dynamique importante concernant l'étude de l'influence du débit sur les populations de poissons a été initiée en particulier aux Etats-Unis, puis en France dans les années 80 vu la forte demande soulevée par les renouvellements de concession de nombreux ouvrages. Aux méthodes principalement basées sur l'hydrologie (encore souvent utilisées : Petts 1996 ; Richter *et al.* 1997 ; Tharme et King 1998 ; Tharme 2003) ou sur la seule évolution physique du milieu (Cochnauer 1976 ; White 1976) se sont rajoutées des approches essayant de relier les caractéristiques hydrauliques et le comportement biologique. On a ainsi vu la mise au point et la validation de modèles d'habitat (IFIM/PHABSIM : Stalnaker 1979 ; Bovee 1982 - déclinée en France sous le nom de « Méthode des microhabitats » ; Souchon *et al.* 1989 ; Sabaton et Miquel 1993 ; Ginot *et al.* 1998) qui sont largement utilisés aujourd'hui dans le monde entier (Tharme, 2003). De nombreux travaux ont été effectués pour valider la méthode et la rendre opérationnelle en France (Souchon et Capra 2004). Les travaux de validation effectués de 1990 à 1995 par le Cemagref et la Direction des Etudes et Recherches d'EDF (R&D) en collaboration avec différents laboratoires (ENSA Toulouse, Université de Provence...) ont permis de développer deux protocoles expérimentaux pour la mise en œuvre pratique de cette méthode.

Ces deux protocoles diffèrent par leur approche hydraulique (voir Sabaton *et al.* 1995 pour la comparaison de ces deux protocoles) :

- Le premier, développé par le Cemagref, fait appel à une modélisation hydraulique complète de la station étudiée, particulièrement intéressante pour une rivière non régulée. Le logiciel d'application associé EVHA ainsi que les guides « utilisateurs » (Ginot 1998) et « méthodologique » (Ginot *et al.* 1998) sont téléchargeables gratuitement sur le site du Cemagref de Lyon.
- Le second, développé par la R&D d'EDF est basé sur une modélisation hydraulique simplifiée, calée par des mesures à plusieurs débits, possibles lorsque celui-ci peut être contrôlé.

Le présent guide méthodologique actualise le protocole développé par EDF R&D en 1995 et décrit dans Sabaton *et al.* (1995). Après un rappel succinct de la méthode des microhabitats, la mise en œuvre du protocole est détaillée ainsi que les résultats obtenus.

2. Principe de la méthode

Le principe de la méthode consiste à calculer pour une portion de cours d'eau et un débit donné, un potentiel d'habitat pour une espèce ou le stade d'une espèce donnée. Ce potentiel, exprimé qualitativement (Valeur d'Habitat, VHA, note de 0 à 1) ou quantitativement (Surface Pondérée Utile, SPU = VHA * surface mouillée), prend en compte les exigences du poisson pour des paramètres morphodynamiques jugés représentatifs de l'habitat : la hauteur d'eau, la vitesse, le substrat. En effet, une espèce à un stade de vie donné peut survivre dans de nombreux types d'habitat, mais préfèrera celui qui réunira les conditions de hauteur d'eau, vitesse et substrat les plus favorables à son développement. Les préférences pour les différents paramètres morphodynamiques qui constituent un habitat, sont traduites à l'aide d'un indice allant de 1 à 0 selon que les conditions sont plus ou moins satisfaisantes pour l'espèce considérée (« courbes de préférence d'habitat »). Ces dernières sont produites par espèce par stade de développement, pour chacun des différents paramètres retenus.

Dans la pratique, le tronçon de rivière étudié est divisé en surfaces élémentaires homogènes du point de vue de l'habitat, pour lesquelles sont mesurés les paramètres d'habitat (hauteur d'eau, vitesse et substrat) à un débit donné. Une modélisation hydraulique de l'évolution de ces paramètres est ensuite réalisée à partir de leur mesure à trois ou quatre débits différents. Enfin, à l'aide des courbes de préférence établies pour l'espèce considérée au stade étudié, la note de préférence d'habitat peut être calculée pour les différents débits de la gamme. L'agrégation des notes obtenues sur toutes les surfaces élémentaires homogènes composant la station permet d'obtenir une note de qualité d'habitat en fonction du débit sur la station totale, sous la forme d'une VHA ou d'une SPU.

3. Protocole d'application EDF R&D de la méthode des microhabitats

3.1. Grandes étapes de mise en œuvre

Le domaine d'application de la méthode des microhabitats est caractérisé par : une pente comprise entre 2 et 50 %, une largeur inférieure à 20 m et un module inférieur à 30 m³/s.

Le protocole d'application de la méthode des microhabitats développé par

EDF R&D se décompose en cinq grandes étapes illustrées figure 1 :

1. reconnaissance du tronçon d'étude, repérage éventuel de secteurs homogènes et segmentation en faciès d'écoulement ;
2. choix de stations² représentatives du tronçon ;
3. mesures morphodynamiques détaillées et modélisation hydraulique ;
4. couplage habitat physique/modèles biologiques : calcul des notes de qualité et de quantité d'habitat piscicole ;
5. analyse des résultats et aide à la détermination d'un débit réservé (ou d'un débit de base).

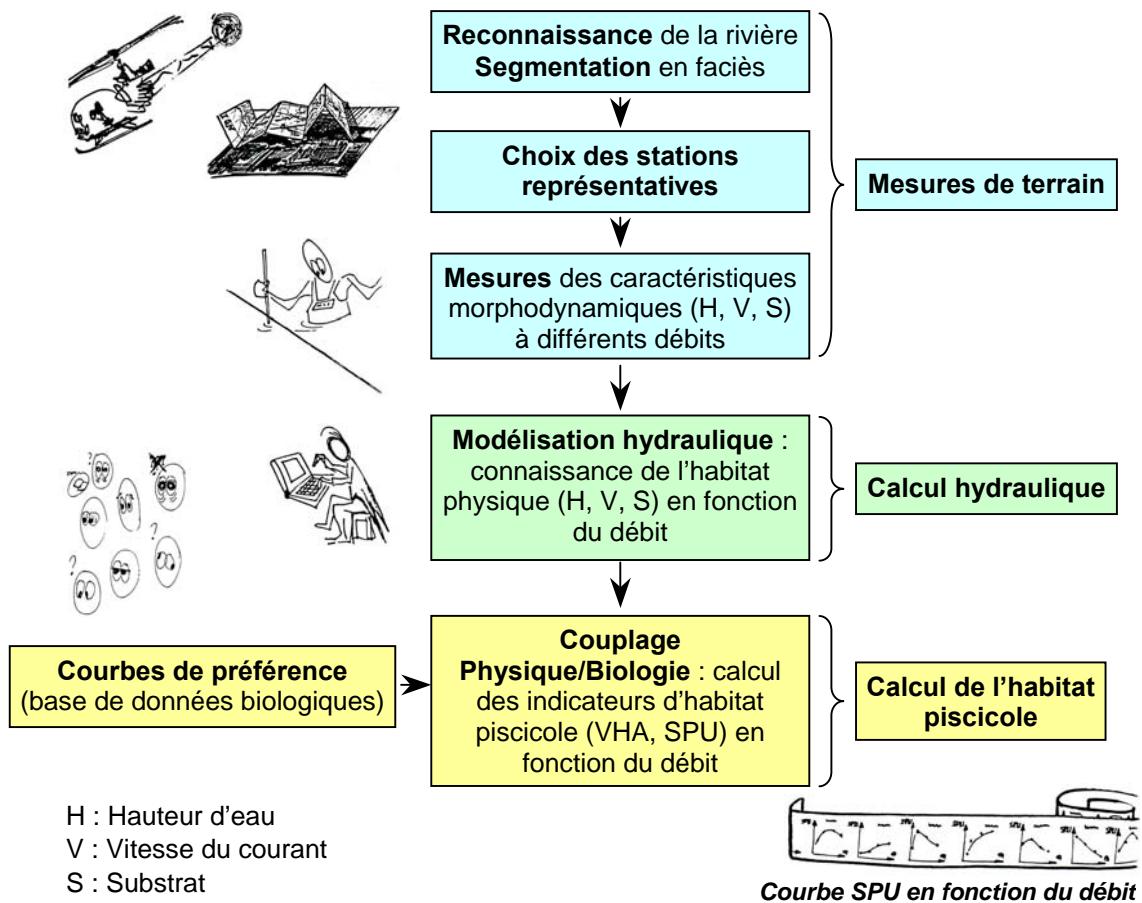


Figure 1 : étapes du protocole EDF R&D de la méthode des microhabitats
(d'après Sabaton *et al.* 1995)

² Une station d'étude est composée de plusieurs faciès d'écoulement généralement contigus.

3.2. Campagnes de terrain

3.2.1. Segmentation du tronçon et choix des stations étudiées

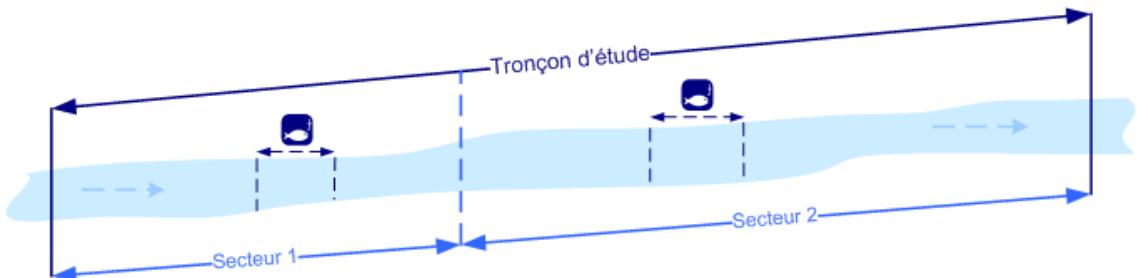
La segmentation en faciès d'écoulement du tronçon étudié ainsi que la détermination des stations de mesures choisies pour le représenter sont à réaliser selon une démarche expliquée au paragraphe ci-dessous. Elle est similaire à celle adoptée dans le protocole EVHA (Ginot *et al.* 1998).

3.2.1.1. La notion de faciès d'écoulement

La rivière est une succession de **faciès d'écoulement**, qui correspondent à des configurations morphodynamiques différentes liées au format général de la vallée (géologie, largeur, pente) et « affinées » à plus petite échelle par les variations locales de pente, de nature et de cohésion du substrat du lit et des berges et de la végétation. L'hydrologie construit et entretient ces formes et renouvelle les substrats, par des débits peu fréquents d'un ordre de retour deux ans (un à cinq ans) et participe à la dynamique de l'habitat par la distribution hétérogène des vitesses, des hauteurs d'eau, de la turbulence. Pour définir le plus objectivement possible ces faciès, il a fallu les décrire, les mesurer, les classer à partir d'observations sur un grand nombre de rivières. Plusieurs terminologies ont ainsi vu le jour (voir annexe 1 pour une présentation de celles proposées par Malavoi 1989, Chaveroche 1990, Aadland 1993, Delacoste *et al.* 1995 et Malavoi et Souchon 2002). Le type de faciès étant un élément fort de la stratification, les opérateurs doivent se référer à une nomenclature précise et systématiquement bien indiquer à quelle référence ils se rattachent.

3.2.1.2. Reconnaissance de la rivière

La figure 2 présente le schéma général d'un tronçon d'étude (qui peut éventuellement être divisé en sous unités homogènes en terme de conditions d'écoulement, appelées secteurs), représenté par une ou plusieurs station(s) de pêche.



Station d'inventaire piscicole

Figure 2 : schéma d'un tronçon d'étude

La longueur du **tronçon** à étudier est à définir en fonction de la longueur du cours d'eau influencé : il s'agit en général de la totalité d'un tronçon court-circuité (de quelques centaines de mètres à environ 15-20 kilomètres) et d'une longueur minimum de quelques kilomètres à dizaines de kilomètres en aval d'un ouvrage fonctionnant en éclusées en fonction de la distance d'amortissement (Lauters 1992). L'ensemble du tronçon étudié doit ensuite être prospecté afin d'identifier la succession des différents **faciès d'écoulement** le composant à l'aide de la classification choisie et de noter leur longueur.

Ce repérage peut s'effectuer à pied ou en bateau en descendant la rivière quand les accès aux berges le permettent. L'usage de photos aériennes peut être utile : les outils Geoportail[©] et Google Earth[©] peuvent être intéressants pour distinguer les secteurs ainsi que les macroformes rencontrés le long du tronçon (selon la largeur du cours d'eau et l'emprise de la ripisylve sur celui-ci, l'interprétation peut être plus délicate). Par ailleurs, la BD TOPO[®] proposée par l'IGN[©] constitue un élément précieux. Lorsque les accès sont difficiles, voire impossibles, on pourra avoir recours à un hélicoptère, à un ULM autorisant des prises de vue vidéo. La phase de reconnaissance préalable du tronçon à étudier est primordiale et doit être effectuée par un expérimentateur averti.

L'évolution du profil en long, d'éventuelles disparités amont-aval, ou la présence d'apports intermédiaires, conduisent éventuellement à découper le tronçon d'étude en **secteurs** qui seront étudiés spécifiquement. Ces secteurs sont déterminés en fonction des changements dans le profil du cours d'eau et en fonction de l'arrivée des principaux apports. Ces apports intermédiaires devront être évalués, voire mesurés, en fonction de la saison. Lors du calcul de la capacité d'accueil d'un secteur

donné pour un débit réservé délivré à l'aval de l'aménagement, les conditions effectives d'habitat devront en effet être évaluées pour le débit y transitant, c'est à dire pour le débit réservé augmenté de ces apports. Afin d'éviter toute ambiguïté d'interprétation, il est toutefois nécessaire de retranscrire les résultats en terme de débit délivré au barrage, seule valeur officielle contrôlable.

3.2.1.3. Choix des unités morphodynamiques d'étude

La figure 3 est un schéma d'une station type, constituée de faciès, représentés chacun au moins par deux transects.

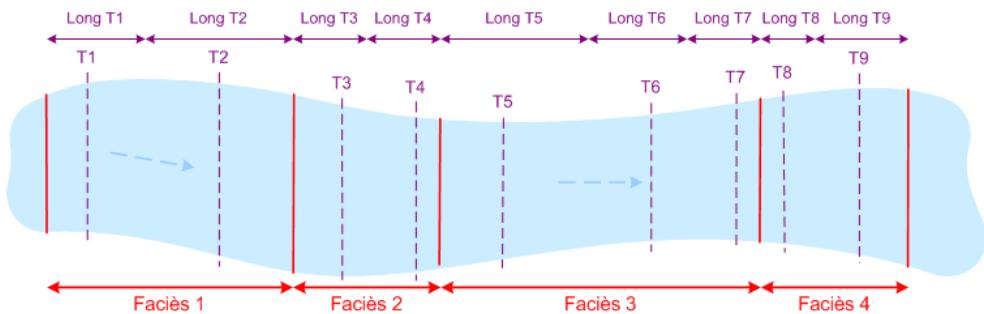


Figure 3 : schéma d'une station d'étude

Le choix des **stations** représentatives du tronçon (ou des différents secteurs s'il y a lieu) s'effectue, comme la segmentation du tronçon d'étude, selon une démarche similaire à celle préconisée dans le guide méthodologique du logiciel EVHA (Ginot *et al.* 1998) : une station comprendra au moins deux séquences de type "rapide-lent", soit une longueur correspondant à 10 à 14 fois la largeur au débit de plein bord. Contrairement au protocole EVHA, le protocole R&D d'application de la méthode des microhabitats autorise la sélection de faciès d'écoulement non nécessairement contigus pour définir une station. Néanmoins, lorsque les mesures d'habitat s'accompagnent d'autres relevés (des inventaires piscicoles par exemple), il semble plus judicieux de conserver les mêmes stations pour l'ensemble de l'étude et donc de choisir des stations composées de faciès d'écoulement contigus. Les préconisations du guide méthodologique du logiciel EVHA (Ginot *et al.* 1998) quant au nombre de stations à choisir pour représenter le tronçon sont tout aussi valables pour le protocole R&D : « d'un point de vue statistique, il faut au moins 3 ou 4 'individus' pour représenter convenablement un type de faciès (ou tout au moins se faire une idée de leur variabilité). Cela correspond à deux stations. On retiendra donc

normalement deux stations par tronçon sauf si la variabilité des faciès d'écoulement est très faible, ou si le tronçon est très court. ».

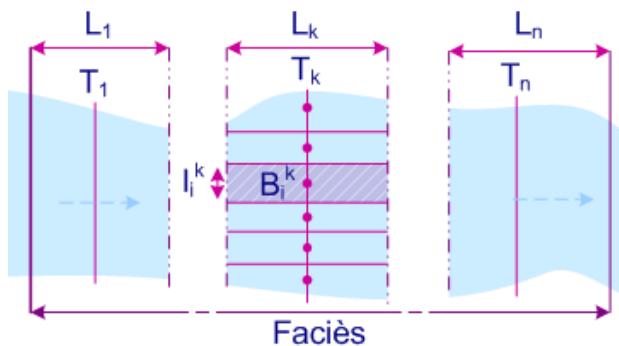
Pour représenter chaque faciès d'écoulement composant une station, deux à quatre **transects** (Chaveroche 1990 cite par exemple au minimum deux transects pour les chenaux lotiques, les plats et les radiers ; trois pour les mouilles et les chenaux lenticules ; quatre pour les rapides et les cascades) sont matérialisés par des décamètres tendus entre les deux rives du cours d'eau. Ces transects sont choisis de manière à représenter au mieux l'écoulement du faciès. On pourra, par exemple, dans le cas de trois transects et en l'absence d'éléments morphodynamiques déterminants, prendre un transect dans chacun des deux tiers amont et aval, et un dernier dans la partie centrale. Ils serviront de repères aux mesures de terrain effectuées. La longueur de représentativité de chaque transect au sein du faciès auquel il appartient doit être systématiquement notée.

3.2.2. Mesures des paramètres morphodynamiques

Les mesures des paramètres morphodynamiques sont effectuées à plusieurs débits le long des transects préalablement déterminés.

3.2.2.1. Choix des points de mesures

Dans un faciès, des mesures de hauteur d'eau et de vitesse locales sont effectuées le long de N transects (notés T_k , $k = 1, N$) pour différents débits (figure 4). Un relevé des pourcentages de recouvrement des différents types de substrat observés sur la cellule élémentaire représentée par le point de mesure B_i^k est également réalisé.



Le point B_i^k représente, en hauteur d'eau, vitesse et substrat, la zone hachurée supposée homogène (de longueur L et de largeur I_i^k).

Figure 4 : étude d'un faciès - points de mesures le long d'un transect

Pour chaque faciès, les mesures sont effectuées sur chaque transect à intervalle régulier (50 cm à 1 m selon le faciès en fonction de son homogénéité et surtout de sa largeur), en prenant soin pour le débit suivant de **se replacer exactement au même point de mesure**. Ces mesures systématiques « au hasard » par rapport à l'écoulement permettent d'obtenir une bonne estimation des hauteurs d'eau et vitesses moyennes le long du transect, estimation de plus indépendante de l'expérimentateur. Cette méthodologie est recommandée dans l'optique de modélisation hydraulique simplifiée et de reconstitution « par homothétie » des vitesses locales associées utilisées dans cette approche.

3.2.2.2. Les paramètres mesurés

Hauteur d'eau : elle peut éventuellement prendre une valeur nulle lorsque le point est hors d'eau (présence d'un bloc émergé par exemple).

Vitesse : la vitesse retenue doit représenter la vitesse moyenne sur la colonne d'eau au point de mesure. Ici, elle est mesurée au tiers de la hauteur à partir du fond (considérée comme proche de la vitesse moyenne dans les lois classiques en hydraulique).

Substrat : Le substrat est décrit visuellement suivant une codification à bien déterminer. L'appellation des divers types de substrat pouvant être différente selon l'expérimentateur, il faut veiller à se recaler systématiquement par rapport au code correspondant à la courbe de préférences utilisée.

Les codes préconisés par le Sandre (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau) sont ceux de Wentworth (1922), modifiés par Malavoi et Souchon (1989). Les courbes de préférences établies par le Cemagref codent quant à elles le substrat d'après Malavoi (1989) qui regroupe les 12 classes de substrat de Malavoi et Souchon (1989) en 8. Les valeurs de substrat entrées dans le logiciel LAMMI doivent quant à elles être codées d'après Cailleux (1954) (voir tableau 1 pour la correspondance entre ces différentes codifications).

Tableau 1 : codification du substrat selon le Sandre et le Cemagref

Nom de la classe granulométrique	Taille de l'élément (mm)	Code Sandre (Malavoi et Souchon 1989)	Code Cemagref (Malavoi 1989)	Code EDF R&D (Cailleux 1954)	
				Taille elt (mm)	Code
Argiles	< 0,0039	1	1 (litière)	< 0,062	1
Limons	0,0039-0,0625	2	2		
Sables Fins	0,0625-0,5	3	3	0,062 à 2	2
Sables Grossiers	0,5-2	4			
Graviers Fins	2-8	5	4	2 à 20	3
Graviers Grossiers	8-16	6			
Cailloux Fins	16-32	7	5	20 à 100	4
Cailloux Grossiers	32-64	8			
Pierres Fines	64-128	9	6	100 à 200	5
Pierres Grossières	128-256	10		200 à 600	6
Blocs	256-1024	11	7	> 600	7
Rochers	> 1024	12	8	dalles	8

Pour chaque point de mesure, les pourcentages de surface occupée par les différents types de granulométrie présents dans le m² autour du point (si les mesures sont effectuées tous les mètres) doivent être relevés à l'aide d'un gabarit, avec des vides standards correspondant aux axes b³ des différents éléments granulométriques.

Toutes ces mesures (hauteur d'eau, vitesse et substrat) sont effectuées à trois ou quatre débits couvrant la gamme des débits à explorer. Il est à noter que la description du substrat le long du transect, effectuée généralement une seule fois à bas débit (en raison d'une meilleure visibilité) doit être réalisée également sur les parties hors d'eau en rive gauche et en rive droite du transect ou au milieu du transect (îlot) pour anticiper la mise en eau de ces zones lors de l'élévation du débit.

³ L'axe b correspond au petit axe (ou plus petit des diamètres) des éléments du substrat.

3.3. Modélisation hydraulique

La caractérisation des variations de l'hydraulique de la rivière (hauteurs d'eau et vitesses) avec le débit est la première étape avant tout couplage au volet biologie du modèle.

L'analyse complète et précise de tous les écoulements sur les quelques kilomètres de tronçon à étudier est difficile à réaliser. L'étude est donc effectuée sur quelques stations supposées caractéristiques et dont le comportement hydraulique permettra de représenter l'évolution de l'ensemble du tronçon. Le protocole R&D consiste alors en des mesures en quelques portions représentatives, puis en une modélisation hydraulique simplifiée pour interpoler les valeurs des caractéristiques hydrauliques entre plusieurs débits étudiés. L'utilisation d'un modèle hydraulique moins sophistiqué que dans d'autres approches est compensée par la possibilité de se recalier sur des mesures effectuées à plusieurs débits. Ce recalage permet d'obtenir une bonne interpolation des hauteurs d'eau et vitesses dans la gamme des débits explorés et donc une bonne estimation de la valeur d'habitat des stations étudiées.

3.4. Les estimations d'habitat

3.4.1. Principe du couplage hydraulique/biologie

Les étapes précédentes permettent de connaître - soit directement à l'aide des mesures, soit après mise en oeuvre du modèle hydraulique simplifié - l'évolution des caractéristiques hydrauliques (hauteurs d'eau et vitesses) avec le débit en chaque point de mesure des faciès représentatifs.

Le couplage des caractéristiques hydrauliques avec les courbes de préférence permet alors d'estimer les notes de qualité d'habitat, par cellule élémentaire au niveau du point de mesure, que l'on somme ensuite pour obtenir les notes à l'échelle des faciès d'écoulement puis des stations de mesures.

Rivières salmonicoles

Le Cemagref et EDF utilisent les courbes données par Bovee (1978) pour les stades fraie, alevin et juvénile de la truite fario. Ces courbes ont été validées lors d'expérimentations effectuées sur de nombreux cours d'eau en France (Belaud *et al.* 1989 ; Chaveroche et Sabaton 1989 ; Souchon *et al.* 1989). En ce qui concerne le stade adulte, ces expérimentations ont conduit à retenir la courbe proposée par Bovee (1978) pour le paramètre vitesse et des courbes modifiées pour la hauteur d'eau et le substrat. Les courbes actuellement utilisées sont données figure 5. Ces courbes de préférence ont été établies pour le substrat à partir du code Cemagref. Les notations Cemagref et R&D sont donc mises en parallèle en abscisse.

Des courbes ont été tracées par le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) de Rennes et EDF R&D pour le saumon atlantique (reproduction, stades alevin et juvénile) à partir de l'expérience du CSP et de l'INRA sur les cours d'eau bretons. Elles sont données figure 6.

Rivières non salmonicoles

En France dans les années 90, un effort de recherche a été mené afin d'établir des courbes de préférence d'habitat pour les espèces cyprinicoles (Pouilly 1994, Lamouroux *et al.* 1999). On dispose actuellement de courbes de préférence pour 26 espèces de poissons (à différents stades)⁴.

⁴ Voir Souchon *et al.* (2003) : truite fario et saumon atlantique (inclus dans LAMMI) ; ombre commun, anguille, barbeau fluviatile, blageon, chabot, chevaine, gardon, goujon, loche franche, perche fluviatile, perche soleil, vairon (sur demande au Cemagref) ; ablette, bouvrière, brème bordelière, brème commune, brochet, hotu, poisson-chat, rotengle, spirlin, tanche, toxostome et vandoise (Lamouroux *et al.* 1999).

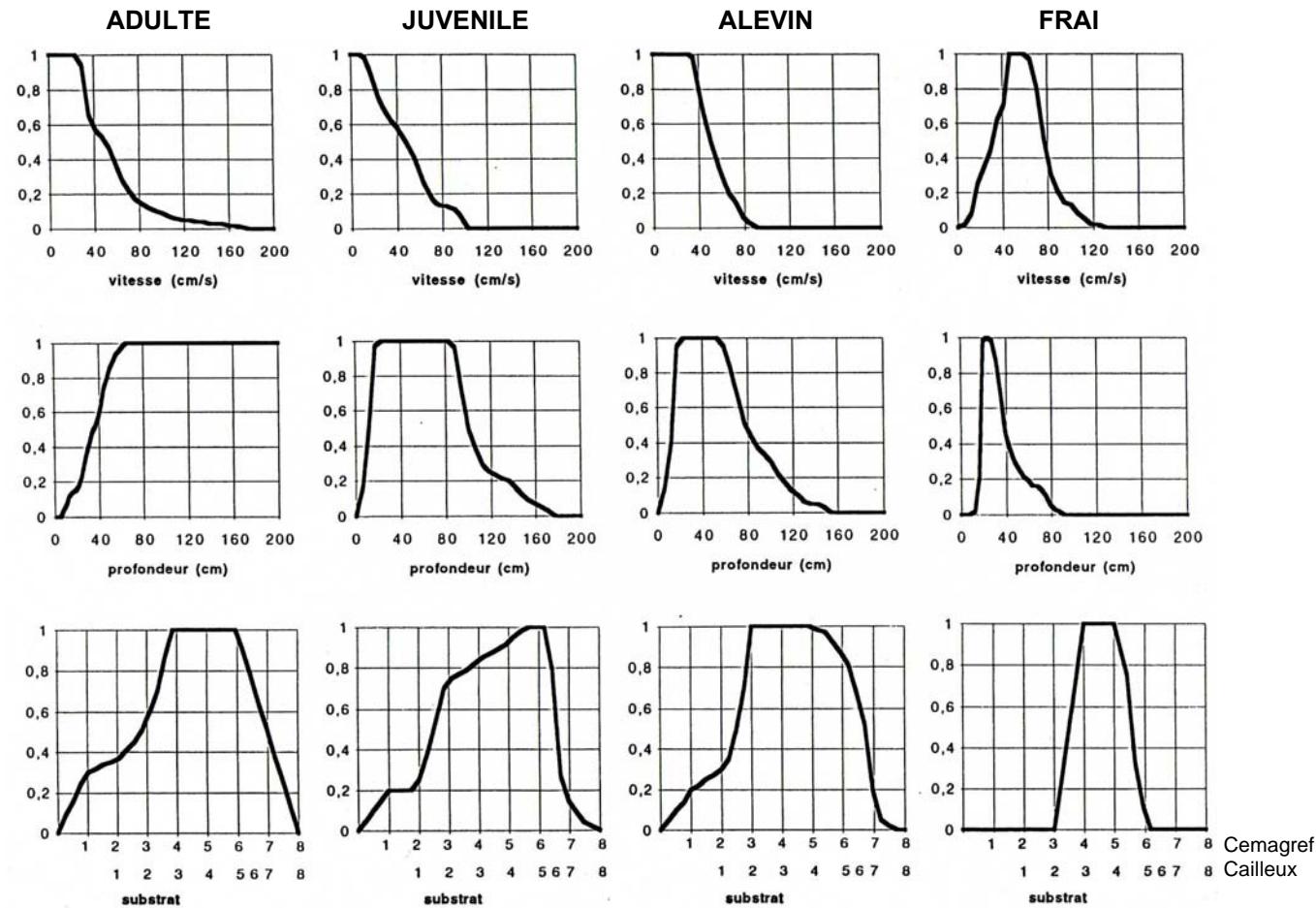


Figure 5 : courbes de préférence de la truite fario adulte pour les paramètres hauteur d'eau, vitesse et substrat

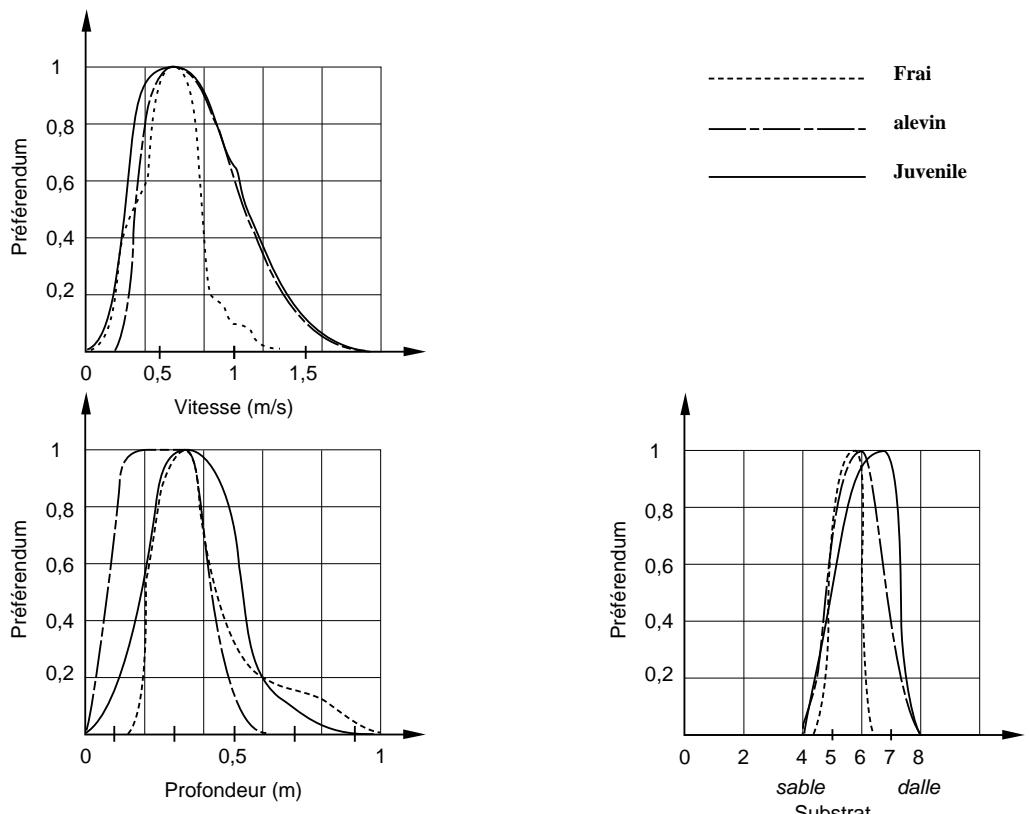


Figure 6 : courbes de préférence du saumon atlantique pour les paramètres hauteur d'eau, vitesse et substrat (CSP-INRA-EDF R&D - Courot 1988)

A partir de ces courbes, on détermine, pour tout débit compris dans la gamme à explorer, les préférences (comprises entre 0 et 1) correspondant aux estimations des paramètres d'habitat (profondeur, vitesse, substrat) de chacune des aires élémentaires supposées homogènes composant le tronçon (zone hachurée sur la figure 7).

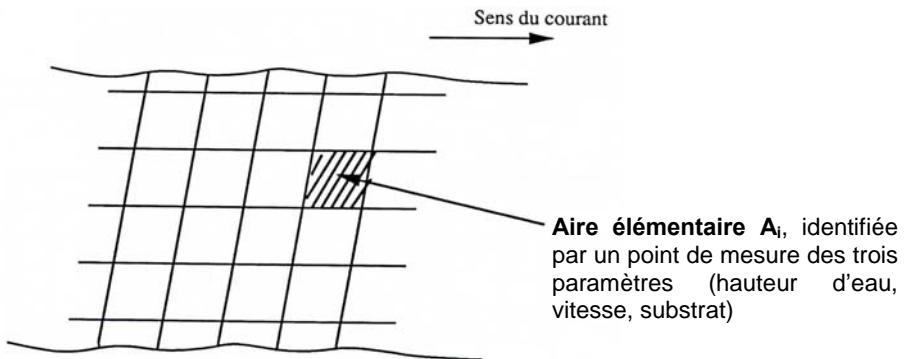


Figure 7 : aires élémentaires qui composent la station

Ces préférences permettent de calculer la valeur d'habitat et la surface pondérée utile de chaque cellule pour le débit étudié (figure 8). On calcule ensuite les notes d'habitat de chaque faciès représentatif, puis de chaque station, de chaque secteur s'il y a lieu et enfin du tronçon total, en affectant à chaque faciès un poids égal au pourcentage de surface de la station ou du secteur qu'il représente.

Remarque

La qualité d'habitat d'un site est habituellement quantifiée à l'aide de la SPU. Cet indice prend simultanément en compte les aspects 'qualité' et 'quantité' de l'habitat disponible.

Un deuxième indice a également été défini : la VHA qui privilégie l'aspect qualitatif puisqu'elle n'intègre pas la quantité d'eau présente dans la rivière.

Il est à noter que, pour les sites de faible module, des VHA peuvent paraître satisfaisantes pour certains débits alors même que les quantités d'eau correspondantes disponibles dans la rivière ne sont pas suffisantes pour permettre le développement des populations. Le choix d'un débit réservé doit donc dans tous les cas correspondre à un débit pour lequel les valeurs prises par les deux indices se situent simultanément dans une gamme convenable.

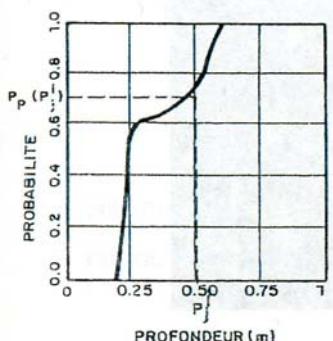
La figure 8 synthétise le principe du calcul des notes d'habitat par la méthode des microhabitats.

1- Mesures des paramètres morphodynamiques (hauteur d'eau, vitesse et substrat) au débit Q_j pour chacune des aires élémentaires homogènes A_i composant la station d'étude

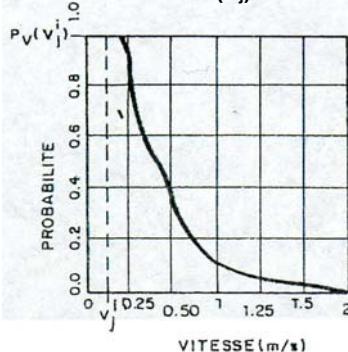
	Aire A_1	...	Aire A_i	...	Aire A_n
Hauteur d'eau	H_j^1		H_j^i		H_j^n
Vitesse	V_j^1		V_j^i		V_j^n
Substrat	S_j^1		S_j^i		S_j^n

2- Détermination des préférences d'habitat P_p , P_v et P_s correspondant à la valeur des paramètres morphodynamiques pour ce débit Q_j à l'aide des courbes de préférence d'habitat

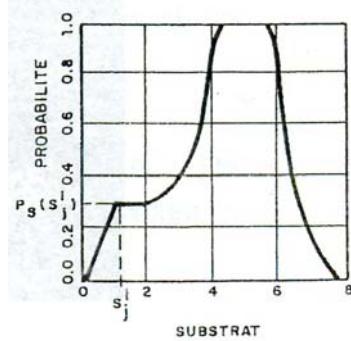
$$\text{Ex : } P_p(P_j) = 0.7$$



$$\text{Ex : } P_v(V_j) = 1$$



$$\text{Ex : } P_s(S_j) = 0.3$$



3- Calcul de la note d'habitat de chaque aire A_i au débit Q_j puis Σ des notes d'habitat sur la station

Échelle :

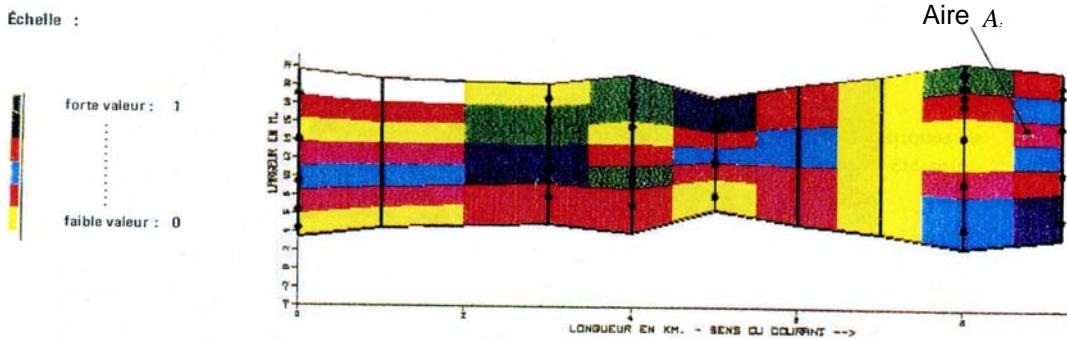


Figure 8 : étapes de l'estimation des notes d'habitat pour une station d'étude

3.4.2. Mode de calcul des notes d'habitat

Pour tout débit de la gamme, le calcul des notes d'habitat s'effectue comme indiqué ci-après.

- Pour chaque transect et chaque débit Q* mesuré, calcul des hauteurs d'eau et vitesses moyennes le long du transect : \bar{V} et \bar{H} .
- Pour chaque transect, détermination des lois d'évolution des hauteurs moyennes et vitesses en fonction du débit : $\bar{V} = a_v Q^{b_v}$ et $\bar{H} = a_h Q^{b_h}$.

Les coefficients a_v , b_v , a_h et b_h , dépendants du transect, sont estimés par ajustement à l'aide des mesures disponibles.

Ces lois permettent de déterminer les hauteurs moyennes et vitesses le long du transect dans toute la gamme de débits étudiée. Pour tous ces débits, on peut alors reconstituer les hauteurs d'eau et vitesses locales le long du transect par homothétie à partir de l'un des débits effectivement mesurés (comme indiqué en annexe 3) et calculer alors la valeur d'habitat à partir du transect.

- Calcul des notes d'habitat de chacun des faciès représentatifs

Si le faciès est représenté par N transects, les mesures des paramètres morphodynamiques sont effectuées le long de chaque transect (voir figure 4 page 12).

La valeur d'habitat et la surface pondérée utile du faciès sont alors estimées de la façon suivante :

$$VHA_{\text{faciès}} = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^P \psi_k^i L_k l_i^k}{\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^j L_k l_i^k} ; \quad SPU_{\text{faciès}} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^P \psi_k^i L_k l_i^k = VHA_{\text{faciès}} * Surf_{\text{faciès}} (\text{m}^2)$$

avec :

L_k : longueur représentée par le transect k
le point M_k^i

l_k^i : largeur représentée par

N : nombre de transects dans le faciès
sur le transect k

j : nombre de points mesurés

P : nombre de points mesurés sur le transect
le faciès

$Surf_{\text{faciès}}$: surface occupée par

ψ_k^i : produit des préférences au point i mesuré sur le transect k (M_k^i)

Exemple : Pour chaque point le long d'un transect, une mesure des trois paramètres morphodynamiques est réalisée. La valeur de chaque paramètre est ensuite reportée sur la courbe de préférence correspondante. Le produit des trois valeurs de préférence est pondéré par la surface représentée par le point de mesure. Donc, si en un point représentant 50 cm² du transect, on mesure H = 36 cm, V = 40 cm/s et S = 50% Gros Bloc + 50% petit bloc (numéros 6 et 7 dans le code Cemagref), alors en ce point pour la truite adulte, $SPU_{élémentaire} = (0.58 * 0.60 * 0.62) * 0.005 = 0.00108 \text{ m}^2$.

La SPU du transect est alors la somme de la $SPU_{élémentaire}$ calculée pour chaque point de mesure qui compose le transect. La SPU du faciès est obtenue de la même manière, en additionnant la SPU de chaque transect qui compose le faciès.

- Calcul des notes d'habitat de chaque station puis du tronçon entier

Chaque faciès caractéristique mesuré représente une certaine surface d'une station ou du tronçon total. On estime alors la VHA et la SPU de la station (du secteur ou du tronçon) par :

$$VHA_{totale} = \frac{\sum_{f=1}^P l_f L_f VHA_f}{\sum_{f=1}^P l_f L_f} ; \quad SPU_{totale} = \sum_{f=1}^P l_f L_f VHA_f \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{avec :}$$

P : nombre de faciès f

l_f : largeur

moyenne du faciès f

L_f : longueur de station (ou de tronçon) représentée par le faciès f

VHA_f : valeur d'habitat du faciès f calculée comme indiqué paragraphe ci-dessus

Remarque

En ce qui concerne le substrat, le preferendum lié au substrat - $P_s(S_j^i)$ - correspondant à la cellule i au débit Q_j est calculé de la manière suivante : $P_s(S_j^i) = \sum_{i=1}^8 (P_s)_i^j$ Pref (type substrat s)

$(P_s)_i^j$: pourcentage de substrat de type s (8 possibles) observé au point i à Q_j (a priori indépendant de Q_j)

Pref (type substrat s) : valeur du preferendum relatif au type de substrat s (lue sur la courbe de préférence).

Exemple : Le tableau 2 présente un exemple de calcul de la SPU pour une station de microhabitat et pour un secteur plus large représenté par cette station (composé donc des mêmes types de faciès).

Tableau 2 : exemples de calcul de la SPU pour une station et un secteur

Station microhabitat (4 faciès, surface 480 m ²)		Secteur d'étude (4 faciès, surface 1580 m ²)	
$VHA_{faciès1} = 0.27$	$Surf_{faciès1/station} = 120 \text{ m}^2$	$VHA_{faciès1} = 0.27$	$Surface_{faciès1/secteur} = 380 \text{ m}^2$
$VHA_{faciès2} = 0.42$	$Surf_{faciès2/station} = 200 \text{ m}^2$	$VHA_{faciès2} = 0.42$	$Surface_{faciès2/secteur} = 470 \text{ m}^2$
$VHA_{faciès3} = 0.12$	$Surf_{faciès3/station} = 90 \text{ m}^2$	$VHA_{faciès3} = 0.12$	$Surface_{faciès3/secteur} = 530 \text{ m}^2$
$VHA_{faciès4} = 0.37$	$Surf_{faciès4/station} = 70 \text{ m}^2$	$VHA_{faciès4} = 0.37$	$Surface_{faciès4/secteur} = 200 \text{ m}^2$
$VHA_{station} = (32.4 + 84 + 10.8 + 25.9) / 480 = 0.32$		$VHA_{secteur} = (102.6 + 197.4 + 63.6 + 74) / 1580 = 0.28$	
$SPU_{station} = 32.4 + 84 + 10.8 + 25.9 = 153 \text{ m}^2$		$SPU_{secteur} = 102.6 + 197.4 + 63.6 + 74 = 438 \text{ m}^2$	

3.4.3. La fraie (ou reproduction)

Pour la reproduction, l'opérateur doit être vigilant et veiller à réaliser une étude spécifique à cette problématique. Il se peut, en effet, que le ou les faciès représentatifs choisis ne contiennent aucune frayère potentielle identifiée alors que le tronçon offre des zones de reproduction effectives. Si un problème spécifique lié à la reproduction semble se poser, il conviendra d'effectuer une étude de microhabitats plus limitée aux aires potentielles de frayères afin de déterminer le débit nécessaire à leur bon fonctionnement. L'opérateur devra veiller à choisir des stations qui représentent bien cette problématique sur le tronçon, voire quantifier précisément les zones de reproduction sur ces stations. Une bonne connaissance de la morphologie de tout le tronçon reste également indispensable pour identifier la présence de zones ou de faciès critiques, notamment de **passages infranchissables** pour des hauteurs d'eau trop faibles ; une étude spécifique de ces zones peut alors permettre, le cas échéant, de déterminer le débit minimum à réservier pour les rendre franchissables.

3.5. Les informations fournies par la méthode

Les documents et résultats utiles à l'analyse de l'habitat du tronçon étudié fournis par la méthode des microhabitats sont :

- les courbes d'évolution avec le débit des valeurs d'habitat et des surfaces pondérées utiles ;
- les cartographies représentant les variables physiques et/ou les valeurs d'habitats éventuellement établies à différents débits ;
- les chronologies de SPU lorsque l'on se trouve en situation de débit variable (et si l'on dispose de chronologies de débits) seront disponibles dans une version ultérieure de LAMMI. On pourra alors analyser les saisons et les stades critiques pour envisager une éventuelle modulation du débit réservé.

Les résultats exprimés au niveau de faciès, de stations, d'un secteur ou encore d'un tronçon entier doivent être resitués dans le contexte général du cours d'eau étudié (extrapolation longitudinale et cycle hydrologique). Ils doivent faire l'objet d'une expertise biologique qui tienne compte de connaissances sur les cycles biologiques des espèces clés, leur phasage saisonnier, de leur complémentarité et des autres facteurs déterminant le fonctionnement de l'écosystème. Un exposé clair des objectifs de gestion retenus facilitera cette interprétation et la restitution des résultats.

4. CONCLUSION-CHOIX D'UN DEBIT RESERVE

Développée depuis plus d'une vingtaine d'années en France, la méthode des microhabitats est fréquemment appliquée dans le cadre des études d'impact réalisées lors des renouvellements de concession des aménagements hydroélectriques. La validité de ses principes est clairement établie. De plus, les résultats des études réalisées ces dernières années ont permis de construire des courbes de préférence pour de nombreuses espèces peuplant les cours d'eau français, en plus de celles initialement établies pour les salmonidés.

On dispose, ce qui est fondamental pour la fiabilité des résultats, de protocoles de mise en oeuvre garantissant une bonne utilisation de la méthode et une bonne estimation des notes de qualité d'habitat. Celui développé par EDF R&D, tout comme celui du Cemagref, se compose : d'une reconnaissance par faciès du tronçon à étudier, de l'identification de stations représentatives de celui-ci, puis de mesures (organisées en transects) sur ces stations de trois paramètres d'habitat (hauteur d'eau, vitesse et substrat).

La méthode des microhabitats apporte une information technique précieuse d'aide à la décision par l'estimation quantitative et qualitative qu'elle fournit sur l'évolution de l'habitat piscicole en fonction du débit. Elle s'avère ainsi un outil pertinent dans le choix du débit à réserver dans les tronçons court-circuités. Il est également judicieux de l'appliquer sur les tronçons à éclusées pour estimer l'habitat au débit de base, qui peut en effet limiter les densités piscicoles⁵ (Lauters 1992).

Les résultats exprimés au niveau de faciès, de stations, d'un secteur ou d'un tronçon entier doivent être restitués dans le contexte général du cours d'eau étudié (extrapolation longitudinale et cycle hydrologique). Ils doivent faire l'objet d'une expertise biologique qui tienne compte de connaissances sur les cycles biologiques des espèces clés, de leur phasage saisonnier, de leur complémentarité et des autres facteurs déterminant le fonctionnement de l'écosystème. Un exposé clair des objectifs de gestion retenus facilitera cette interprétation et la restitution des résultats.

⁵ Résultats du programme de recherche mené sur l'effet des éclusées de 1990 à 1995 par la R&D d'EDF, le Cemagref (Lyon et Aix en Provence), l'ENSAT, les Universités de Toulouse et de Marseille et le CSP.

D'une manière générale, des précautions doivent être prises lors de l'interprétation des résultats. Nous invitons le lecteur à se référer aux préconisations réalisées par le Cemagref dans le guide méthodologique du logiciel EVHA (Ginot *et al.* 1998⁶) permettant l'application du protocole développé par cet organisme (cf. annexe 4). Si les protocoles diffèrent quant à l'option de modélisation hydraulique, le principe de la méthode est le même ainsi que les préconisations qui en découlent.

Il faut également noter que cette méthode ne constitue pas elle-même une règle de choix de débit. Ce dernier est directement lié aux types d'objectifs fixés, que ce soit dans le cadre réglementaire ou dans un cadre plus général d'une gestion de rivière. En ce qui concerne le volet piscicole, ce choix doit tenir compte des différents facteurs susceptibles de modifier l'équilibre de la population de poissons : contextes géographiques, hydrologiques, géologiques, fragmentation du milieu, qualité d'eau, régime thermique, valeur trophique du milieu, habitats offerts aux organismes vivants. L'habitat physique n'est, en effet, pas le seul facteur de variabilité des densités de poissons. La Cellule « Débit Réservé »⁷, mise en place en 1994 en vue d'évaluer l'effet sur les populations de poissons de l'amélioration de la quantité d'habitat disponible via l'augmentation du débit, a montré notamment l'impact prépondérant des crues, de la quantité et de la qualité de surface de fraie disponible, des échanges possibles entre les populations (Sabaton *et al.* 2004, Sabaton *et al.* 2008). Le choix du débit doit donc s'effectuer en s'appuyant sur un maximum d'éléments, dont l'évolution de la qualité de l'habitat physique avec le débit ne constitue qu'une partie.

Dans cette optique, les travaux de Baran (1995) et Capra (1995) ont cherché à relier les variations temporelles de l'habitat aux effectifs de truites de différents cours d'eau. La méthode des Durées Continues d'Habitat Limitant (DCHL) élaboré par Capra *et al.* (1995), qui consiste à recenser les durées continues pendant lesquelles la SPU de la station est inférieure à un seuil donné, constitue un outil pour une interprétation plus fine de la qualité de l'habitat. Enfin, les modèles de dynamiques de population permettent, au-delà de l'habitat, de prendre en compte l'ensemble des paramètres structurant une population piscicole (Gouraud 1999, Gouraud *et al.* 2008).

⁶ Disponible à l'adresse suivante : <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/dynam/evha.shtml>.

⁷ Cellule constituée à l'initiative d'EDF, regroupant différents organismes (Ministère de l'Environnement, Cemagref, Conseil Supérieur de la Pêche, Agences de Bassin, Ecole Nationale Agronomique de Toulouse, EDF/DRD-DPI) et ayant suivi l'impact d'un relèvement de débit réservé sur les populations de truite à l'aval de 8 barrages de 1994 à 2002.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aadland L.P.** (1993). Stream habitat types: their fish assemblages and relationship to flow. North American Journal of Fisheries Management, 13, 790-806.
- Baran P.** (1995). Analyse de la variabilité des abondances de truites communes (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées centrales françaises. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse. 157 pp.
- Belaud A., Chaveroche P., Lim P., Sabaton C.** (1989). Probability-of-use curves applied to brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in rivers of southern France. Regulated Rivers : Research & Management, 3 : 321-336.
- Bovee K.D.** (1978). Probability of Use Criteria For The Family Salmonidae. Paper No. 4 (FWS/OBS 78/07). Cooperative Instream Flow Service Group, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins.
- Bovee K.D.** (1982). A guide to instream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Paper No. 12 (FWS/OBS 82/26). Western Energy and Land Use Team, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins.
- Cailleux A.** (1954). Limites dimensionnelles et noms des fractions granulométriques. Bull. Soc. Géol. Fr., 643-646.
- Capra** (1995). Amélioration des modèles prédictifs d'habitat de la truite fario: échelles d'échantillonnage. Intégration des chroniques hydrologiques. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard - Lyon 1. 282 pp.
- Capra H., Breil P. et Souchon Y.** (1995). A new tool to interpret magnitude and duration of fish habitat variations. Regulated Rivers : Research & Management, 10 (2-4) : 281-289.
- Chaveroche P. et Sabaton C.** (1989). An Analysis of brown trout (*Salmo trutta fario* L.) habitat : the role of qualitative data from expert advice in formulating probability-of-use curves. Regulated Rivers : Research & Management, 3 : 305-319.
- Chaveroche P.** (1990). Recherche sur les préférences d'habitat de la truite fario (*Salmo trutta fario* L.) ; aide à la détermination de la valeur d'un débit réservé. Diplôme de Doctorat de l'Université. Université de Provence.
- Cochnauer T.** (1976). Instream flow techniques for large rivers. In Orsborne J.F. & Allman C.H. (Eds.), Instream flow needs symposium, 387-399. American Fisheries Society.
- Courot A.** (1988). Débit réservé de l'Orne à Rabodanges. Evaluation de la qualité d'habitat piscicole en fonction du débit. Rapport EDF HE-31/88-07. pp 23.

Delacoste M., Baran P., Lek S., Lascaux J.M. (1995). Classification et clé de détermination des faciès d'écoulement en rivières de montagne. Bull. Fr. Pêche Piscic., 337/338/339 : 149-156.

Ginot V. (1998). Logiciel EVHA 2.0. Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière. Guide de l'utilisateur. Cemagref BEA/LHQ et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : Lyon, France. pp 108. Disponible à l'adresse : <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/dynam/evha.shtml>

Ginot V., Souchon Y., Capra H., Breil P., Valentin S. (1998). Logiciel EVHA 2.0. Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière. Guide méthodologique. Cemagref BEA/LHQ et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : Lyon, France. pp 130. Disponible à l'adresse : <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/dynam/evha.shtml>

Gouraud V. (1999). Etude de la dynamique de population de truite commune (*Salmo trutta* L.) à l'aide d'un modèle déterministe. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts. 252 pp.

Gouraud V., Capra H., Sabaton C., Tissot L., Lim P., Vandewalle F., Fahrner G., Souchon Y. (2008). Long-term simulations of the dynamics of trout populations on river reaches bypassed by hydroelectric installations - Analysis of the impact of different hydrological scenarios. River Research and Applications (sous presse).

Lamouroux, N., Capra, H., Pouilly, M., Souchon, Y. (1999). Fish Habitat Preferences In Large Streams Of Southern France. Freshwat. Biol., 42 : 673-687.

Lauters F. (1992). La gestion par éclusées des ouvrages hydroélectriques d'Electricité de France. Enquête auprès des exploitants. Rapport EDF R&D HE31/92-19

Malavoi J.R. (1989). Typologie des Faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 315 : 189-210.

Malavoi J.R. et Souchon Y (1989). Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux. Exemple d'une station sur la Filière (Haute Savoie). Revue de Géographie de Lyon, 64, 252-259.

Malavoi J.R. et Souchon Y (2002). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Note Technique. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. Vol 365/366 : 357-372.

Petts G.E. (1984). Impounded rivers. Perspectives for Ecological Management. Chichester, John Wiley & Sons.

- Petts G.E.** (1996). Water allocation to protect river ecosystems. Regulated Rivers: Research and Management, 12 : 353-365.
- Pouilly M.** (1994). Relations Entre L'habitat Physique Et Les Poissons Des Zones A Cyprinidés Rhéophiles Dans Trois Cours D'eau Du Bassin Rhodanien : Vers Une Simulation De La Capacité D'accueil Pour Les Peuplements. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard - Lyon 1.
- Richter B.D., Baumgartner J.V., Wigington R., Braun D.P.** (1997). How much water does a river need ? Freshwater Biology 37: 231-249. DOI: 10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x.
- Sabaton C. et Miquel J.** (1993). La méthode des microhabitats : un outil d'aide au choix d'un débit réservé à l'aval des ouvrages hydroélectriques. Expérience d'Electricité de France Hydroécologie Appliquée, 5(1) : 127-163.
- Sabaton C., Valentin S., Souchon Y.** (1995). La méthode des microhabitats. Protocoles d'application. EDF Direction des Etudes et Recherches et Cemagref BEA/LHQ. pp. 32.
- Sabaton C., Souchon Y., Merle G., Lascaux J.M., Capra H., Gouraud V., Baran P., Baril D., Lim P., Suard G., Lauters F.** (2004). Groupe de travail national « Cellule débits réservés » - Synthèse des expérimentations. Rapport EDF R&D HP-76/2004/060A.
- Sabaton C., Souchon Y., Capra H., Gouraud V., Lascaux J.M., Tissot L.** (2008). Long-term brown trout populations responses to flow manipulation. River Research and Applications, 24(5) : 476-505.
- Souchon Y., Trocherie F., Fragnoud E., Lacombe C.** (1989). Les modèles numériques des microhabitats des poissons : application et nouveaux développements. Revue des Sciences de l'Eau, 2(4) : 807-830.
- Souchon, Y., Lamouroux, N., Capra H., Chandesris A.** (2003). La méthodologie Estimhab dans le paysage des méthodes de microhabitat. Note Cemagref Lyon, Unité Bely, Laboratoire d'hydroécologie quantitative. pp. 9.
- Souchon Y. et Capra H.** (2004). Aquatic habitat modelling : biological validations of IFIM/Phabsim methodology and new perspectives. Hydroécologie appliquée, 14(1) : 9-25.
- Stalnaker C.B.** (1979). The use of habitat structure preferenda for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat. In Ward J.V. & Stanford J.A. (Eds.), The ecology of regulated streams, 326-337. New York.
- Tharme R.E.** (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications 19 : 397-441.

Tharme R.E et King J.M. (1998). Development of the Building Block Methodology for Instream Flow Assessments, and Supporting Research on the Effects of Different Magnitude Flows on Riverine Ecosystems. Water Research Commission Report 576/1/98: Pretoria, SA, 452 p.

Tennant D.L. (1976). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. In Orsborn J.F. & Allman C.H. (Eds.), Instream Flow Needs, 359-373. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, Western Division.

WCD (World Commission of Dams) (2000). Dams and development. A new framework for decision making. 322 pp + annexes. www.dams.org.

Wentworth C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30, 377-392.

White R.G. (1976). A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers. In Osborne J.F. & Allman C.H. (Eds.), Instream flow needs symposium, 376-386.

ANNEXE 1 - Extraits Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (2006)

Article L. 214-18 du code de l'environnement - loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006, article 6

I. Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'aménée et de fuite.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur.

Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure.

II. Les actes d'autorisation ou de concession peuvent fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. En outre, le débit le plus bas doit rester supérieur à la moitié des débits minimaux précités.

Lorsqu'un cours d'eau ou une section de cours d'eau est soumis à un étiage naturel exceptionnel, l'autorité administrative peut fixer, pour cette période d'étiage, des débits minimaux temporaires inférieurs aux débits minimaux prévus au I.

III. L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau les débits minimaux définis aux alinéas précédents.

IV. Pour les ouvrages existant à la date de promulgation de la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, les obligations qu'elle institue sont substituées, dès le renouvellement de leur concession ou autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, aux obligations qui leur étaient précédemment faites. Cette substitution ne donne lieu à indemnité que dans les conditions prévues au III de l'article L. 214-17.

V. Le présent article n'est applicable ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés.

ANNEXE 2 - Exemples de terminologies des types d'écoulement

La description en faciès d'écoulement proposée par Chaveroche (1990) est assez synthétique : elle repose sur la définition de six grands types de faciès. La terminologie établie par Malavoi (1989) distingue plusieurs types supplémentaires permettant d'affiner la description de la rivière si l'hétérogénéité des écoulements le justifie. Elle a été en partie reprise par Malavoi et Souchon (2002) qui donnent des chiffres indicatifs pour les différents paramètres (voir figure 9 page suivante).

Enfin, des terminologies plus spécifiques d'une région existent également :

- Delacoste *et al.* (1995) identifient 18 groupes de faciès dans les rivières pyrénéennes, validés biologiquement par des densités et des biomasses de truite.
- La délégation régionale de Rennes du CSP utilise une terminologie basée sur des travaux menés dans le massif armoricain par l'INRA de Rennes, appliquée à la description des petits cours d'eau bretons. Elle repose sur cinq grands types de faciès, distingués à l'œil selon l'apparence de la surface de la rivière (une mesure de hauteur d'eau sert généralement à confirmer l'impression visuelle).
- Aux Etats-Unis, Aadland (1993) propose quant à lui six grands faciès d'écoulement dans six rivières du Minnesota, selon les préférences de guildes d'espèces.

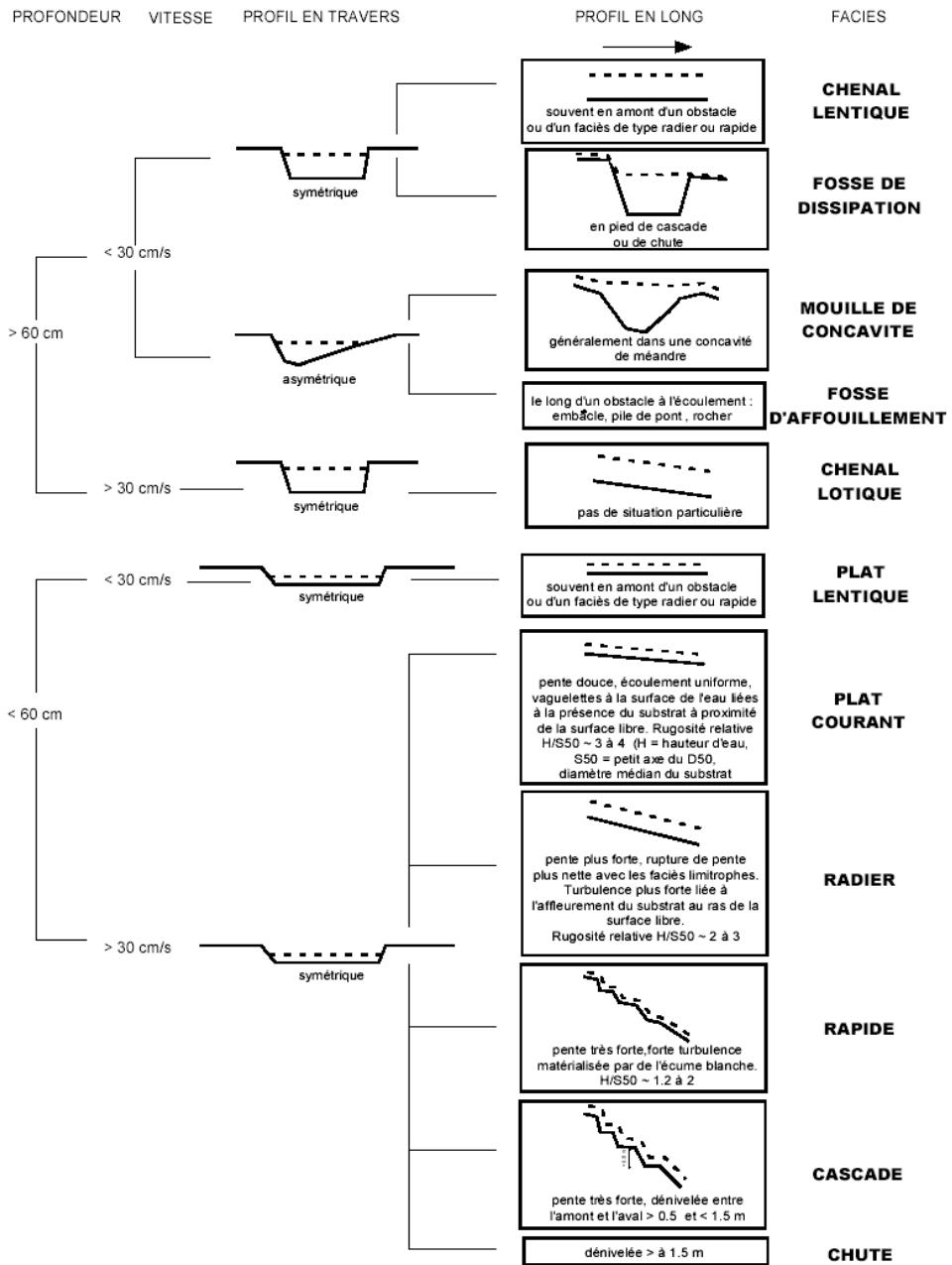


Figure 9 : clé de détermination des faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon 2002)

ANNEXE 3 - Modélisation hydraulique simplifiée

Lorsque le problème du débit réservé se pose pour un site déjà équipé, le tronçon de rivière est régulé ; il est alors possible de maintenir différents débits fixés à l'avance et de mesurer pour chacun d'eux les caractéristiques hydrauliques de secteurs représentatifs des différentes parties du tronçon.

Si les débits explorés sont assez nombreux, une simple interpolation dans l'espace et en débit suffit pour obtenir une cartographie de la qualité d'habitat de la rivière en fonction du débit. Si les mesures n'ont pas été effectuées pour un nombre suffisant de débits, on peut alors, pour chaque transect, estimer à l'aide d'un modèle hydraulique simplifié, l'évolution de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne à l'aide des formules du type :

$$\bar{V} = a_v Q^{b_v} \quad \text{et} \quad \bar{H} = a_h Q^{b_h}$$

a_v , b_v , a_h et b_h : sont estimés à partir des mesures

La reconstitution des hauteurs et vitesses locales h_i et v_i s'effectue alors en utilisant la relation de proportionnalité :

$$h_i = h_i^* \frac{\bar{H}}{H^*} \quad v_i = v_i^* \frac{\bar{V}}{V^*}$$

On calcule alors l'évolution des notes d'habitat des transects avec le débit, puis par extrapolation dans l'espace, celle du tronçon étudié.

Remarque : Pour un débit donné, cette reconstitution s'effectue en prenant en général comme débit de référence celui qui semble le mieux représenter l'hétérogénéité des écoulements, et pour lequel les mesures paraissent les plus fiables. Cependant, si le lit de la rivière change significativement pour les plus forts débits, il peut être préférable d'effectuer cette reconstitution en changeant de débit de référence, dès que l'on atteint des débits correspondant à un changement notable du lit de la rivière.

Lorsque la position des points de mesures est très précisément la même pour les différents débits expérimentaux, on peut vérifier l'hypothèse de proportionnalité retenue pour effectuer la reconstitution des vitesses locales ($k_i = v_i / \bar{V}$ indépendant du débit en tout point M_i). Pour cela, on comparera les mesures obtenues aux débits expérimentaux aux valeurs locales de vitesses calculées par la loi de proportionnalité

à partir du débit de référence choisi. Si les écarts sont significatifs (ce qui peut se produire si les écoulements sont très chaotiques), la reconstitution pour un débit donné Q peut s'effectuer en se recalant sur les valeurs mesurées aux deux débits expérimentaux Q_1^* et Q_2^* encadrant Q . Pour cela, on calcule alors le rapport k_i par interpolation linéaire entre les deux rapports k_i^*1 et k_i^*2 :

$$\frac{k_i - k_i^*1}{k_i^*2 - k_i^*1} = \frac{\bar{V} - \bar{V}_1^*}{\bar{V}_2^* - \bar{V}_1^*}$$

ANNEXE 4 - Préconisations d'interprétations des résultats extraits du guide méthodologique du logiciel EVHA (Cemagref)

1. SPU, SPU/100m, ou valeur d'habitat ?

La méthode des microhabitats quantifie la capacité d'accueil par la Surface Pondérée Utile. Pour faciliter les comparaisons sur une même rivière, on peut s'affranchir de la dimension longitudinale en calculant une SPU normée à 100 mètres de linéaire. On peut même s'affranchir de toute notion de surface en divisant la SPU par la surface mouillée pour obtenir ce qu'il est convenu d'appeler la valeur d'habitat, nombre adimensionnel compris entre 0 et 1 ou exprimé en pourcentage.

Lorsqu'on analyse une station donnée, et notamment l'importance relative de ses différentes unités morphologiques, il est impératif de garder la SPU sous peine de modifier le poids respectif de ces unités.

Par contre, pour comparer les courbes d'évolution de différentes stations ou de différentes unités morphologiques appartenant à un même tronçon de rivière, on pourra utiliser la SPU/100m pour gommer l'effet d'échelle longitudinale. On appliquera alors les mêmes interprétations vis-à-vis du débit que pour la SPU, le danger étant d'oublier cette « normalisation » dans les conclusions. On pourra également l'utiliser pour définir la capacité d'accueil d'un faciès donné dans un souci d'extrapolation à tout un linéaire, et ceci de préférence à la valeur d'habitat car il est plus facile de connaître la longueur des faciès que leur surface qui varie en fonction du débit.

La valeur d'habitat ne doit jamais servir de base à une évaluation d'un débit vis-à-vis des exigences des poissons, même si sa nature adimensionnelle rend son emploi tentant. Elle ne donne en effet que le rapport entre surface utile et surface mouillée. Ce n'est donc pas une quantification de l'habitat mais plutôt une « note d'efficacité » du débit vis-à-vis de l'habitat, note bien délicate à interpréter seule dans le cadre de la recherche d'un débit réservé, mais qui vient toujours en utile complément à la SPU. S'agissant d'une valeur adimensionnelle, la valeur d'habitat peut être utilisée pour une comparaison et une typologie des unités morphologiques dans une grande gamme de taille de rivière. Mais pour ce faire, on peut également imaginer normaliser la SPU par une surface fixe afin ne pas déformer l'allure de la courbe (surface d'un débit de plein bord ou du débit médian pour avoir les conditions les plus fréquentes, surface mouillée d'étiage ou encore SPU maximale). Les deux angles typologiques, et leurs interprétations, seront alors sensiblement différents.

2. Resituer l'analyse dans le contexte écologique global

A l'heure actuelle, la méthode ne vise qu'à donner une valeur d'habitat « potentiellement favorable » à une zone. Cela permet cependant de fixer, dans le cadre de la recherche d'un débit réservé, un débit ou une zone de débits seuils en dessous desquels il devient très dangereux de s'aventurer, soit du fait d'une réduction de plus en plus rapide de l'habitat potentiel, soit parce que l'on passe en dessous du seuil de maintien de l'équilibre de l'écosystème.

Il reste à confronter cette valeur à ce que l'on connaît du fonctionnement général de l'écosystème rivière en se demandant en particulier si, dans le secteur considéré, l'habitat restera le critère limitant vis-à-vis d'une réduction de débit, ou si un autre facteur venait mettre l'écosystème en danger.

Il ne s'agit pas de dresser ici une liste exhaustive des points à étudier, mais plutôt de sensibiliser le lecteur aux différentes facettes de l'expertise hydrobiologique à effectuer, qui va de l'échelle locale jusqu'à l'échelle très globale de l'état général de la rivière ou du cumul des impacts. Il ne s'agit pas non plus d'un ordre d'importance croissante, certains aspects pouvant être déterminants sur certains sites et totalement mineurs sur d'autres, mais plutôt d'un ordre allant du plus physique au plus biologique voire éthologique, pour respecter la philosophie générale de la méthode. Rappelons enfin que nous traitons toujours ici le cas de la recherche d'un débit réservé, mais bien des points ont une portée beaucoup plus large, notamment ceux ayant trait aux aspects comportementaux du poisson.

a. Les variables d'habitat déterminantes

Telle que pratiquée actuellement, la méthode des microhabitats se cantonne aux trois variables, hauteur, vitesse et substrat. Si d'autres variables (végétations, sous-berges, embâcles) sont présentes ou sont susceptibles d'apparaître de manière significative et d'influer sur l'habitat de manière importante, il faut se poser la question de la manière dont elles vont modifier les résultats donnés par la méthode et de leur évolution en fonction du débit. Dans le cas où ces variables conditionnent la majeure partie de l'habitat, la méthode n'est plus applicable, à moins de disposer de courbes de préférence les prenant en compte.

b. L'évolution probable du substrat

Dans la méthode telle qu'actuellement proposée le substrat n'évolue pas avec le débit. Or même en mettant de côté les modifications violentes de substrat consécutives à une crue, on peut considérer que dans le type de rivière visé, le

substrat n'est jamais immobile, mais bien au contraire toujours en migration lente vers l'aval, les classes granulométriques les plus fines étant plus particulièrement concernées. Mais le « bilan sédimentaire » d'un secteur aménagé n'a rien d'évident, et il serait souhaitable que des outils d'aide à la décision soient également développés dans ce domaine.

Il est certain que les débits continuellement faibles favorisent l'accumulation d'éléments fins pouvant conduire à terme au colmatage du substrat, ce qui va fortement réduire voire annuler la capacité d'accueil physique du secteur. Si les conditions morphodynamiques et physico-chimiques s'y prêtent, la végétation aquatique peut ensuite s'installer, conduisant à terme à un habitat différent de celui prévu par la méthode.

Mais le risque inverse existe aussi. Derrière un ouvrage qui piège les sédiments, le secteur aval peut se trouver rapidement privé de tout élément fin. Cela se traduit d'abord par le « pavage » du secteur (les éléments grossiers ressortent de plus en plus), puis la déstabilisation de ces éléments et la reprise d'une érosion du fond qualifiée de régressive car se propageant de l'aval vers l'amont.

Tout dépend de ce bilan de masse entre les éléments solides pouvant entrer et sortir du secteur considéré. Les entrées sont constituées de la charge (concentration, profil granulométrique) pénétrant en amont de la station, mais également des apports latéraux provenant des berges et des tributaires. Dans le cadre des débits réservés, cette deuxième origine pourra même être dominante si le barrage ne rejette qu'une charge très faible. La pente et l'état de surface des berges, la présence ou non d'une ripisylve seront alors des facteurs déterminants. Les sorties (concentration et profil granulométrique des sédiments emportés par le courant) dépendent surtout du régime hydrologique et de la morphologie du secteur aménagé.

Dans le premier cas, on pourra être amené à proposer des « chasses » régulières, ou envisager de laisser passer un certain nombre de crues car la pratique des « chasses » n'est pas encore maîtrisée (quand, combien d'eau, combien de temps, à quelle fréquence ?). Dans le second cas, il faudra chercher à restaurer la charge en éléments fins pénétrant dans le secteur, ce qui paraît difficile à l'aval des grands ouvrages.

Dans tous les cas, et toujours pour le type de rivière étudié ici, il est à craindre que tout aménagement tendant à modifier la vitesse du courant ait une influence sur le bilan sédimentaire du secteur aval. Il est donc important de décrire et de suivre

l'évolution du substrat, au même titre que la biocénose ou la physico-chimie, afin d'acquérir rapidement, avec l'aide des géomorphologues et des géographes, un retour d'expérience permettant de mieux préciser les impacts : quelle sera l'échelle temporelle des modifications (l'année, la décennie ou le siècle ?) ; va-t-on vers un nouvel équilibre et lequel ?

c. La physico-chimie

Le régime thermique, les concentrations en oxygène, les concentrations en nutriments et polluants seront plus ou moins affectés par la modification du débit ou par l'aménagement lui-même. Il convient d'apprécier les tendances prévisibles de leur évolution (au moins en termes de risque ou de non risque), surtout dans le cas où certains de ces facteurs sont déjà critiques et peuvent faire basculer le secteur vers une classe de qualité inférieure.

d. Le fonctionnement trophique

La vitesse du courant, la turbidité et la hauteur d'eau sont trois variables hautement dépendantes des fluctuations de débit et qui ont une forte incidence sur le régime trophique de la rivière. Ces variables ont en effet une influence directe sur la température et l'éclairement du fond. Si par ailleurs les concentrations en azote et phosphore sont déjà fortes ou sont susceptibles d'augmenter suite à la réduction de débit, le risque d'une dystrophie, avec prolifération d'algues benthiques ou pélagiques, devient grand. En outre, l'eutrophisation d'un secteur très ralenti, via l'augmentation de la turbidité liée à la prolifération des algues, peut provoquer une stratification de la colonne d'eau pendant la journée, qui se traduit par une eau surchauffée et suroxygénée en surface opposée à une eau froide et désoxygénée au fond. Si l'on y ajoute le risque d'accumulation de fines venant colmater le substrat, on conçoit qu'une dystrophie puisse engendrer des conditions très défavorables aux salmonidés.

e. L'intégrité structurelle de la rivière

Il s'agit de regarder l'état général de la rivière et de ses berges. La présence d'une ripisylve en particulier est un facteur déterminant pour tempérer notamment les risques d'élévation de température et d'éclairement ou les risques de transport solide en provenance des berges (sédiments et polluants). Dans le même ordre d'idée, il faudra évaluer le cas échéant l'impact d'une réduction du débit sur les zones connexes à la rivière (bras secondaires) s'il en existe. Dans certains cas il faudra également se poser la question du risque d'abaissement de la nappe phréatique du cours d'eau, avec ses conséquences sur l'alimentation hydrique des rives.

f. L'hydrologie résultante

On peut penser qu'une réduction du débit, et plus encore d'éventuels travaux de chenalisation, augmentent la vulnérabilité du peuplement vis-à-vis des « catastrophes » hydrologiques, sécheresses et crues exceptionnelles. Il faut donc comparer le cycle hydrologique résultant de l'aménagement au cycle hydrologique antérieur ou mieux au cycle hydrologique naturel.

g. La vulnérabilité du poisson

On peut également penser que la vulnérabilité du poisson augmente avec la réduction du débit. Dans certains cas, il faut donc penser aux prédateurs, mammifères et oiseaux, et à la plus grande capturabilité par la pêche.

h. Le cumul des impacts

Un aménagement est hélas rarement isolé. Il faut donc se poser la question du cumul des impacts, notamment en matière de libre circulation des poissons, mais aussi en matière de régime hydrologique, de régime physico-chimique, de régime trophique et de régime sédimentaire.

i. Les relations inter-spécifiques

Dans le cas d'un peuplement plurispécifique, c'est-à-dire lorsque plusieurs espèces coexistent avec des poids comparables et sont en compétition pour le même habitat, il faut sans doute prévoir une marge de manœuvre supplémentaire, chaque espèce ne pouvant pas occuper tout l'espace disponible.

j. La phénologie des habitats

La tendance actuelle de la recherche consiste à coupler chroniques d'habitat et dynamiques de population. Même si nous avons vu que les épisodes hydrologiques clefs qui structurent ces populations ne sont pas encore suffisamment connus, les résultats de la méthode des microhabitats peuvent d'ores et déjà aider à définir un régime de débit réservé plutôt qu'une unique valeur seuil pour toute l'année.

En conclusion, nous dirons simplement qu'il ne faut ni surestimer, ni sous-estimer ce plongeon dans le contexte global de l'étude. *L'important est que la personne chargée de l'interprétation soit parfaitement informée du contenu et des hypothèses de base de la méthode qu'elle utilise, et qu'elle dispose d'un niveau d'expertise suffisant pour en faire une interprétation correcte vis-à-vis des questions qui lui sont posées.*

3. Conclusion - Définition d'un débit réservé

Voici résumée, en l'état actuel des connaissances et des outils existants, la méthodologie que nous préconisons pour la définition d'un débit réservé :

1. Définir le seuil d'accroissement du risque s'il existe, et le seuil du principe de précaution avec une valeur minimale temporaire à -20% des conditions limitantes de SPU avant aménagement (les auteurs émettant désormais beaucoup de bémols sur ce point, cette valeur ne reste qu'un conseil), dans l'attente de meilleures connaissances sur les durées réellement tolérées.
2. Prendre le maximum de ces deux valeurs et vérifier la franchissabilité des radiers à ce débit seuil.
3. Pour un nouvel aménagement dans le lit d'un cours d'eau, et si la valeur retenue est inférieure au 1/10^{ème} du module, prendre le 1/10^{ème} du module et passer à l'étape 5.
4. Si la valeur ainsi déterminée est supérieure au 1/10^{ème} du module pour un nouvel aménagement, ou s'il s'agit d'un aménagement ancien ou non-effectué dans le lit même du cours d'eau, la loi laisse la possibilité, en parlant de « coût économique raisonnable » de la protection de l'écosystème, de prendre une valeur de débit située au-dessous de cette valeur seuil (mais au-dessus du 1/10^{ème} du module pour un nouvel aménagement dans le lit d'un cours d'eau). Il faut alors justifier valablement les gains économiques escomptés. Et du fait que l'on ne garantit plus la pérennité de l'écosystème, il devrait être systématiquement mis en place un *suivi du système pour évaluer l'impact de l'aménagement dès que le débit retenu est inférieur au seuil précédemment défini*, et même s'il respecte le 1/10^{ème} du module qui n'est qu'un « garde-fou ». Ce suivi pourra être assez léger, mais il devra s'inscrire dans la durée, avec par exemple un état complet avant aménagement et un retour sur site après un, trois et sept ans pour tenir compte de la durée de vie des poissons. Ce suivi sera fonction des particularités du site mais devrait aborder au moins les aspects effectifs et biomasses de poisson, physico-chimie (et éventuellement polluants) et évolution du substrat. Les aménagements respectant la valeur seuil issue de l'étape 2 pourraient être dispensés d'un suivi écologique post-aménagement sauf si le contexte écologique global (étape 5) le justifie.

5. Resituer la valeur de débit retenue dans le contexte écologique global. Cela pourra conduire à relever cette valeur si certains facteurs sont déjà critiques (notamment physico-chimie et polluants) et risquent de s'aggraver. Tout comme pour l'étape 4, un suivi du site devra être mis en place dans tous les cas où l'on n'est pas « raisonnablement » sûr de garantir la pérennité de l'écosystème. On notera qu'il s'agit bien là de la recherche d'un débit biologique minimum garantissant autant que faire se peut l'intégrité de l'écosystème en place tout en maximalisant la ponction d'eau. Il ne devrait être employé que dans les cas justifiés où des contraintes économiques l'imposent. Si le caractère piscicole, récréatif ou paysager du site doit être préservé ou renforcé, il sera toujours préférable de « durcir » le principe de précaution en ne s'octroyant aucune marge de tolérance sur le facteur limitant l'habitat, voire en adoptant un débit qui maximalise cet habitat.

Logiciel d'Application de la Méthode des Micro-Habitats

Guide Méthodologique

