

ÉVALUATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE DES 13 RIVIÈRES PÉRENNES DE LA RÉUNION

PROPOSITION D'UN PLAN D'ACTION POUR RECONQUÉRIR CETTE CONTINUITÉ

PHASE III – PROPOSITIONS DE MESURES DE RESTAURATION – PLAN D'ACTION

ANNEXE 3 : CATALOGUE DE MESURES



DEAL

Service Eau et Biodiversité
PARC DE LA PROVIDENCE
12, ALLÉE DE LA FORÊT
97400 SAINT-DENIS

Présenté par



Antea Group
Agence de la Réunion
Métier Eau
55, rue Jules Auber
97400 SAINT-DENIS
Tél. : 02.62.20.95.88

Ocea Consult'
BP 22
97 427 Etang Salé
Tél. : 06.92.30.54.12



HYDRETUDES - Agence
Océan Indien
Résidence les Kréolies
8-10 Rue Axel Dorseuil
97410 SAINT PIERRE
Tél: +262 262 968 245



ECOGEOA
10 Avenue de Toulouse
31 860 Pins Justaret
Tel : 05.62.20.98.24

SOMMAIRE

1. CADRE.....	3
2. LIMITES DU CATALOGUE DE MESURES	4
3. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ MORPHOLOGIQUE.....	5
4. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ HYDRAULIQUE	6
MESURE H1 : MISE EN PLACE D’UN ARRÊTE D’AUTORISATION DE PRÉLEVEMENT	7
MESURE H2 : MISE EN PLACE D’UN DÉBIT MINIMAL RÉGLEMENTAIRE.....	9
MESURE H3 : ÉTUDE TECHNIQUE VISANT À RESTAURER LA CONTINUITÉ HYDRAULIQUE EN COHÉRENCE AVEC LES ENJEUX BIOLOGIQUES ET LES USAGES EXISTANTS	10
5. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE OU LES PRINCIPALES MESURES POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS.....	11
Liste des mesures.....	13
MESURES M1 à M7 : AMÉLIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION À LA MONTAISON	14
MESURE M1 : L’ARASEMENT / DERASEMENT	16
MESURES M2 & M3 : REPRISE TOTALE DE L’OBSTACLE OU LA PRISE EN COMPTE DU PROBLÈME DE FRANCHISSEMENT LORS DE LA RÉALISATION D’UN OUVRAGE	22
MESURE M2 : REPRISE DES PASSAGES BUSES DANS LE CADRE DE RADIER ROUTIER.....	22
MESURE M3 : REPRISE TOTALE D’UN SEUIL OU/ET RÉALISATION D’UN SEUIL FRANCHISSABLE PAR CONCEPTION.....	33
MESURES M4 à M7 : LES PRINCIPAUX TYPES D’OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT	35
MESURE M4 : RAMPE SPÉCIFIQUE POUR ATYDES ET CABOTS BOUCHES RONDES	42
MESURE M5 : RAMPE SPÉCIFIQUE POUR ATYDES, CABOTS BOUCHES RONDES, ANGUILES ET MACRO CRUSTACÉS	44
MESURE M6 : RAMPE RUSTIQUE « MULTI-ESPÈCES » EN ENROCHEMENTS LIAISONNES	50
MESURES M7 : PASSE À BASSINS	60
MESURES D1 à D3 : AMÉLIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION À LA DEVALAISON	64
MESURE D1 : MISE EN PLACE DE BARRIÈRES PHYSIQUES : LES PRISES D’EAU ICHTYOCOMPATIBLES.....	65
MESURE D2 : RÉDUCTION OU ARRÊT CIBLE DU PRÉLEVEMENT	80
MESURE D3 : MISE EN PLACE DE BARRIÈRES COMPORTEMENTALES.....	82
MESURES P1 à P3 : AMÉLIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION AU DROIT DES PÊCHERIES DE BICHQUES.....	84
MESURE P1 : DÉFINIR UN STATUT POUR CHACUN DES GROUPEMENTS DE PÊCHEURS.....	86
MESURE P2 : RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE AU SEIN DES PÊCHERIES À CARACTÈRE PROFESSIONNEL.....	87
MESURE P3 : RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE AU SEIN DES PÊCHERIES À CARACTÈRE AMATEUR.....	88

1. CADRE

Notion introduite en 2000 par la directive cadre sur l'eau, la continuité écologique d'un cours d'eau est définie comme la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel, des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques (connexions, notamment latérales, et conditions hydrologiques favorables) - Article R214-109 du code de l'environnement définissant un obstacle à la continuité écologique.

Il s'agit donc d'une **continuité** :

- hydraulique,
- morphologique,
- biologique et trophique.

Les altérations de cette continuité sont nombreuses. En France, plus de 60 000 ouvrages – barrages, écluses, seuils, moulins - ont été recensés sur les cours d'eau et sont potentiellement des obstacles à la continuité écologique. A la Réunion, cet inventaire sous forme de base de données n'existe pas encore. Afin d'évaluer la continuité écologique sur les 13 rivières pérennes de la Réunion, et aboutir à une proposition de plan d'action pour reconquérir cette continuité, l'ex-DIREN et actuelle DEAL a missionné le groupement de bureaux d'études ANTEA GROUP– OCEA CONSULT'– HYDRETTUDES – ECOGEA.

L'étude doit ainsi aboutir à évaluer les différents aspects de la continuité rappelés précédemment.

Cette étude se déroule en trois phases principales.

- **Phase I** : Diagnostic inhérent à la continuité écologique à la Réunion comprenant :
 - L'inventaire des ouvrages, des aménagements ou activités telles que les pêcheries, ainsi que des obstacles naturels (chutes) et des assecs.
 - La caractérisation de ces obstacles : en particulier : cadrage réglementaire pour les ouvrages, aménagements ou activités ; étude de l'origine des assecs et définition d'une typologie les caractérisant ; définition des critères permettant de caractériser la franchissabilité des obstacles.
 - La caractérisation de l'état du milieu et la définition des aires potentielles de colonisation par les espèces.
 - Une synthèse de ces éléments, superposition de la franchissabilité des obstacles et des aires potentielles de colonisation des espèces piscicoles. Cette phase permet *in fine* de proposer des critères d'évaluation de la continuité écologique.
- **Phase II** : Évaluation de la continuité écologique à la Réunion.

- **Phase III** : Proposition d’un plan d’actions pour reconquerir la continuité écologique.
 - **Liste de mesures potentielles de restauration adaptées à la Réunion**
 - Priorisation des actions en fonction de l’enjeu de restauration de la continuité écologique
 - Analyse croisée des gains environnementaux et de la faisabilité pour la mise au point du plan d’action :
 - Définition de scénarii (jusqu’à 3 prévus initialement), basés sur la modulation de la priorisation écologique par d’autres critères de priorisation
 - Choix d’un scénario par le Comité de Pilotage.
- Plan d’action (et fiches de synthèse) présentant les adaptations des mesures aux ouvrages, avec des éléments d’aide à la décision (gain, coût, etc.).

Le présent catalogue de mesures est la « liste des mesures potentielles de restauration adaptées à la Réunion ».

2. LIMITES DU CATALOGUE DE MESURES

Le présent catalogue présente des types de mesures génériques pouvant être appliquées dans le cadre du plan d’action ou non.

Il décrit pour chaque mesure lorsque cela est pertinent :

- le principe de la restauration,
- les éléments techniques liés à la réalisation
- les éventuelles précautions à prendre
- les éventuels impacts de la mesure
- ainsi que les éléments de contexte nécessaires à la compréhension de l’intérêt de la mesure.

Il ne s’agit pas d’une étude spécifique aux ouvrages identifiés en phase I.

Par ailleurs, il n’y a pas de mesure technique de restauration du transport solide définies à ce jour et dans le cadre de cette étude, pour les raisons explicitées ci-après.

3. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ MORPHOLOGIQUE

Il n’y a pas de mesure technique de restauration du transport solide définies à ce jour et dans le cadre de cette étude.

Selon l’extrait suivant de la **circulaire du 25 Janvier 2010**, relative à la mise en œuvre par l’Etat et ses établissements publics d’un plan d’actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d’eau, la prise en compte de la notion de transport solide suffisant n’est pas tranchée à ce stade, et la typologie nationale des cours d’eau permettant de mettre en œuvre les mesures de restauration, n’est pas encore fixée.

« 5. Prise en compte de la notion de transport « suffisant » des sédiments :

Cette notion n’est encore pas tranchée d’un point de vue scientifique : la quantité suffisante de sédiments qui doit transiter dans un cours d’eau n’est pas la même s’il s’agit d’assurer la présence de plages de graviers requises pour la reproduction des poissons, de garantir l’existence de bancs alluviaux mobiles nécessaires à la faune et la flore aquatique, semi-aquatique et rivulaire, de créer des faciès d’écoulement permettant une bonne autoépuration des eaux, ou de restaurer le plancher alluvial d’un cours d’eau très incisé, notamment suite à des extractions de granulats, etc. Un groupe de réflexion travaille actuellement à la proposition d’une (ou de plusieurs) définition(s) du transport «suffisant» de sédiments.

Par ailleurs, une typologie nationale des cours d’eau, basée notamment sur leur transport solide potentiel, est en cours de réalisation et devrait être finalisée courant 2011. Elle permettra aux SPE d’identifier les cours d’eau sur lesquels la problématique du transport des sédiments ne sera pas essentielle, ceux sur lesquels elle sera fondamentale et les intermédiaires. Cette typologie permettra en outre de proposer, par hydroécocoréion homogène, les protocoles de mesure adaptés pour diagnostiquer, ouvrage par ouvrage mais aussi à l’échelle de tronçons géomorphologiques homogènes, les problèmes de continuité sédimentaire et déterminer les pistes d’intervention pour y remédier (gestion ou aménagement de l’ouvrage, transfert des alluvions vers l’aval, dérasement, etc.). »

Dans le cadre des propositions d’actions pour reconquérir la continuité écologique de la présente étude, les actions de restauration de la continuité morphologique n’ont pas été déclinées du fait de cette limitation du cadre réglementaire, qui dépasse le cadre de l’étude.

4. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ HYDRAULIQUE

L'évaluation de la continuité hydraulique au sein de l'étude de la continuité écologique a été évaluée au niveau des ouvrages et à l'aval des ouvrages par le biais des assecs. La restauration de la continuité hydraulique passe donc par des mesures à ces deux niveaux.

Au niveau des ouvrages anthropiques, la restauration de la continuité hydraulique est traitée à travers les mesures de restauration de la continuité biologique. En effet, les mesures de restauration de la continuité biologique intègrent obligatoirement cet aspect pour rétablir la franchissabilité des ouvrages.

En ce qui concerne l'aval des ouvrages, les assecs sont liés à la combinaison d'un phénomène naturel d'infiltration et d'un prélèvement qui réduit le débit naturel en dessous de ce seuil d'infiltration.

Les trois facteurs en jeu sont donc :

- Les conditions hydrologiques qui définissent le débit naturel du cours d'eau ;
- Le seuil d'infiltration naturel du lit de la rivière ;
- Le niveau du prélèvement (captages) à l'amont de cette zone d'infiltration.

Les mesures de restauration ne peuvent pas être appliquées aux facteurs naturels que sont les conditions hydrologiques et le seuil d'infiltration. Pour ce deuxième facteur toutefois, cela se discute : les cours d'eau peuvent éventuellement faire l'objet d'une canalisation. Toutefois nous estimons cette mesure non adaptée au contexte de la Réunion au vu de la morphologie des rivières. Cette mesure ne sera donc pas développée ici. Par ailleurs, il nous semblerait incohérent de proposer une mesure d'artificialisation de la rivière dans un objectif de restauration.

Les mesures de restauration proposées s'appliquent donc uniquement aux niveaux de prélèvements. Par ailleurs les assecs peuvent être permanents ou saisonniers, lorsque le niveau de prélèvement vient se combiner aux conditions hydrologiques pour réduire le débit du cours d'eau ou le seuil d'infiltration naturel. **Les mesures de restauration qui visent à restituer de l'eau au niveau des captages peuvent donc aussi être saisonnières.**

La nature des interventions proposées ici sont de trois ordres :

- Réglementaire : mise en place des arrêtés d'autorisation et des débits réservés dans le cadre de procédures Code de l'Environnement ;
- Étude techniques : le plus souvent associées aux procédures réglementaires, mais qui peuvent survenir si la restitution des débits réservés ne suffit pas à restaurer la continuité hydraulique
- Aménagement : Ouvrage de restitution du débit réservé, dont la mise en œuvre survient aussi dans le cadre des procédures réglementaires. Doit être fait en lien avec le dispositif de franchissement de façon à améliorer l'efficacité de ce dernier. Une attention particulière doit être portée à la cohérence des deux pour ne pas perturber l'attractivité de la « passe à poissons ». Cette mesure est citée ici pour mémoire car il n'existe pas de spécification technique quant au dispositif de restitution du débit réservé.

Elles sont regroupées en deux mesures réglementaires et une mesure technique ci-après.

MESURE H1 : MISE EN PLACE D'UN ARRÊTÉ D'AUTORISATION DE PRÉLEVEMENT

I. CADRE RÉGLEMENTAIRE

Il s'agit d'une mesure réglementaire liée à l'autorisation ou à la déclaration des prélèvements d'eau dans un cours d'eau superficiel au titre du Code de l'Environnement. Le fondement juridique de cette mesure est la Loi sur l'Eau codifiée dans le Code de l'Environnement (CE).

- Au titre du code de l'Environnement (Partie Législative) – **Livre Ier – Titre II- Chapitre IV – Section 1 – Articles L214-1 à L214-6**, tout captage d'eau est soumis à déclaration (D) ou à autorisation (A).

Art. L214-1 : « Sont soumis aux dispositions des articles L. 214-2 à L. 214-6 les installations ne figurant pas à la nomenclature des installations classées, les ouvrages, travaux et activités réalisés à des fins non domestiques par toute personne physique ou morale, publique ou privée, et entraînant des prélèvements sur les eaux superficielles ou souterraines, restitués ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, la destruction de frayères, de zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole ou des déversements, écoulements, rejets ou dépôts directs ou indirects, chroniques ou épisodiques, même non polluants.

Art. L214-2 : « Les installations, ouvrages, travaux et activités visés à l'article L. 214-1 sont définis dans une nomenclature, établie par décret en Conseil d'Etat après avis du Comité national de l'eau, et soumis à autorisation ou à déclaration suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques.

Ce décret définit en outre les critères de l'usage domestique, et notamment le volume d'eau en deçà duquel le prélèvement est assimilé à un tel usage, ainsi que les autres formes d'usage dont l'impact sur le milieu aquatique est trop faible pour justifier qu'elles soient soumises à autorisation ou à déclaration ».

- Le Code de l'Environnement (Partie Réglementaire), **Livre II, Titre Ier, Chapitre IV, Section 1, Article R214-1**, définit la rubrique de la nomenclature concernée.

II. PRINCIPE DE LA MESURE

➤ Aspect réglementaire

Le principe de la mesure est de dérouler une procédure réglementaire encadrée par la Police de l'Eau au niveau régional. Il s'agit d'une procédure de déclaration (D) ou d'autorisation (A) au titre du CE obligatoire.

- En cas de nouveau prélèvement, la procédure débute à la remise du dossier (cf. aspect technique) par le pétitionnaire. Cette procédure n'est pas rappelée ici (cf. Police de l'Eau).
- En cas de prélèvements existants, suite à un constat effectué par la Police de l'Eau sur l'ouvrage concerné, son propriétaire peut faire l'objet de sanctions administratives : (i) mise en demeure préfectorale de dépôt de dossier, ou de prescriptions, ou d'un retrait d'autorisation ; (ii) consignation des sommes ; (iii)

exécution d’office ; et/ou de sanctions judiciaires. Sont aussi visés le Maître d’œuvre et le conducteur de travaux en cas de participation à la mise en place d’une installation non autorisée /déclarée.

Il existe des procédures spécifiques telles que (i) l’autorisation temporaire de six mois renouvelable une fois, (ii) et la modification de l’autorisation.

➤ **Aspect technique**

L’aspect technique vise à la réalisation d’un dossier (i) de déclaration, (ii) ou de demande d’autorisation et d’enquête publique (l’enquête publique fait partie intégrante de la mesure en cas de procédure « standard »). Le contenu technique du dossier de demande de prélèvement est défini par l’article R 214-6 du Code de l’environnement. Le dossier contient notamment une étude d’incidence ou une étude d’impact. Les compétences nécessaires sont des compétences techniques générales en environnement (réglementation, ...) et spécifiques (liste non exhaustive de champs d’expertise : hydrologie, hydrogéologie, faune / flore, etc.)

MESURE H2 : MISE EN PLACE D'UN DEBIT MINIMAL REGLEMENTAIRE

Cette mesure est corrélée à la mesure H1 ci-avant. En effet, c'est dans le cadre de l'instruction des dossiers de demande d'autorisation que se fait la définition du débit minimal réglementaire le cas échéant, sous réserve de données techniques suffisantes.

I. CADRE REGLEMENTAIRE

L'article L214-18 du Code de l'Environnement précise :

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'amenée 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**. 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.

On parle de débit réservé pour faire référence à ce seuil minimum.

II. PRINCIPE DE LA MESURE

- **Aspect réglementaire (cf. mesure H1 ci-dessus)**
- **Aspect technique**
 - Nécessité d'un suivi continu sur une période suffisante du cours d'eau (mis en place de station de mesure, établissement des chroniques de débit, calcul des statistiques et des valeurs caractéristiques du débit du cours d'eau). L'Office de l'Eau de la Réunion réalise ce type de mesures dans le cadre de son réseau de suivi hydrologique
 - Prise en compte de ces données et calcul du débit réservé, pour intégration au dossier de demande d'autorisation et d'enquête publique au titre du Code de l'Environnement (cf. mesure H1).

MESURE H3 : ETUDE TECHNIQUE VISANT A RESTAURER LA CONTINUITE HYDRAULIQUE EN COHERENCE AVEC LES ENJEUX BIOLOGIQUES ET LES USAGES EXISTANTS

I. PRINCIPE DE LA MESURE

Il se peut que la restitution du débit réservé ne suffise pas à restaurer la continuité hydraulique à l'aval de l'ouvrage.

Dans ce cas, une étude plus poussée de bilan hydrologique du cours d'eau peut être réalisée.

Elle vise à avoir une approche globale du cours d'eau, en faisant le bilan des apports, des débits, des prélèvements, de l'infiltration, sur plusieurs cycles hydrologiques.

Elle est réalisée par un spécialiste en hydrologie. L'objectif est de déterminer le niveau de prélèvement compatible avec la continuité hydraulique, sa périodicité, etc.

Cette mesure est indissociable de l'analyse des usages existants et des enjeux pesant sur ces usages, ainsi que l'enjeu de restauration de la continuité biologique.

5. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE ou les PRINCIPALES MESURES POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

La restauration de la libre circulation des poissons et macrocrustacés au niveau d’un obstacle nécessite des compétences particulières en hydrobiologie, écohydraulique, hydraulique fluviale, génie-civil et géomorphologie fluviale.

Aussi, il est pas inconcevable que sur certains projets complexes, une collaboration étroite entre spécialistes d’horizons très divers puissent être nécessaires.

A la Réunion et notamment sur les cours d’eau à fort charriage provenant des cirques ou sur les ouvrages difficile d’accès, une **très forte attention devra être portée sur la problématique du transport solide** (dégradations, dépôts obstruant les ouvrages...) **et de l’entretien. Lors de la réalisation d’un dispositif de franchissement piscicole, il est important de bien prendre en compte ces paramètres qui peuvent jouer un rôle prépondérant sur l’entretien voire la pérennité du dispositif (voir introduction du § en introduction des mesures M4 à M7).**

Les différentes actions visant à restaurer la libre circulation des espèces que ce soit à la montaison ou à la dévalaison sont présentées ci-après sous forme de principes généraux et doivent être considérées comme telles.

Le recours à des bureaux d’études spécialisés dans les différents domaines nous semble vivement conseillé en phase d’études préalables de dimensionnement (Esquisses, Avant Projet, Projet) **mais également en phase de travaux par des missions d’assistance technique voire des missions de maîtrise d’œuvre complète lorsque le bureau d’étude à toutes les compétences en la matière.**

Ce recours à des bureaux d’études spécialisés tout au long de l’opération (études préalables et suivi du chantier) **est d’autant plus important** à la Réunion que le retour d’expériences est assez faible et qu’il a souvent été malheureux.

Faire appel à des personnes et des organismes compétents en terme de diagnostic et de conception de dispositifs de franchissement représente généralement un gain de temps, d’argent et limite les déboires administratifs et réglementaires. Cela permet surtout de garantir une certaine efficacité du projet et d’optimiser le dispositif au vu des différents retours d’expériences acquis en France métropolitaine, dans les DOM TOM ou à l’étranger et d’intégrer les résultats des études récentes sur les comportements migratoires des différentes espèces au niveau d’obstacles.

Le succès d’une opération de restauration de la continuité écologique implique toujours, en phase d’études et de travaux, la tenue des **réunions périodiques sur site** en présence des différents partenaires financiers et surtout techniques (maître d’ouvrage, gestionnaire, bureaux d’études, services instructeurs, financeurs, agents techniques de l’Onema, Dreal, fédération de pêche, associations...), de manière à échanger sur le projet.

Il est toujours regrettable techniquement et financièrement de se rendre compte après travaux que les dispositifs de franchissement venant juste d’être construits au niveau d’un ouvrage, présentent des défauts de conception et/ou de réalisation qui auraient pu facilement être évités et ce surtout lorsque ces défauts limitent voire empêchent totalement le franchissement des espèces cibles pour

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

lesquelles ils étaient théoriquement destinés (les réalisations récentes des dispositifs de franchissement sur le Grand Bras et Petit Bras de Cilaos en sont malheureusement des exemples).

On insistera aussi sur **l’importance du suivi des aménagements après leur réalisation** : la technique étant avant tout empirique dans le sens où les principaux critères de dimensionnement et de conception sont issues d’études expérimentales ou du retour d’expérience, c’est à dire des résultats obtenus lors du suivi et de la mise au point des dispositifs existants. A cet égard, les ouvrages récemment construits dans les DOM-TOM et plus particulièrement à la REUNION constituent déjà un terrain qui pourrait permettre d’affiner les critères de dimensionnement de certains dispositifs et pour certaines espèces, d’en optimiser les conditions d’exploitation et d’en préciser les limites de fonctionnement. Ces suivis pourraient contribuer à améliorer la connaissance sur les populations et les rythmes de migration des différentes espèces peuplant les cours d’eau réunionnais.

Il paraît enfin indispensable de réaliser des programmes de recherches et d’expérimentations tant sur l’amélioration des dispositifs de franchissement vis à vis notamment du multi-espèces, que surtout sur les diverses techniques utilisables pour résoudre de manière satisfaisante les problèmes posés à la dévalaison des larves, juvéniles ou/et adultes au niveau des prises d’eau.

LISTE DES MESURES

MESURES M1 à M7 : AMELIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION A LA MONTAISON

MESURE M1 : L'ARASEMENT / DERASEMENT

MESURE M2 : REPRISE DES PASSAGES BUSES DANS LE CADRE DE RADIER ROUTIER

MESURE M3 : REPRISE TOTALE D'UN SEUIL OU/ET REALISATION D'UN SEUIL FRANCHISSABLE PAR CONCEPTION

MESURE M4 : RAMPE SPECIFIQUE POUR ATYDES ET CABOTS BOUCHES RONDES

MESURE M5 : RAMPE SPECIFIQUE POUR ATYDES, CABOTS BOUCHES RONDES, ANGUILLES ET MACRO CRUSTACES

MESURE M6 : RAMPE RUSTIQUE « MULTI-ESPECES » EN ENROCHEMENTS LIAISONNES

MESURE M7 : PASSE A BASSINS

MESURES D2 à D3 : AMELIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION A LA DEVALAISON

MESURE D1 : MISE EN PLACE DE BARRIERES PHYSIQUES : LES PRISES D'EAU ICTHYOCOMPATIBLES

MESURE D2 : REDUCTION OU ARRET CIBLE DU PRELEVEMENT

MESURE D3 : MISE EN PLACE DE BARRIERES COMPORTEMENTALES

MESURES P1 à P3 : AMELIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION AU DROIT DES PECHERIES DE BICHQUES

MESURE P1 : DEFINIR UN STATUT POUR CHACUN DES GROUPEMENTS DE PECHEURS

MESURE P2 : RESTAURATION DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE AU SEIN DES PECHERIES A CARACTERE PROFESSIONNEL

MESURE P3 : RESTAURATION DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE AU SEIN DES PECHERIES A CARACTERE AMATEUR

MESURES M1 à M7 : AMELIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION A LA MONTAISON

On peut distinguer deux principaux groupes d'aménagement.

⇒ **Groupe 1 : OUVRIR – Action M1**

Le premier groupe consiste à supprimer l'obstacle. Ce type de travaux a été généralement préconisé lorsque le site n'a plus d'usages majeurs.

C'est véritablement le seul type de restauration totalement efficace vis à vis de l'ensemble des impacts hydromorphologiques et écologiques et plus particulièrement de la libre circulation des espèces.

Il permet non seulement d'assurer la libre circulation des espèces à la montaison et à la dévalaison mais il restaure également les faciès d'écoulements naturels et les habitats aquatiques naturels noyés par la retenue.

De plus, il demande également un entretien quasi nul et assure en complément la libre circulation des embarcations nautiques (cas de certaines rivières de l'île fréquentées par des kayakistes).

Il permet également de restaurer le libre transit des sédiments.

⇒ **Groupe 2 : ÉQUIPER – Actions M2 à M7**

Ce deuxième groupe consiste à réaliser un aménagement spécifique pour la remontée et/ou la descente des poissons et des macrocrustacés.

Le type de dispositif de franchissement peut être variable suivant la configuration du site, les espèces concernées, l'hydrologie du cours d'eau, les contraintes constructives vis à vis notamment du transport solide en crue.

Ils sont généralement préconisés lorsque l'arasement (suppression partielle) ou le dérasement (suppression totale) n'est pas possible parce que l'ouvrage doit être conservé pour un usage direct (utilisation du droit d'eau : hydroélectricité, AEP...) ou un usage annexe (stabilisation du lit et des berges en amont...).

D'une manière générale, l'aménagement d'un dispositif de franchissement assure généralement une efficacité plus réduite, nécessite un entretien et ne permet pas de restaurer les habitats piscicoles noyés par la retenue.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Le rétablissement de la libre circulation des espèces ne se résume pas à la construction de dispositifs de franchissement.

Un dispositif de franchissement le mieux conçu et le plus attractif reste généralement que partiellement efficace et ne permet pas le passage de la totalité des poissons et des macrocrustacés. De plus, il induira toujours un retard de migration plus ou moins important qui peut être parfois impactant pour la survie d’une espèce (cas des larves dévalantes dans les retenues).

L’option d’ouvrir (arasement/dérasement) doit donc être envisagée en priorité car elle constitue le moyen le plus efficace de restaurer cette libre circulation de la faune aquatique et des sédiments.

Ceci nous paraît d’autant plus adapté à la Réunion du fait du manque de données sur les espèces de l’île (capacités de franchissement, rythme de migration, comportement des espèces au pied des obstacles...) et du manque de retour d’expérience sur des passes dites « multi-espèces ».

Dans tous les cas, les progrès dans la conception et le dimensionnement des passes viendront du suivi d’ouvrages réalisés, c’est à dire des observations du comportement des individus en migration au sein des ouvrages et des évaluations de leur efficacité.

MESURE M1 : L'ARASEMENT / DERASEMENT

I. PRINCIPE DE LA MESURE ET RÉALISATION TECHNIQUE

Le principe de l'effacement de l'ouvrage est très simple et consiste à supprimer intégralement l'ouvrage, en gardant éventuellement un radier de fond pour éviter une érosion régressive provenant de l'aval.

Cette option de l'effacement est à privilégier, notamment lorsque l'ouvrage n'assure plus la fonction pour laquelle il a été autorisé et cela d'autant plus que le coût d'une telle opération est très souvent inférieur à celui de la mise en place et de l'entretien ultérieur d'un dispositif de franchissement.

L'avantage incontestable de ce type d'intervention est la suppression complète des impacts hydromorphologiques et écologiques de l'ouvrage. Il permet :

- De **restaurer définitivement la franchissabilité** par la faune aquatique (poissons, macrocrustacés, invertébrés...) mais également pour les embarcations nautiques.
- De **restaurer des écoulements naturels** en amont (restauration des faciès d'écoulements naturels, des habitats aquatiques naturels), La suppression de l'ouvrage est la seule méthode permettant de restaurer totalement la libre circulation de la **totalité** des espèces piscicoles et de libérer les surfaces productives situées en amont de l'obstacle par dénoiement de la retenue.
- De réduire les effets de l'eutrophisation liés à la présence de la retenue (peu concerné à la Réunion),
- De réduire l'engravement et améliorer le transit des alluvions.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



Photo avant destruction : SOS Loire Vivante



Photo après travaux : SOS Loire Vivante

Exemple d’effacement : Le barrage de St Etienne du Vigan sur l’Allier



Le barrage avant son effacement



Travaux d’effacement en cours



Le site après travaux

Exemple d’effacement : Le barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne

(photos : <http://www.centre.environnement.gouv.fr>)

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



Photo avant destruction (source : Biotec, Malavoi)



Photo après travaux (source : Biotec, Malavoi)

Exemple d’effacement d’ouvrage plus réduit : Le seuil BWA sur la Corrèze à Tulle



Vue de l’ancienne retenue après vidange et du barrage de Kernansquillec sur le Léguer en cours de démolition
(Source : brochure du Ministère de l’écologie et du développement durable)

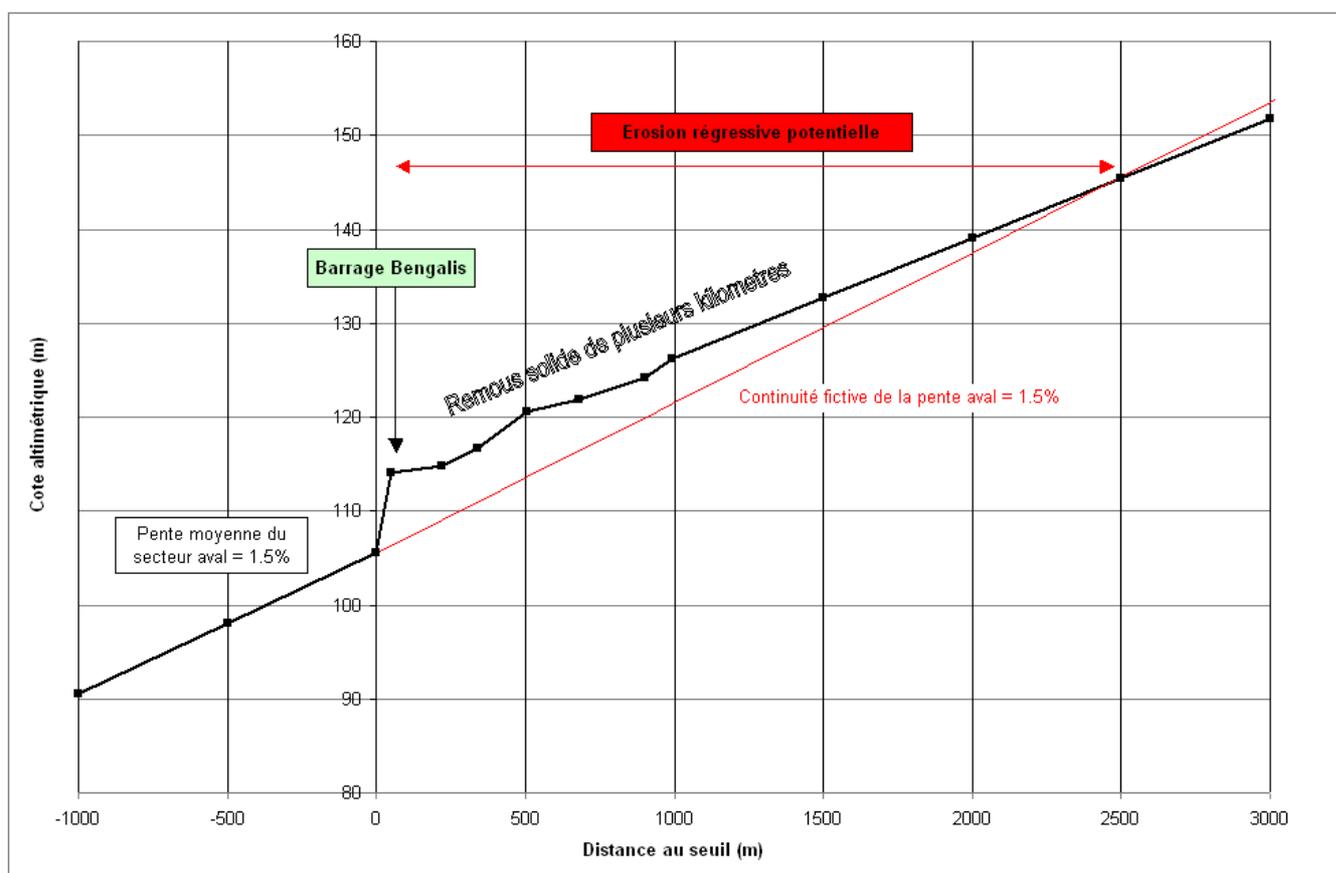
II. IMPACTS POTENTIELS DE LA MESURE

Cependant, l’arasement ou le dérèglement d’un ouvrage peut avoir des **impacts** en amont et en aval de ce dernier. Ces impacts peuvent être **plus ou moins conséquents** en fonction des sites et sont à analyser dans une étude préalable.

➤ Erosion régressive et Erosion latérale en amont

Une suppression totale ou partielle du seuil peut être couplée avec la mise en place de protections de berges au droit et/ou en amont. En effet, le dérèglement total d’un seuil va généralement se traduire par une érosion régressive dans le remous solide généré par l’ouvrage, voire au delà si un processus d’érosion régressive (lié à une autre cause, comme par exemple : extraction massive de granulats) existe en aval de l’ouvrage concerné.

Le remous solide s’étend souvent, selon l’ancienneté de l’ouvrage et l’intensité du transport solide du cours d’eau, très au delà du remous liquide (parfois sur plusieurs kilomètres : exemple seuil de Bengalis sur la rivière du Mât).



Exemple de remous solide en amont d’un seuil (cas du seuil de Bengalis sur la rivière du Mât)

L’érosion régressive qui va s’y propager peut donc être spectaculaire et engendrer un certain nombre de désordres, si des usages se sont créés sur la base de la cote altimétrique de ce remous solide artificiel (ponts, protections de berges, digues, seuils...).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

De plus, l’effacement de la retenue et le retour du profil en long, peut se traduire par la reprise des processus d’érosion latérale pouvant impliquer, si nécessaire et en cas d’enjeux importants, la mise en place de protections de berges.

L’étude d’un arasement d’ouvrages consiste donc essentiellement à identifier ce type de risque, d’anticiper les processus et éventuellement de les bloquer si des enjeux importants existent (succession de mini-seuils de stabilisation, protections de berges, de fondations...).

Dans ces analyses, les photos aériennes antérieures à la réalisation de l’ouvrage sont souvent très enrichissantes.



Photographie aérienne des années 1950 antérieure à la réalisation du seuil de Bengalis sur la rivière du Mât (source IGN)
 . Ce type de photographie est riche d’enseignements dans le cadre d’une étude de faisabilité d’arasement.

➤ **Apport massif de sédiments en aval**

De plus, la reprise des matériaux stockés en amont va générer un apport solide intense en aval en libérant plus ou moins rapidement plusieurs années d’apport de sédiments. Ainsi, l’étude d’effacement d’un ouvrage doit consister à déterminer le volume de sédiments susceptibles d’être entraînés en aval et de définir l’impact sur l’aval de cet afflux important de sédiments qui peut être problématique notamment par réduction de la section hydraulique pouvant entraîner ainsi en crue, un exhaussement de la ligne d’eau (inondabilité) et une augmentation des contraintes hydrauliques (vitesses) au niveau de certaines zones sensibles (ponts...). L’étude préalable doit permettre d’anticiper ces dommages et prévenir.

Le curage au préalable des sédiments accumulés dans la retenue peut être intéressant dans les cas où ces suralluvionnements en aval peuvent avoir un impact hydraulique fort mais également lorsqu’ils peuvent avoir un impact sur le milieu naturel (mauvaise qualité physico-chimique des sédiments, sédiments fins pouvant colmater le substrat du lit en aval...). Dans ce dernier cas, les sédiments sont alors mis en décharge. On peut penser que sur l’île de la Réunion, l’arasement d’un ouvrage ne devrait pas nécessiter de curage préalable au arasement, les sédiments accumulés étant généralement de granulométrie grossière.

Par contre, dans le cas où l'érosion régressive est susceptible de mobiliser un très grand volume de sédiments grossiers à fort intérêt pour le milieu naturel en aval, on privilégie généralement l'arasement de l'ouvrage en plusieurs années.

➤ **Impact sur la ripisylve et zones humides en amont**

L'abaissement de la retenue en amont va entraîner l'exondation des racines de la ripisylve et peut entraîner la dégradation de cette dernière. De plus, la présence de la retenue depuis de nombreuses années a pu entraîner le développement de zones humides en amont. L'effacement aura alors pour conséquence la purge de ces zones à fort intérêt écologique. L'étude préalable à l'arasement devra s'intéresser également à cet impact potentiel (exemple : arasement du radier Beauvallon de la rivière des Roches).

MESURES M2 & M3 : REPRISE TOTALE DE L’OBSTACLE OU LA PRISE EN COMPTE DU PROBLÈME DE FRANCHISSEMENT LORS DE LA RÉALISATION D’UN OUVRAGE

MESURE M2 : REPRISE DES PASSAGES BUSES DANS LE CADRE DE RADIER ROUTIER

Les principaux éléments présentés ci-dessous sont tirés des études réalisées par OCEA Consult' - ECOGEA lors de l'expertise du franchissement de la piste des carriers de la rivière Saint Etienne et lors de recommandations pour la préservation de la faune aquatique pour la création d'une piste temporaire dans le lit de la rivière Saint-denis (OCEA Consult' - ECOGEA, 2010 et 2001).

I. SYNTHÈSE DES CAUSES PROVOQUANT DES DIFFICULTÉS DE FRANCHISSEMENT POUR LES ESPÈCES AMPHIDROMES

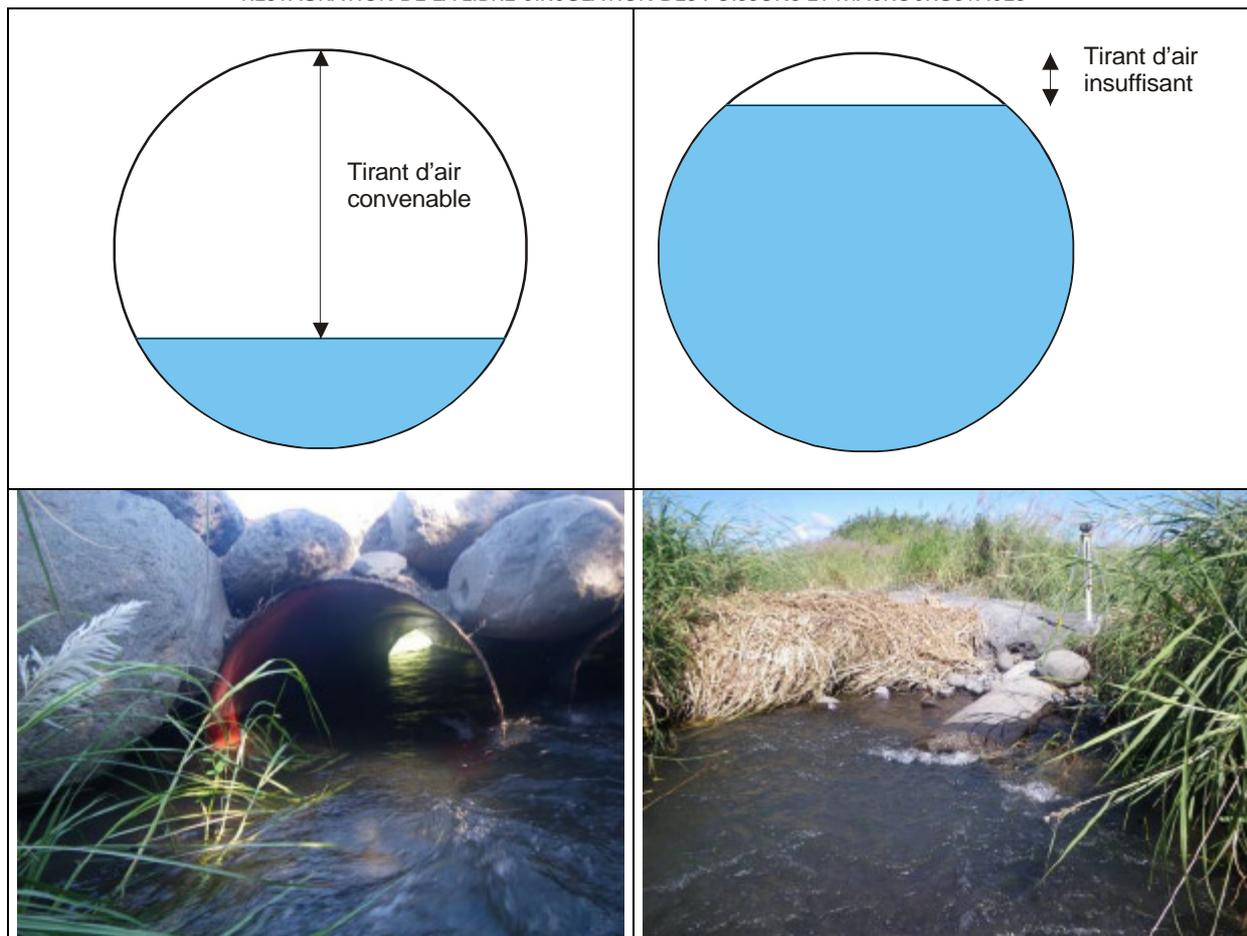
Le rétablissement des écoulements naturels, dans le cadre de radier routier ou piste de roulement pour chantier entraîne de nombreux problèmes pouvant réduire, voire empêcher totalement la libre circulation des poissons et des macro crustacés.

Les principales causes rencontrées ou potentielles limitant le franchissement des espèces de poissons et de macro crustacés au niveau des passages busés sont les suivantes :

- des vitesses d'écoulement trop fortes à l'intérieur des passages busés,
- des tirants d'eau trop faibles,
- la présence de chute en aval,
- l'absence de zones propices au ventousage des gobiidés, à la reptation des anguilles et au passage par marche des macro crustacés.

Ces différentes problématiques sont détaillées à la suite mais proviennent d'une façon générale de sous dimensionnement de la section des passages busés : dès que la section hydraulique de la (des) buse(s) est sous estimée par rapport au débit à faire transiter, l'ouvrage peut se mettre en charge entraînant alors un passage à forte vitesse difficilement franchissable. De plus, lorsque le tirant d'air en tête de buse est trop faible, des débris sont alors susceptibles de se bloquer pouvant alors constituer une barrière physique ou une mise en vitesse des écoulements. Ce phénomène est d'autant plus fréquent que le diamètre des buses est faible.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



De façon générale, les conditions d’écoulement dans l’ouvrage ne sont généralement pas favorables dès lors que la section cumulée et la largeur cumulé du (des) passage(s) busé(s) ne sont pas adaptées : largeur et sections d’écoulement du cours d’eau non maintenues dans la gamme des débits à considérer.



Mauvais : Passage busé 5 fois moins large que la largeur du lit du cours d’eau
 (exemple : ouvrage routier sur la riv. Ste Suzanne)



Bon : La largeur des passages busés est bien adaptée par rapport à la largeur du lit
 (exemple : Passage busé de la piste des carriers sur la riv. Ste Etienne)

➤ **Des vitesses d’écoulement trop fortes**

Dès que la pente de la buse devient notable, l’écoulement subit alors une accélération brutale en tête d’ouvrage. Compte tenu de la faible rugosité des buses (béton ou acier), les vitesses atteignent rapidement des valeurs importantes.

En effet, dans tout cours d’eau naturel, même à forte pente, les conditions d’écoulement (vitesses d’écoulement et profondeurs d’eau) sont suffisamment hétérogènes pour offrir au poisson et aux macrocrustacés des zones de passage plus favorables à leur progression et de place en place des aires de repos. Par contre, dans les ouvrages busés, l’uniformité des vitesses exclut toute zone de repos pour les espèces qui doivent alors franchir l’ouvrage d’un seul trait. L’effort demandé excède le plus souvent très largement ses capacités de nage.



Fortes vitesses d’écoulement dans une buse de la piste des carriers (Riv Ste Etienne)

➤ **Des tirants d’eau trop faibles**

En particulier en période de basses eaux, les profondeurs d’eau dans les ouvrages peuvent éventuellement devenir très faibles, rendant ainsi difficile la progression par nage du poisson.

Ces faibles tirants d’eau peuvent se créer à l’intérieur de la buse sans forcément s’en apercevoir en sortie de buse notamment lorsqu’un seuil de contrôle est bien présent en aval.



PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Faibles tirants d’eau dans des ouvrages routiers (Riv Ste Etienne)

➤ **La présence d’une chute en aval**

Le blocage du poisson et des macrocrustacés peut également se produire à l’extrémité aval de l’ouvrage lorsqu’il existe une chute. Ce fait résulte d’un mauvais calage de l’ouvrage par rapport au profil du cours d’eau. Il peut aussi provenir de l’abaissement du fil d’eau en aval, consécutif à l’installation de l’ouvrage si aucune mesure préventive n’a été prise pour stabiliser le lit.



Chute problématique en aval de buse ou dalot (exemples : Riv des Pluies et Riv. Ste Etienne)

Décollement de la lame d’eau et zone difficilement franchissable pour les gobiidés, civelles et macrocrustacés

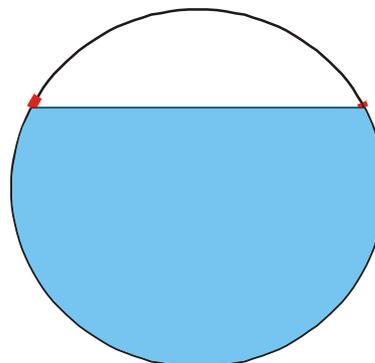
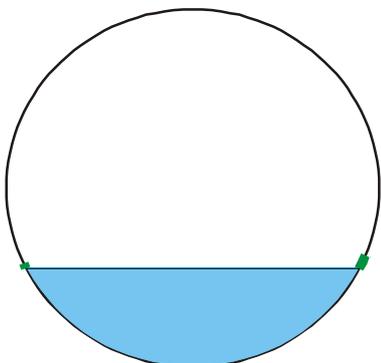
➤ **L’absence de zones propices au ventousage des gobiidés, à la reptation des anguilles et au passage par marche des macro crustacés.**

Lorsque les vitesses d’écoulement dans la buse dépasse quelques dizaines de centimètres par seconde, les conditions deviennent pénalisantes pour les petits individus et cela surtout si il n’existe aucune rugosité en fond de buse (absence de colmatage par les sédiments en fond).

Dans ce cas, les seules zones potentielles de passage sont les limites d’écoulement. Or dans les passages busés, les zones de passage sont très peu larges du fait de la configuration des ouvrages. De plus, elles admettent des pentages très forts.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES

De plus, dès que le tirant d’eau dépasse la moitié de la buse, la zone de passage admet alors une contre pente très défavorable.



**Passage possible mais sélectif
par ventousage, reptation ou marche**



**Passage impossible voire très difficile
par ventousage, reptation ou marche**

II. PRINCIPE DE LA MESURE ET RÉALISATION TECHNIQUE

CRITÈRES DE CONCEPTION ET D’INSTALLATION

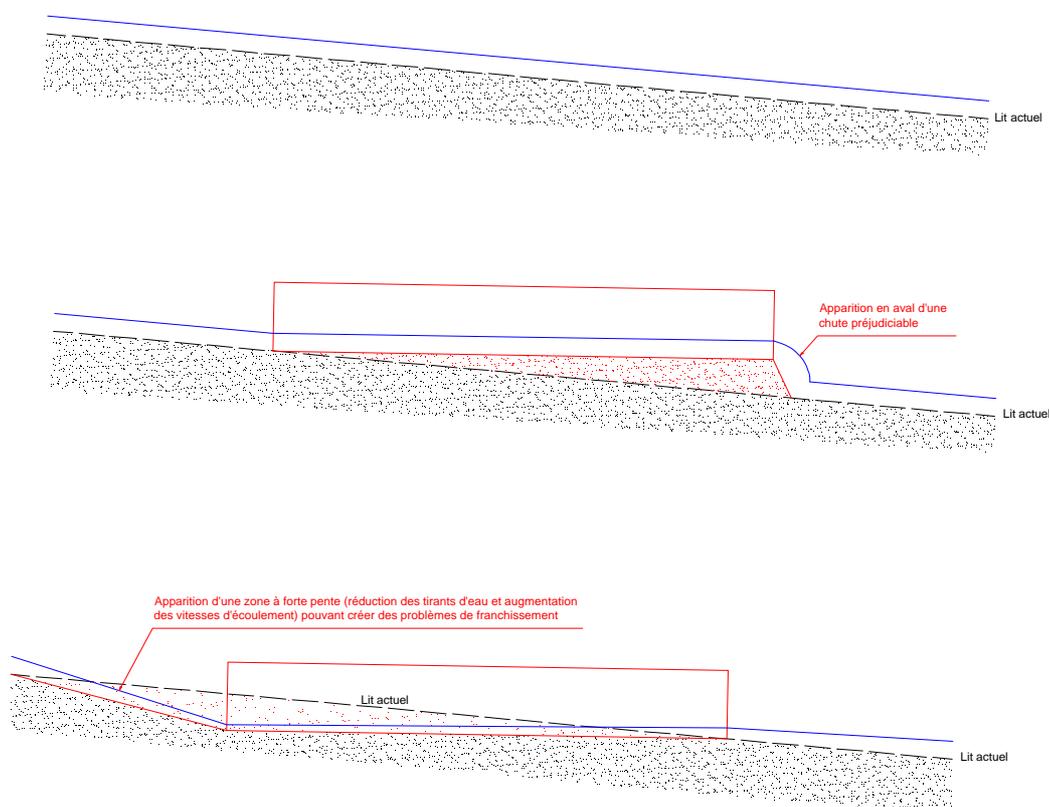
Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour parvenir à la conception d’un ouvrage satisfaisant à la fois aux contraintes hydrauliques et piscicoles :

- Ouvrage à radier lisse satisfaisant les critères de vitesses et de tirant d’eau pour les espèces concernées,
- Ouvrage (ponceau, buse-arche, ...) conservant quasi inchangées les caractéristiques hydrauliques du cours d’eau, c’est à dire la pente moyenne, la largeur, la section d’écoulement ainsi que les caractéristiques granulométriques du lit.

Ces ouvrages peuvent être équipés en complément de dispositifs particuliers (substrat en dévers) fixés sur le radier qui offrent des zones de franchissement adaptées aux espèces pouvant utiliser le ventousage, la reptation ou la marche pour franchir l’ouvrage.

Dans tous les cas, le calage de l’ouvrage (ou de la série d’ouvrages) doit s’effectuer en conservant dans la mesure du possible la pente générale du cours d’eau dans le secteur considéré.

L’implantation se fait dans le lit mineur du cours d’eau en évitant les recalibrages qui sont susceptibles de créer à l’amont comme à l’aval immédiat de l’ouvrage des secteurs à fortes pentes pouvant alors être difficilement franchissables (augmentation des vitesses, diminution des tirants d’eau).



PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Le radier de l’ouvrage (cas de buse ou dalot) doit être installé au minimum à une trentaine de centimètres au dessous du lit du cours d’eau, à l’amont comme à l’aval.

➤ **Le seuil de contrôle du niveau d’eau aval**

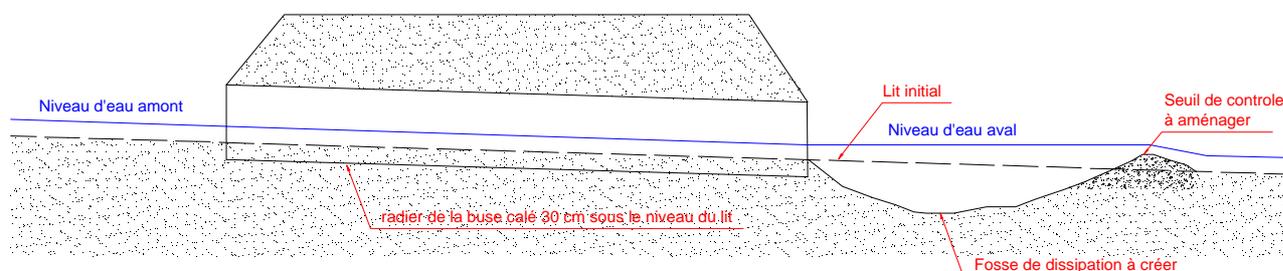
Un voire plusieurs seuils de contrôle et un bassin de dissipation doivent être aménagés en aval de l’ouvrage. Ces aménagements sont destinés à contrôler l’érosion en dissipant l’énergie en sortie de buse et prévenir l’abaissement de la ligne d’eau en aval.

Ils permettent également d’assurer un tirant d’eau minimum et de supprimer toute chute et accélération dans la partie aval de l’ouvrage. La fosse de dissipation sert également aux différents migrateurs de zone de repos avant le passage dans l’ouvrage.

Le seuil de contrôle doit être calé à une cote telle qu’il maintienne un tirant d’eau d’au moins 40cm en sortie de buse afin d’éviter une accélération ou une chute.

Le seuil de contrôle doit impérativement être profilé pour permettre aux différentes espèces de le franchir. Pour cela, il est intéressant d’aménager une échancrure centrale pour concentrer le débit d’étéage.

Le seuil de contrôle doit être aménagé à une longueur suffisante de la sortie de buse de manière à pouvoir aménager un bassin de dissipation suffisant pour assurer une dissipation correcte de l’énergie des écoulements (notamment par forts débits).



➤ **Radier de l’ouvrage**

Dès que la longueur dépasse une dizaine de mètres comme dans le cas de la piste des carriers, il nous semble difficile de satisfaire l’ensemble des contraintes piscicoles en installant des buses à fond lisse.

Cette installation impliquerait de caler l’ouvrage à une pente plus faible que celle du cours d’eau naturel et :

- à l’installer dans le remous du seuil de contrôle aval. Le seuil de contrôle devra être conséquent. pour éviter l’apparition d’une chute aval. Ce seuil peut alors être vite mobilisable lors des petites crues et pénalisant pour le franchissement.
- ou cela conduirait à creuser le lit du cours d’eau en amont (risque d’apparition d’un tronçon à forte pente avec des tirants d’eau faibles et des vitesses

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

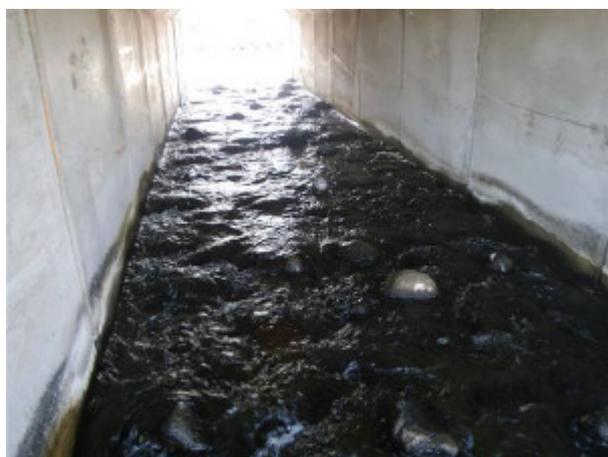
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

d’écoulement plus fortes, ce qui pourrait également être préjudiciable au passage des poissons et macrocrustacés.

La reconstruction du lit du cours d’eau à l’intérieur de l’ouvrage ou des ouvrages paraît être à bien des égards la meilleure solution : en pratique, la section de l’ouvrage est choisie de telle sorte que la largeur et les sections d’écoulement du cours d’eau sont maintenues dans la gamme des débits à considérer (étiage à 1.5 fois le module).

L’ouvrage est implanté à la pente moyenne du cours d’eau sur le tronçon concerné, positionné au moins une trentaine de cm au-dessous du lit amont comme à l’aval et rechargé avec des matériaux de caractéristiques voisines de celles du lit.

D’une façon générale, il convient de préserver le profil d’équilibre du cours d’eau au voisinage de l’ouvrage, en s’abstenant de toute intervention de type recalibrage, reprofilage, coupure de méandres qui aurait pour conséquence de modifier ou déstabiliser le profil en long du lit, et de perturber les jonctions hydrauliques en amont et en aval de l’ouvrage.



Exemples de dalots ancrés dans le lit du cours d’eau (Riv Ste Etienne)

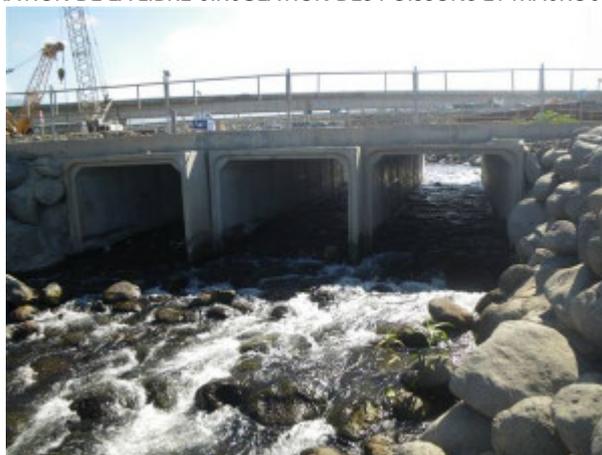
➤ **Hauteur de l’ouvrage**

La hauteur des ouvrages à installer doit prendre en compte l’évolution de la ligne d’eau dans le bras en fonction du débit en période de migration (de l’étiage à 1.5 fois le module).

Il est important que la hauteur de l’ouvrage soit également suffisante pour garantir un tirant d’air assez important pour limiter ainsi les risques de colmatage par les déchets flottants.

Par retour d’expérience, nous préconisons de maintenir un tirant d’air minimal de 50 cm.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



↑
Tirant d'air conséquent
↓

Type d'ouvrages :

Si les consignes précédemment citées ont été respectées (calage des ouvrages en conservant une pente voisine à la pente du cours d'eau, installation des radiers des ouvrages sous le lit, aménagement d'un seuil de contrôle et d'une fosse, maintien d'un tirant d'air, aucun recalibrage, sections des ouvrages adaptées...), le type d'ouvrage (buse ronde, dalot, arche) installé nous paraît assez peu important.

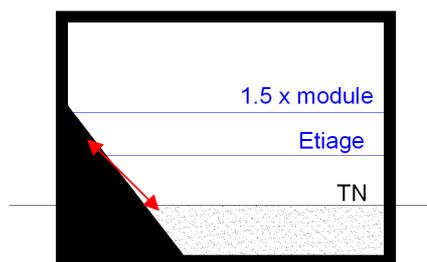
Entre ces deux possibilités de buses usuellement utilisées, **une buse carrée ou dalot paraît préférable, car on peut notamment les installer en série sans trop de réduction de section d'écoulement.**

De plus, lorsque le niveau d'eau dépasse la moitié de buse, les buses rondes deviennent pénalisantes pour le ventousage des bichiques (contre pente).

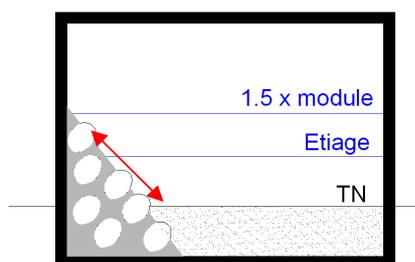
A dimension égale (diamètre, largeur) et enfouissement égal de 30cm une buse carrée offre en proportion une largeur mouillée à faible rugosité (sédiments plutôt que béton ou acier) plus importante, garantissant ainsi une meilleure hétérogénéité des vitesses d'écoulement et une vitesse moyenne plus faible.

La buse qui nous semble « idéale » pour la progression des poissons est donc **une buse qui présenterait un dévers latéral préfabriqué ou non en complément, positionné du côté de la berge.** Ce dévers permettrait quel que soit le niveau d'eau dans la buse d'offrir une zone de passage pour les espèces progressant par ventousage (bichiques), reptation (civelles) ou marche (macro crustacés).

Les formes pourraient être par exemple, les suivantes :



Dévers préfabriqué en même temps que le dalot



Dévers en béton armé ou enrochements liés ultérieurement

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUÉRIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

La reconstitution d’atterrissement dans les ouvrages peut être bénéfique, en permettant ainsi d’offrir quel que soit le débit du cours d’eau des zones propices au franchissement des espèces. Pour cela, la taille des passages busés doit être adaptée.



Dépôt de sédiments dans les dalots extérieurs permettant d’offrir quel que soit l’hydrologie, une zone propice pour le franchissement des espèces (Exemple : Riv Ste Etienne)

➤ **Épaisseur minimale de remblai au dessus de la buse ou du dalot**

L’épaisseur requise varie selon les caractéristiques de l’ouvrage (diamètre, forme, épaisseur, matériau...) et les charges qu’il aura à supporter. Toutefois, les épaisseurs minimales de remblai à respecter lorsqu’on aménage un ponceau sont de l’ordre de 60 cm minimum ou $\frac{1}{4}$ du diamètre de la buse.

➤ **Dimensions et Nombres d’ouvrages**

La détermination du diamètre du tuyau à installer est d’une importance capitale car le ponceau doit permettre l’écoulement de l’eau en étiage comme en eaux moyennes.

Toutefois, nous ne garantissons pas ici les écoulements en crue, les débits en période d’épisodes cycloniques étant trop importants.

La méthode de calcul est très simple et a montré son efficacité. Cette méthode est d’ailleurs préconisée par la Fédération des Producteurs de Bois du Québec et par la Fondation de la faune du Québec.

La méthode s’appuie sur un principe de bon sens, à savoir que **l’ouvrage ne doit pas rétrécir la largeur du cours d’eau de manière importante**. Cette préconisation permet de s’abstenir d’apprécier le débit du cours d’eau au droit du site en période de migration.

Ainsi, dans notre cas, l’ouvrage ne devra pas rétrécir la largeur du cours d’eau de plus de 10%.

Dans le cas où plusieurs ponceaux doivent être mis en parallèles, il est suggéré de laisser un espace de 0.5 m voire 1 m entre chaque tuyau ou dalot afin de compacter le matériel de remblai à cet endroit.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES

Pour déterminer la largeur moyenne du cours d’eau, on doit prendre tout d’abord des mesures sur le terrain :

- Largeur du cours d’eau ou du bras à traverser

Compte tenu que la largeur du cours au niveau du passage que l’on souhaite créer peut varier beaucoup, il est important d’estimer une largeur moyenne représentative du secteur. Pour cela, il peut être intéressant de prendre plusieurs largeurs et d’en faire une moyenne.

La largeur du cours d’eau (ou bras à traverser) est mesurée au niveau de la ligne d’eau en eaux moyennes. Cette ligne d’eau est généralement rencontrée en fin de période de pluie (fin mars – début avril).

- Tirant d’eau et tirant d’air au droit du futur passage

En complément de la largeur du cours d’eau à mesurer, il est important de connaître la hauteur entre la ligne d’eau et le haut de berge et la hauteur totale entre le fond du lit et le haut de berge

Ainsi les dimensions et le nombre d’ouvrages seront définis pour respecter les règles suivantes :

- **Ne pas réduire la largeur du lit vif du cours d’eau de plus de 10 %,**
- **Assurer un enfouissement dans le lit de 30 cm,**
- **Garantir un tirant d’air de 50 cm entre le haut de l’ouvrage et la ligne d’eau de manière à éviter les risques d’embâcles et de mis en charge.**

NOTA : Ces préconisations en termes de tirant d’air et d’enfouissement dans le lit implique d’ores et déjà que quelles que soient les caractéristiques du cours d’eau, **la hauteur du dalot ne pourra jamais être inférieure à 80 cm.**

MESURE M3 : REPRISE TOTALE D'UN SEUIL OU/ET RÉALISATION D'UN SEUIL FRANCHISSABLE PAR CONCEPTION

Lors de la construction d'un nouveau seuil ou en cas de reconstruction d'un seuil existant, le maintien de la libre circulation des espèces doit être pris en compte dès le stade Esquisse.

En premier lieu, il faut veiller à réduire au maximum la hauteur du seuil à réaliser, sachant qu'un aménagement de faible chute peut s'avérer directement franchissable par certaines espèces (cabots bouche-rondes, atydés, voire chittes) sans dispositif de franchissement spécifique.

Dans la conception du nouvel ouvrage, il conviendra dans la mesure du possible, de rendre ce seuil franchissable par conception, ce qui permettra d'éviter la construction d'un dispositif de franchissement spécifique pouvant induire de fortes contraintes d'entretien, et ce qui permettra également d'assurer une efficacité souvent bien meilleure.

I. PRINCIPE DE LA MESURE ET RÉALISATION TECHNIQUE

Le principe général s'apparenterait à celui d'une rampe rustique « multi-espèces » ou « spécifique » suivant les espèces à prendre en compte (voir § 1.3.3), en cherchant à :

- à réduire la pente du parement du seuil, c'est à dire à augmenter la distance sur laquelle s'effectue la dénivellation totale,
- à augmenter la rugosité du coursier,
- à adapter le profil transversal du coursier (voire un profil en V), de manière à ce qu'il reste franchissable pour des larges gammes de débits et de niveaux.

Il faut veiller à ce que les espèces qui ne sautent pas puissent franchir le seuil en nageant dans une lame d'eau suffisante.

Ainsi, on visera à rendre les conditions hydrauliques sur le seuil assez hétérogènes de manière à prendre en compte les exigences des différentes espèces concernées (marche, nage, ventousage, reptation).

Si l'on veut assurer le passage de l'ensemble des espèces, il conviendra d'adopter des pentes maximales de l'ordre de 1/20 (voire 1/40) pour les petits individus.

Cependant, un tel aménagement « multi-espèces » n'est réalisable que pour des hauteurs d'ouvrages limitées, car pour un seuil de plusieurs mètres de hauteur, l'aménagement s'étendrait sur une ou plusieurs centaines de mètres et s'avérerait très coûteux.

On peut par contre imaginer facilement des ouvrages de plus grandes hauteurs (> 5m) franchissables par conception pour des espèces à fortes capacités de franchissement comme les Cabots bouche-rondes ou les atydés, à condition qu'il respecte certaines règles de base comme détaillées au § 1.3 (pas de décollement de la lame d'eau, dévers latéral, substrat ...).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



photo : Pole Ecohydraulique

Exemple sur l’Iller en Allemagne
Chute = 2.8 m



photo : Pole Ecohydraulique

Le seuil de Lescar sur le Gave de Pau (64)
Chute = 1.20 m



photo : Pole Ecohydraulique

Le seuil de Kolbsheim sur la Bruche
Chute = 1.30 m



photo : Pole Ecohydraulique

Le seuil de Kolbsheim en basses eaux

MESURES M4 à M7 : LES PRINCIPAUX TYPES D’OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

I. LES CRITÈRES DE CHOIX DU DISPOSITIF

Rappelons que l’option de la suppression d’un obstacle est à envisager en priorité. Le fait de proposer des solutions potentielles en matière de dispositifs de franchissement ne doit pas laisser penser qu’on peut sans problème multiplier les barrages et les aménagements. **Un dispositif de franchissement le mieux conçu et le plus attractif induira toujours un retard de migration.**

L’effet cumulatif des aménagements peut donc très vite atteindre des proportions difficilement compatibles avec le maintien d’une population.

A titre d’exemple et pour illustrer l’impact cumulatif des ouvrages, sur un cours d’eau présentant une succession de 5 obstacles en série équipés de dispositifs de franchissement présentant des efficacités de l’ordre de 70 % (ce qui est déjà bon au vu du retour d’expériences sur les passes à poissons en métropole), seul 17 % des individus arriveront en amont de l’obstacle amont.

Les dispositifs de franchissement doivent être adaptés aux espèces ciblées, aux caractéristiques des cours d’eau et aux différentes contraintes liées aux ouvrages sur lesquels ils doivent être installés. Ainsi, **il n’existe pas une solution unique universelle** et il existe toute une gamme de solutions potentielles qui devront respecter certaines règles basiques.

Ainsi, la solution retenue devra dans tous les cas :

- être adaptée aux capacités de franchissement des espèces dont on veut assurer les migrations
- laisser transiter des débits suffisants pour assurer son attractivité
- être adaptée aux débits du cours d’eau en période de migration
- être adaptée aux variations de niveaux d’eau amont et aval
- être adaptée aux contraintes topographiques
- être adaptée au transport solide du cours d’eau
- être adaptée de manière à limiter ou faciliter son entretien

II. IMPLANTATION DES DISPOSITIFS

Il est important de souligner que chaque obstacle est un cas particulier et que l’on ne peut généraliser. L’implantation d’un dispositif de franchissement va dépendre d’un ensemble de critères dont l’importance sera variable suivant la nature et la configuration de chacun des sites.

Quelle que soit la configuration du site, le poisson ou le macro crustacé doit pouvoir trouver facilement l’entrée de l’ouvrage de franchissement. Pour cela, l’ouvrage doit se situer dans la partie

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

du barrage où les individus sont instinctivement attirés. L’implantation optimale d’un dispositif sur un obstacle donné, dépend donc du comportement des espèces-cibles en migration, comportement sur lequel il est impératif d’acquérir un minimum de données.

Des observations visuelles à plusieurs débits et plusieurs périodes de l’année peuvent être riche d’informations sur le plan hydrobiologique notamment (observations d’individus en migration, de zones d’accumulation d’individus, de tentatives de passage...), mais également sur le plan hydrodynamique (zones d’écoulements préférentiels, zones de dépôts de sédiments...).

Les critères d’implantation de l’ouvrage de franchissement peuvent être répartis en deux groupes : biologiques et contraintes techniques.

➤ **Critères biologiques**

Instinctivement, les individus ont tendance à remonter le plus en amont possible, jusqu’à ce qu’ils soient arrêtés par une zone infranchissable. L’entrée du dispositif devra préférentiellement se situer à proximité du point le plus en amont de la remontée du migrateur.

Dans le cas où la restitution du débit du cours d’eau crée à l’aval du barrage un écoulement préférentiel (cas d’une restitution de débit réservé, d’une échancrure dans le barrage...), l’entrée du dispositif devra se situer au droit de cet écoulement, afin de bénéficier du rôle attractif de celui-ci.

Des écoulements diffus à proximité du courant central (surverses ponctuelles au barrage....) peuvent être des sources d’attractivité pour certaines espèces comme les cabots bouche-rondes qui peuvent alors s’engager par ventousage dans ces voies sans issues. La prise en compte de ces écoulements annexes est importante.

Restitution du débit réservé. Zone à forte attractivité et pouvant inciter les cabots bouche-ronde à progresser « sans issue » le long du mur

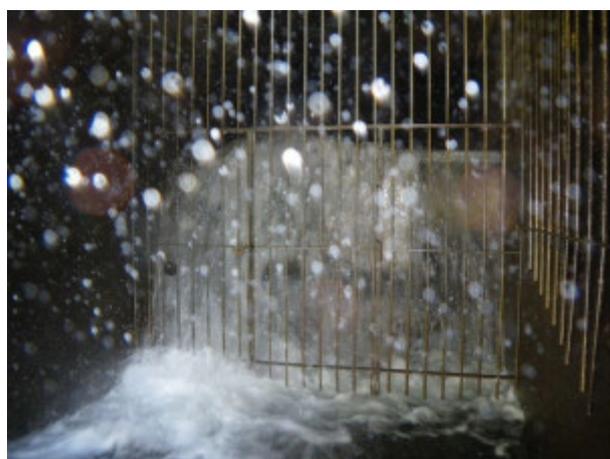


Prise d’eau SAPHIR sur le Bras de la Plaine

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



Observations visuelles sur la prise de la rivière du Mât, voies de franchissement observées. 1 : parement aval, 2 : entrée de la passe à bichiques (source : ARDA-ONEMA-ECOGEA, 2009)



Vue générale du système de débit réservé à la prise d'eau de la rivière du Mat (gauche) et détail sur des bouche-rondes bloquées au niveau de cet écoulement (droite). (source : ARDA-ONEMA-ECOGEA, 2009)

➤ **Critères liés aux contraintes techniques**

L'ouvrage devra être facile d'accès pour sa construction, mais surtout pour son entretien ultérieur. Pour cela, on construira toujours le dispositif en rive.

Les dispositifs déjà installés au droit des différents sites (Salazie, Cilaos, Mafate) montrent la **forte sensibilité des prises d'eau des dispositifs à l'engravement**. Aussi, dès lors que les dispositifs ne comportent pas de vannes de dégrèvement et/ou qu'ils sont difficilement accessibles pour dégager leurs prises d'eau, ces ouvrages peuvent rapidement être non fonctionnels.

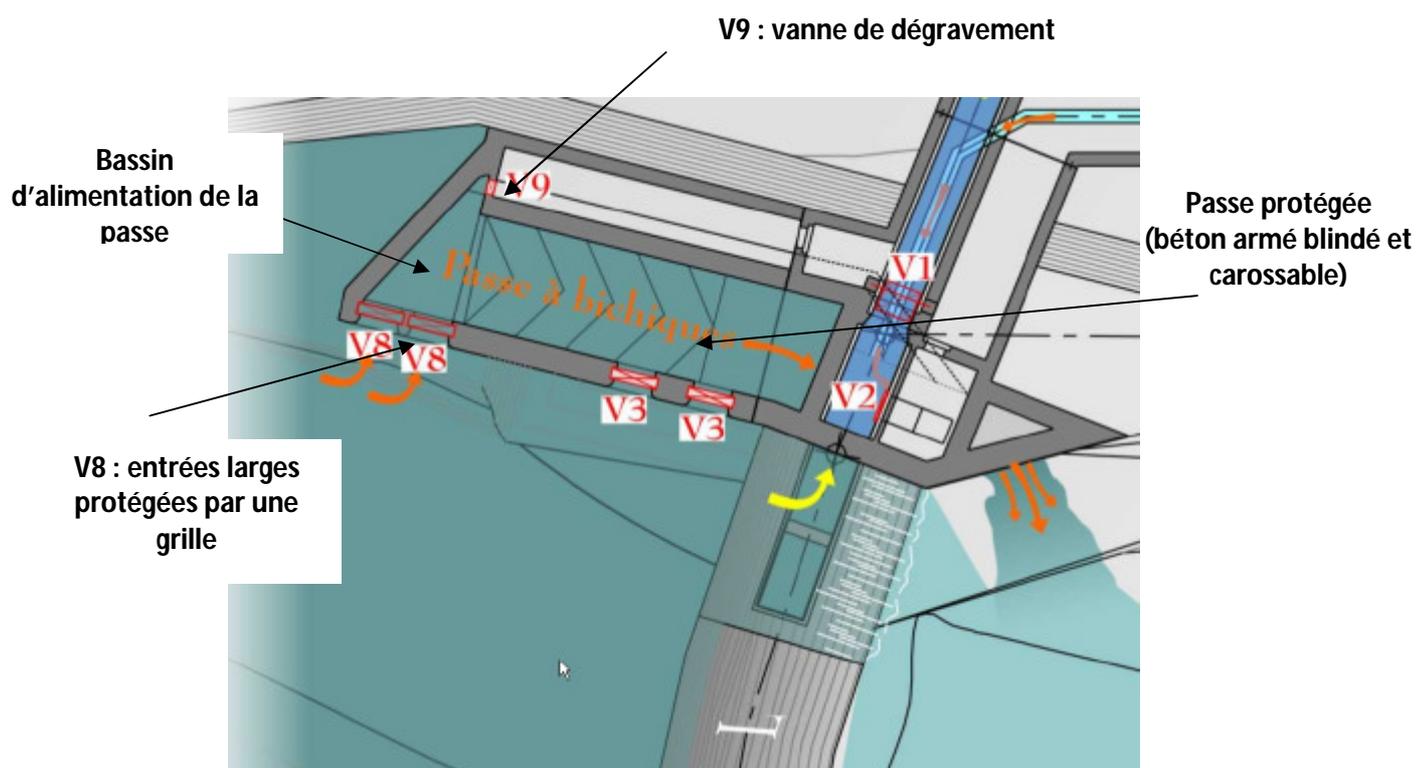
PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUÉRIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES

Le site d’implantation devra être le plus possible à l’abri des écoulements de crue, afin d’éviter toute déstabilisation ou endommagement de l’ouvrage dus aux turbulences et surtout au transport solide. **Dans certains cas, notamment sur des cours d’eau à fort transport solide (rivières provenant des cirques notamment), les ouvrages devront obligatoirement être protégés par blindage.**

Le retour d’expérience sur les dispositifs de franchissement (rampe spécifique pour les cabots bouche rondes) installés aux prises ILO des rivières des Fleurs Jaunes, du Mât, du Bras de la Plaine, a montré les fortes contraintes que ces dispositifs pouvaient subir.

Certains ouvrages comme les **passes à bassins successifs** sont des ouvrages sensibles au colmatage et nécessitent ainsi un entretien accru. L’implantation de ce type de dispositif doit donc être choisie en prenant bien en compte l’ensemble de ces contraintes.

Blindage, prise d’eau avec vanne asservie de dégrèvement et accessibilité pour entretien piétonnier ou mécanisé (pelle mécanique) sont donc des préconisations qui doivent être intégrées autant que possible notamment sur les cours d’eau à fort charriage. Le retour d’expérience récent sur les dispositifs ILO des rivières du Mât et des Fleurs Jaunes (passe protégée + vanne de dégrèvement + prégrille) a montré notamment l’efficacité de ces mesures vis à vis du transport solide (colmatage + dégradation).

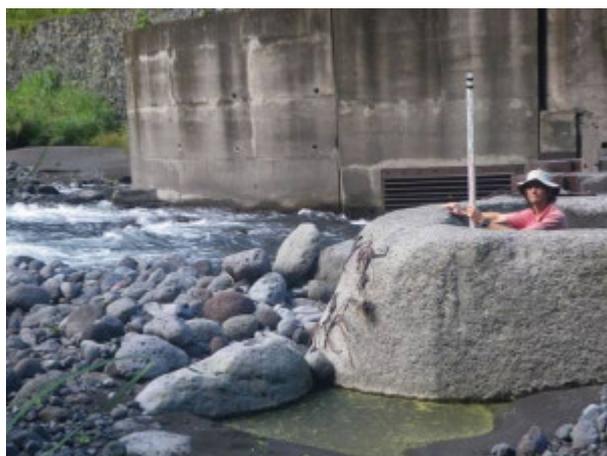


Synoptique de la passe à bichiques de la rivière du Mât

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



Etat du contre barrage de la prise d’eau SAPHIR du Bras de la Plaine. La mise à nu des ferailles montre l’importance du transport solide et les fortes contraintes abrasives subies par certains ouvrages.



La passe à cabots bouche-ronde implantée sur le seuil de prise d’eau SAPHIR du Bras de la Plaine. La prise d’eau du dispositif est totalement obstruée par un dépôt de sédiment. La passe n’est plus alimentée

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



**Passé à cabots bouche-rondes située sur la rivière des galets.
Vue de la prise d'eau de la passe colmatée après une crue**



Passé de la rivière des galets réalimentée partiellement grâce à un chenal creusé à main d'homme.

III. LES PRINCIPAUX TYPES D’OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

On propose quatre types de solutions adaptés suivant les espèces-cibles et le type d’ouvrage :

- Rampe spécifique pour Atydés et Cabots bouche-rondes : Ce sont des passes adaptées aux atydés et cabots bouche rondes et peuvent être réalisées en enrochements liaisonnés, en béton armé voire blindage acier. Ces passes sont constituées d’une rampe à double pendage (latéral et longitudinal) adaptée aux variations de niveaux d’eau.

Ces rampes sont généralement préconisées en partie amont de cours d’eau où généralement, il ne reste plus que ces deux espèces.

- Rampe spécifique pour Atydés, Cabots bouche-ronde, Anguille et macro crustacés : Ce sont des passes adaptées à une plus grande diversité d’espèces que précédemment. Elles peuvent être réalisés en enrochements liaisonnés ou en béton armé à condition que la rampe soit équipée d’un substrat permettant la reptation des anguilles (civelles et/ou anguillettes) et la marche des crustacés. Pour satisfaire les capacités de franchissement des crustacés et anguilles, la pente longitudinale de la rampe devra être plus faible que la rampe spécifique à Atydés et Cabots bouche rondes.

- Passe rustique « multi-espèces » : Ces rampes rustiques sont constituées grosso modo d’un chenal plus ou moins large dans lequel l’énergie est dissipée et les vitesses réduites par la rugosité du fond et des parois, et/ou par une succession de singularités plus ou moins régulièrement réparties. Dans le cas notamment de rampes à rangées d’enrochements disposées périodiquement, la passe forme alors des pseudo-bassins.

De manière à assurer une efficacité à l’ensemble des espèces, la pente de la rampe devra rester limitée.

- Passe à bassins « multi-espèces » : Le principe de la passe à bassins successifs consiste à diviser la hauteur à franchir en plusieurs chutes formant une série de bassins. Ce type de dispositif demande une technicité plus forte et devra être réservé aux obstacles de grande chute et/ou aux cours d’eau présentant des contraintes de transport solide modérées (tendance des bassins au comblement...).

MESURE M4 : RAMPE SPECIFIQUE POUR ATYDES ET CABOTS BOUCHES RONDES

I. RAPPEL DES CAPACITES SPECIFIQUES DE FRANCHISSEMENT DES CABOTS BOUCHE-RONDE

Si les deux espèces de gobiidés (*Cotylopus acutipinnis* et *Sicyopterus Lagocephalus*), comme tout poisson sont susceptibles de franchir des obstacles en nageant, ses capacités natatoires restent toutefois limitées.

Par contre, la ventouse subdiscoïdale formée par la coalescence des nageoires pelviennes confère à ces deux espèces, des capacités exceptionnelles de franchissement, comme le démontre la répartition longitudinale de l'espèce sur les différents cours d'eau de l'île.

Ses capacités de franchissement par « ventousage » ont été étudiées sur prototype expérimental (Voegtli et al., 2002). Des tests de franchissement ont été menés sur différents supports (PVC, tôle, bétons lisse et rugueux, ...), et à différentes pentes (50°, 70° et 90°).

Les résultats de ces tests ont mis en évidence que la pente et le débit de la rampe étaient les principaux facteurs limitant le franchissement des cabots bouche-ronde. Bien que les poissons puissent franchir un mur vertical, le pourcentage de passage et le taux de réussite est plus faible que pour des pentes plus faibles.

Une pente à 50° et une charge de l'ordre de 1-2 mm sont les deux conditions ayant permis sur le pilote d'obtenir les meilleurs résultats. Le revêtement de la rampe s'est révélé être un facteur secondaire, le béton lisse constituant cependant le meilleur support.

Ce travail avait d'ailleurs permis de proposer des critères de dimensionnement pour les dispositifs de franchissement des prises d'eau ILO de Salazie (prise de la rivière du Mât et prise de la rivière des Fleurs Jaunes).

II. RAPPEL DES CAPACITES SPECIFIQUES DE FRANCHISSEMENT DES ATYDES

Comme tout macro crustacés, les atydés se déplacent en marchant. Au niveau d'une chute ou d'une zone à fortes vitesses d'écoulement, les individus (comme le feraient les anguilles et les cabots bouche-ronde) essayent de passer l'obstacle en limite d'écoulement.

La nature du substrat, la pente et l'alimentation du substrat (charge) semblent être également des facteurs essentiels et souvent liés, déterminant les possibilités de franchissement des individus.

Au vu de son nombre de pattes et de sa taille, les atydés disposent de capacités de franchissement plus importantes que les autres macro crustacés, comme le démontre également la répartition longitudinale de l'espèce sur les différents cours d'eau de l'île.

Les atydés comme les cabots bouche-ronde sont d'ailleurs les familles/espèces qui colonisent le plus en amont les cours d'eau, signe notamment de leurs fortes capacités de franchissement.

III. PRINCIPE DE LA MESURE

On peut imaginer un type de dispositif adapté aux atydés et cabots bouche-ronde, utilisant respectivement leurs fortes capacités de marche et de ventousage.

Le principe du dispositif spécifique adapté à leurs fortes capacités est une **rampe à forte pente**, de façon à limiter sa longueur et permettre une meilleure intégration au site à équiper. Cependant, la pente ne devra pas dépasser tout de même les **60°-70°** pour permettre d’assurer une bonne remontée des individus.

On cherchera à créer sur cette rampe et pour les conditions de niveaux d’eau à l’amont les plus fréquentes (Etiage à 1.5 fois le module environ), une zone la plus étendue possible hydrauliquement (tirant d’eau 1-2 mm) favorable à la progression des cabots bouche-ronde et des atydés.

Pour cela, on donnera un **dévers latéral** (ou en forme de V) au seuil d’alimentation de la rampe, de manière à conserver quel que soit le niveau d’eau amont, une zone faiblement alimentée permettant la progression des individus. La pente latérale du dévers devra tout de même ne pas être trop forte de manière à assurer une zone favorable hydrauliquement la plus grande. Une pente latérale de l’ordre de 10-15% similaire à celles mises en place sur les dispositifs de franchissement des prises ILO de Salazie semblent être satisfaisante. On peut imaginer toutefois qu’une pente légèrement supérieure puisse être envisageable en cas de problème d’emprise (on se limitera toutefois à **ne pas dépasser une pente supérieure à 25%** en l’état actuel des connaissances et des retours d’expériences).

Le débit transitant dans l’ouvrage est alors variable suivant le niveau d’eau amont.

Concernant la nature du substrat de la rampe, il est apparu sur modèle expérimental que le béton lisse semblait le meilleur substrat pour les cabots bouche-ronde et ne posait pas de problème de franchissement particulier pour les atydés (Voegtli, com. Pers.). Cependant des observations visuelles de migration de cabots bouche-rondes sur les blindages de prises d’eau effectuées par ARDA-ONEMA-ECOGEA (2009) semblent montrer que la tôle de blindage est également bien adaptée.

Une rampe en enrochements liaisonnés peut également être intéressante sur le plan constructif. On veillera toutefois que les blocs d’enrochements ne provoquent pas de décollements de la lame d’eau (surplomb).

Voie principale de passage. Limite de l’alimentation en eau du dévers latéral



Vue des voies de passage au niveau de la rampe de franchissement. Prise ILO de la rivière des Fleurs jaunes (Source : ARDA-ONEMA-ECOGEA, 2009)

MESURE M5 : RAMPE SPECIFIQUE POUR ATYDES, CABOTS BOUCHES RONDES, ANGUILLES ET MACRO CRUSTACES

I. RAPPEL DES CAPACITES SPECIFIQUES DE FRANCHISSEMENT DES ANGUILLES

Par sa morphologie particulière et par ses capacités de respiration cutanée, l’anguille est capable de se déplacer également par reptation, à condition toutefois que le support reste humidifié (un peu comme le cabot bouche-ronde). C’est par ce mode de déplacement que l’anguille arrive à coloniser certains étangs et à contourner certains obstacles.

Les plus petits individus sont capables de franchir « par escalade » des parois verticales sans avoir besoin d’appuis. Ces jeunes individus semblent alors utiliser les forces de tension superficielle créées entre leurs corps et la paroi humide (proportionnelles à leur surface), pour se maintenir sur ces parois verticales et ainsi contrecarrer les forces de pesanteur (Legault, 1987). Au cours de la croissance, le rapport Poids/Tension superficielle (proportionnel à leur longueur) augmente, ce qui explique que seuls les plus petits individus (de taille inférieure à 10 cm) peuvent utiliser ce mode de progression.

Nature du substrat, pente, alimentation du substrat (charge), en relation avec la taille des anguilles sont des facteurs essentiels et souvent liés, déterminant les possibilités de franchissement de l’anguille (Voegtli et Larinier, 2000).

Lorsque la pente est faible (< 15° environ), et à condition que la charge soit suffisante (10-20 mm), la progression de l’anguille peut se faire par nage. Aux pentes plus fortes et/ou à pentes faiblement alimentées, la progression de l’anguille ne peut alors se faire que par reptation.

En reptation, l’anguille doit pouvoir prendre appui en plusieurs points : l’efficacité d’un substrat semble alors liée à la densité des appuis en relation avec la taille des individus et à la disposition de ces appuis.

II. RAPPEL DES CAPACITES SPECIFIQUES DE FRANCHISSEMENT DES MACRO CRUSTACES

Comme nous l’avons vu précédemment, tous les macro crustacés se déplacent en marchant. Au niveau d’une chute ou d’une zone à fortes vitesses d’écoulement, les individus (comme le feraient les anguilles et les cabots bouche-ronde) essayent de passer l’obstacle en limite d’écoulement.

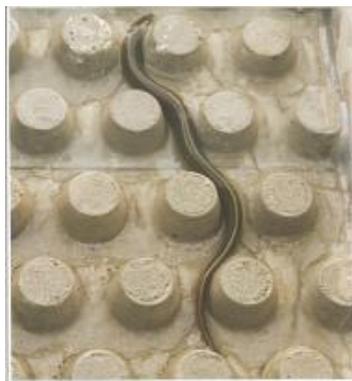
La nature du substrat, la pente et l’alimentation du substrat (charge) semblent être également des facteurs essentiels et souvent liés, déterminant les possibilités de franchissement des individus.

III. PRINCIPE DE LA MESURE

On cherchera à utiliser les capacités de ventousage des cabots bouche-ronde, de marche des atydés et autres macro crustacés et de reptation des anguilles.

Le principe du dispositif spécifique adapté à ces quatre groupes d'espèces (groupe 4, 5, 6 et 7) est donc assez similaire à celui présenté précédemment pour les cabots bouche-ronde et atydés uniquement. La différence notable avec le dispositif spécifique pour cabots bouche-ronde et atydés se situe :

- au niveau de la nature du substrat : les capacités de franchissement des cabots bouche-ronde et des atydés étant plus fortes que les macrocrustacés et surtout des anguilles. Ainsi, on devra être particulièrement vigilant à la compatibilité du substrat avec les capacités de reptation de l'anguillette et/ou de la civelle. En reptation, l'anguille doit pouvoir prendre appui en plusieurs points (minimum trois) et l'efficacité d'un substrat est alors liée à la densité des appuis (nombre d'appuis par cm de substrat) en relation avec la taille des individus, et à la disposition de ces appuis. Le type d'assemblage des appuis, l'espacement entre appuis, voire même le diamètre des appuis sont plus ou moins adaptés à certaines tailles d'individus et supportent plus ou moins les variations de charge ou de pente (Voegtli et Larinier, 2000).



Anguille en reptation sur un substrat en plots béton

- et au niveau de la pente longitudinale : **La pente longitudinale sera toutefois bien plus limitée** que celle préconisée pour les cabots bouche et atydés uniquement et sera surtout fonction de la nature du substrat. Dans tous les cas, elle **ne devra pas excéder les 45°**. Plus le substrat offrira une densité de rugosités faible, plus la pente devra être réduite et inversement, plus la pente sera forte, plus le substrat devra offrir une densité importante d'appuis.

On cherchera à créer sur cette rampe, et pour les conditions de niveaux d'eau à l'amont les plus fréquentes (Etiage à 1.5 fois le module environ), une zone la plus étendue possible hydrauliquement favorable (tirant d'eau très faible) à la progression des cabots bouche-ronde, atydés, anguilles et macro crustacés.

Pour cela, on donnera un **dévers latéral** (ou en forme de V) au seuil d’alimentation de la rampe, de manière à conserver, quel que soit le niveau d’eau amont, une zone faiblement alimentée permettant la progression des individus. La pente latérale du dévers devra ne pas être trop forte de manière à assurer une zone favorable hydrauliquement la plus grande. Une pente de l’ordre de 10-15% similaire à celles mises en place sur les dispositifs de franchissement des prises ILO de Salazie semblent être satisfaisante. On peut imaginer toutefois qu’une pente légèrement supérieure puisse être envisageable en cas de problème d’emprise (on se limitera toutefois à **ne pas dépasser une pente supérieure à 25%** en l’état actuel des connaissances et des retours d’expériences).

Le débit transitant dans l’ouvrage est alors variable suivant le niveau d’eau amont.

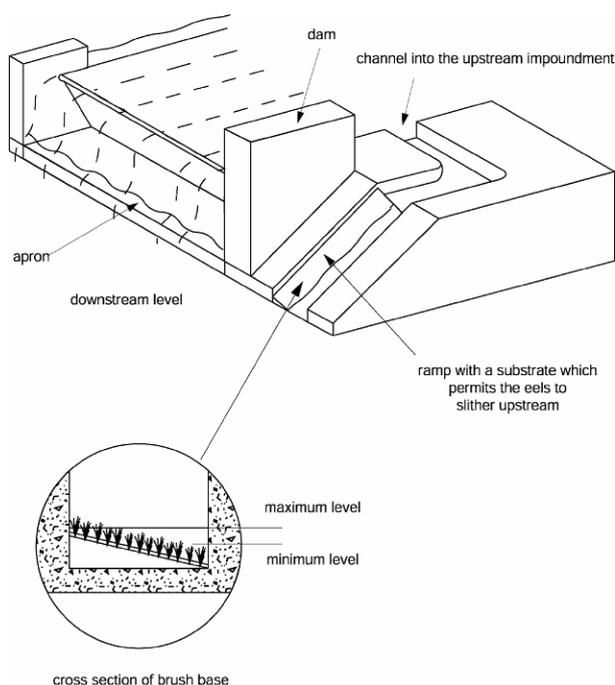


Schéma de principe d’une passe migratoire à civelles et anguillettes européennes (Porcher, 1992)

A noter que suite à des retours d’expérience sur l’anguille européenne, il nous paraît nécessaire d’aménager des bassins de repos dès que le dénivelé à franchir devient trop important (5-10 m).

Concernant la reptation de l’anguille, et suite aux expérimentations sur modèle (Voegtlé et Larinier, 2000), il est apparu que plusieurs substrats commercialisés en France peuvent assurer de bons résultats. Parmi ces substrats, on retrouve essentiellement :

- Les brosses synthétiques : Ces brosses de type « Fish-Pass », constituent le support le plus employé en France métropolitaine pour les constructions de passes à anguilles. Elles sont constituées d’un assemblage de filaments en matière synthétique montés en touffes sur un support en PVC. Par leur efficacité prouvée à faible débit d’alimentation et malgré un fort coût à l’achat et une tendance au colmatage, ces brosses constituent une référence.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



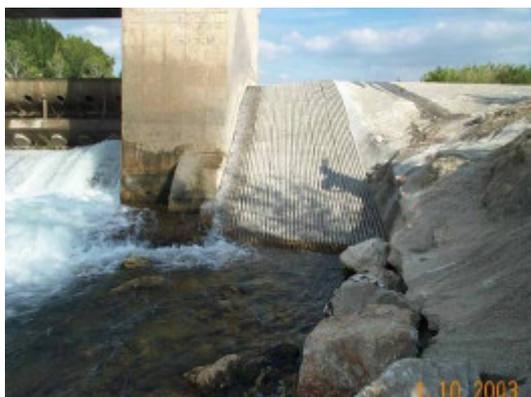
Anguillettes en reptation sur des brosses type « Fish Pass »

Sa sensibilité aux chocs réduit les possibilités d’installation sur l’île de la Réunion. On peut toutefois imaginer sa mise en place si le dispositif est protégée des crues (blindage, bassin de mise en charge avec prégrille et vanne de décharge...).

Toutefois, les espacements entre touffes (7 mm , 14 mm ou 21 mm sont les trois modèles proposés) pourraient pénaliser le passage des plus gros crustacés. Aussi, par mesure de sécurité, ce substrat ne serait alors concevable que pour les parties basses de cours d’eau.

- Les dalles gazon de type « Evergreen » : Ces dalles sont employées pour la réalisation de parkings engazonnés. Elles sont constituées de plaques de béton perforées de trous tronconiques et comportant un alignement de plots en béton également tronconiques. Les plots de 4 cm de hauteur ont un diamètre de 5 cm à la base et sont espacés de 1.8 cm en pied.

Ces dalles en béton pressé sont résistantes aux chocs. Par précaution et au vu du transport solide à la Réunion, il est recommandé d’installer ces substrats que si le dispositif est protégé du transport solide (abrasion, choc).



Substrat Evergreen installé sur le seuil de Bompas sur la Durance



Substrat Evergreen installé sur le seuil d’Halsou sur la Nive

L’inconvénient de ce substrat pourrait venir des trous tronconiques qui pourraient constituer des obstacles au franchissement des cabots bouche-ronde notamment. Aussi pour que ce substrat soit adapté à l’ensemble des espèces concernées (crustacés, cabots bouche-ronde et anguillettes), il sera préférable de remplir les creux de béton pour assurer un continuum de passage sans décollements.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

- Les dalles en polyuréthane : Ces dalles ont été mises au point à la suite des essais réalisés par Voegtli et Larinier (2000). Leurs caractéristiques techniques (densité de plots et dimensions de plots) sont adaptés pour les anguillettes de plus de 15 cm environ. Ces dalles fabriquées par une entreprise Marseillaise ont été récemment installées sur les sites EDF de Tuilières et Bergerac sur la Dordogne.

On peut penser qu’un tel substrat ne pénalise pas le franchissement des autres espèces concernés par ce type de dispositif (cabots bouche-ronde, crustacés).



Substrat en polyuréthane installé sur la passe de Bergerac sur la Dordogne

L’ensemble des expérimentations menées en France et à l’étranger montre que dès lors qu’on est en présence d’anguillettes d’une certaine taille, il est indispensable d’offrir un substrat de reptation adapté et ce d’autant plus que la pente est forte. Ainsi, on peut raisonnablement penser qu’un **enrochement cyclopéen ou un enrochement liaisonné** (sans conditions spéciales en terme de densités de blocs émergés, de blocométrie....) **ne peut pas être considéré comme un substrat convenable pour assurer un franchissement concevable des anguillettes** dès lors que la pente de la rampe dépasse 20-25°. On peut par contre imaginer un tel substrat pour les civelles, à condition qu’il y ait toujours une zone faiblement alimentée et qu’il n’y ait pas de forts ressauts ou décollements de la lame d’eau.



Passe en enrochements liaisonnés installée sur le Petit Bras de Cilaos. Ce type de substrat est peu adapté au franchissement des anguillettes.

Un autre substrat, utilisé et déjà testé dans certaines conditions, consiste à créer une rugosité en scellant des petits gravillons sur un support lisse (béton ou PVC). Une expérimentation effectuée par

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D'ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE**CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES**

la Fédération de Pêche de Gironde en 1998 montre que ce type de support peut être intéressant pour des civelles (Brouque, 1998). En Nouvelle Zélande, une passe à civelles de 150 m a été réalisée au barrage de Matahina basée sur ce principe. Des tubes en béton et en PVC rendus rugueux à l'intérieur par un collage de gravillons ont été installés à une pente moyenne de 26°. Ce procédé permet de créer quel que soit le niveau d'eau dans le tube, deux zones juste humidifiées favorables à la reptation des civelles (Gibson et Boubée, 1992).

Voegtle et Larinier (2000) ont testés les capacités de franchissement des civelles sur un béton juste désactivé. Il est apparu que ce substrat testé uniquement en dévers latéral oblige les anguilles à passer en reptation pure et le manque d'appuis rend la progression lente et difficile. Le béton désactivé mis en dévers (2H/1V) donne des résultats très faibles quelles que soient la taille et la pente. Il est trop rugueux pour permettre un franchissement grâce à la tension superficielle et ne présente pas d'appuis suffisants pour permettre la reptation des civelles.

On peut voir ici toute la difficulté de proposer un substrat adapté à l'ensemble des espèces/familles concernées par ce type d'action. Des études sur pilote expérimental du même genre que celles effectuées sur le cabots bouche-ronde à la Réunion et sur l'anguille en métropole (Voegtli et al, 2002 ; Bosc et al, 1998 ; Voegtli et Larinier, 2000) pourraient permettre de vérifier la compatibilité de ces substrats avec les capacités de franchissement de l'ensemble des espèces.

En attendant, et par mesure de précaution, on pourrait imaginer si la rampe présente un seuil en V, d'aménager la rampe de 2 substrats différents.

MESURE M6 : RAMPE RUSTIQUE « MULTI-ESPECES » EN ENROCHEMENTS LIAISONNES

I. PRINCIPE DE LA MESURE

Les passes rustiques consistent à relier le bief amont et aval par un chenal dans lequel est dissipée l'énergie par des rugosités de fond et de parois et/ou par une succession d'obstacles (blocs, épis, seuils...) plus ou moins régulièrement répartis.

En fait, ce sont des dispositifs reproduisant grossièrement les caractéristiques d'un cours d'eau naturel à forte pente et faisant appel à des blocs d'enrochements pour dissiper l'énergie, réduire les vitesses d'écoulements et augmenter les tirants d'eau.

La pente d'un tel ouvrage étant faible (variable de 1/100 à 1/20 suivant les espèces ciblées), sa longueur est généralement importante, ce qui nécessite un espace conséquent.

L'implantation du dispositif par rapport à l'ouvrage est variable et il peut i) être installé sur toute la largeur de l'obstacle, ii) être installé sur une partie seulement de l'obstacle, iii) ou être installé en rive (rivière de contournement).

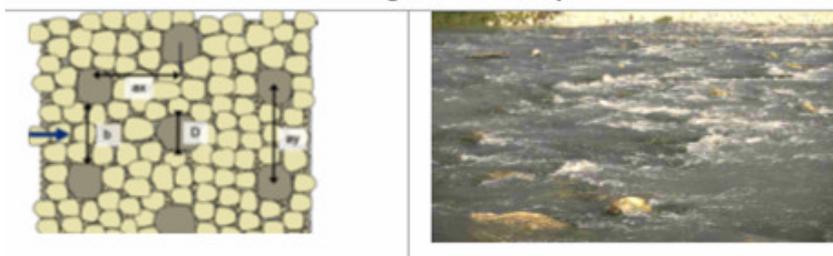
On peut distinguer 3 types de passes rustiques suivant la manière dont est dissipée l'énergie par les enrochements :

- Les passes à enrochements régulièrement répartis
- Les passes à rangées périodiques
- Les passes à enrochements jointifs

Les grands principes fournis ci-après sont essentiellement tirés du « guide technique pour la conception des passes naturelles » établi par Larinier et al (2006).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES

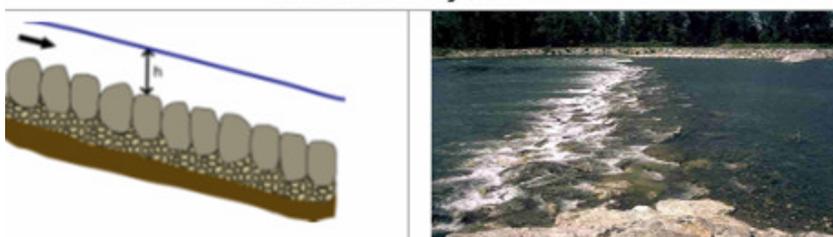
Enrochements régulièrement répartis



Enrochements en rangées périodiques



Enrochements jointifs



Les trois principaux modes de disposition de blocs (D’après Larinier et al, 2006)

Nous présentons ci-dessous les grands principes de fonctionnement des dispositifs rustiques pour qu’ils prennent en compte le franchissement d’un maximum d’espèces. Nous tenons à rappeler que les dimensionnements propres à chaque site doivent ensuite être étudiés en fonction des différentes contraintes (débits, variations de niveaux d’eau, entretien, transport solide, emprise....) et des capacités de franchissement des espèces-cibles.

Les limites de franchissabilité des différents dispositifs ne sont approchés qu’à titre indicatif. L’acquisition d’un retour d’expérience est primordial pour consolider, affiner, voire modifier les critères. De plus, le manque de connaissances approfondies sur les capacités de franchissement des différentes espèces réunionnaises (piscicoles notamment) limitent les possibilités de définition de critères maximums admissibles en terme de dimensionnement.

Trois modes d’organisation sont présentés ci-après, mais on peut envisager un nombre important de variantes dans la disposition des blocs.

Dans tous les cas, on essaiera de limiter ce type de dispositifs à des ouvrages de faible chute ne dépassant pas 5 m de chute. Sur des hauteurs d’ouvrages plus importantes, il nous paraît préférable d’aménager plutôt des passes de type passe à bassins qui offrent des zones de repos plus grandes pour les espèces.

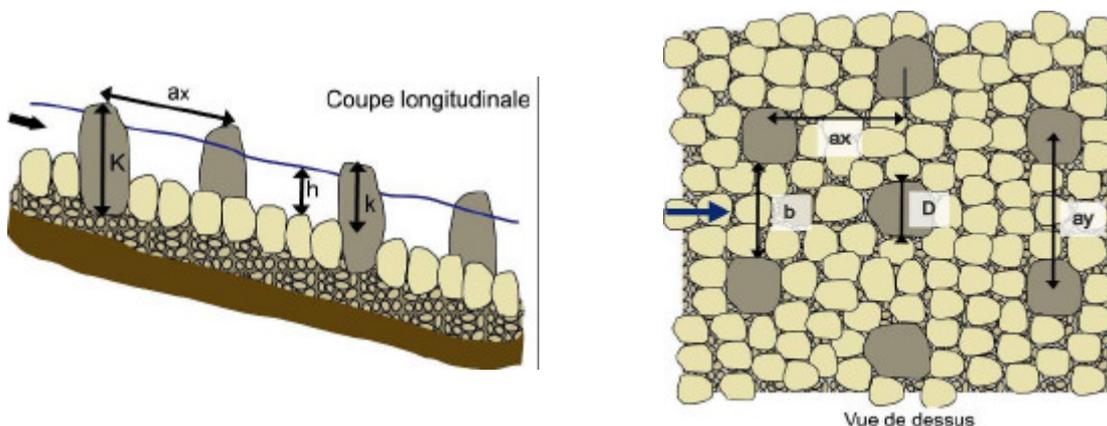
II. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

➤ Les passes à enrochements régulièrement répartis

Dans cette configuration, l'énergie est dissipée par des singularités constituées de blocs isolés plus ou moins régulièrement répartis sur le coursier en enrochements. Chaque bloc d'enrochements constitue une zone d'abris en aval permettant autant de zones de repos pour les individus en migration.

Les espacements entre blocs (espacement longitudinal et latéral) sont généralement voisins et sont dimensionnés en fonction de la pente du coursier, du débit dans le dispositif et des capacités de franchissement des espèces.

La rugosité de fond présente au niveau du coursier est importante et permet de dissiper l'énergie. La vitesse d'écoulement à proximité du fond est réduite, ce qui permet le passage des petites espèces. Les blocs d'enrochements en fond constitue également des zones de repos pour ces petites espèces.



Principes d'une rampe à enrochements régulièrement répartis (d'après Larinier et al, 2006)

Pour obtenir un écoulement suffisamment uniforme, la concentration doit être d'autant plus forte que la pente est élevée. A pente et hauteur d'eau données, le débit et les vitesses au sein de l'écoulement sont d'autant plus faibles que la concentration est forte.

On a donc intérêt sur le plan du franchissement, de mettre des concentrations importantes. Par contre, plus la concentration est importante, plus le dispositif est sujet au colmatage et nécessite des entretiens fréquents.

Pour des questions d'entretien, on gardera une concentration des blocs aux alentours de 0.11-0.13, ce qui correspond à un espacement relatif $ax/D \sim ay/D \sim 2.8-3.0$ m

La hauteur d'eau minimale de l'écoulement doit permettre le franchissement des différentes espèces et notamment la nage des plus gros individus. Au vu des espèces concernées à la Réunion qui restent tout de même de petites tailles, on pourra adopter une **hauteur d'eau minimale de 0.15-0.20 m**. Cette hauteur d'eau est déterminée avant tout par le débit unitaire, la pente et les caractéristiques des blocs.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D'ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE**CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS**

Les champs de vitesses dans ce type d'écoulement sont très hétérogènes. La vitesse maximale observée dans l'écoulement se situe entre les blocs au droit de la section minimale d'écoulement. Ces vitesses sont fonction de la pente, de la concentration et du débit. Les valeurs maximales admissibles sont également fonction des capacités de nage des espèces-cibles. Au vu des espèces réunionnaises, on admettra une **vitesse maximale dans les jets de l'ordre de 1.5 m/s**.

Les individus migrants et notamment les petites espèces doivent pouvoir s'abriter et se reposer derrière les blocs. Cela implique que le niveau de turbulence reste limité. En matière de dimensionnement de dispositif de franchissement et notamment pour les passes à bassins (voir §1.3.3.4), la puissance dissipée volumique est un paramètre facilement quantifiable et qui donne une bonne approximation des conditions de turbulence ou d'agitation des écoulements.

La puissance dissipée maximale admissible est également fonction des espèces. On peut généralement admettre des puissances dissipées maximales d'environ du double de ce qui est admis dans les passes à bassins successifs classique. Pour les petites espèces réunionnaises, on pourrait retenir des puissances dissipées maximales de l'ordre de 300-400 W/m³.

En ce qui concerne la blocométrie des blocs, on cherchera à trouver le meilleur compromis entre efficacité hydraulique, réduction d'entretien, stabilité et maniabilité pour la construction, ce qui amène généralement à adopter **des blocs d'environ 0.5 m de largeur et d'une hauteur utile d'environ 0.5-0.8 m**.

Suivant l'emprise disponible et les variations de niveaux d'eau amont, **il est intéressant d'adopter un dévers latéral**, de pente inférieure à 5-10 %, de manière à ce que les conditions hydrauliques soient assez variées et qu'elles demeurent satisfaisantes pour les espèces-cibles jusqu'à la cote maximale du plan d'eau amont.

De plus, pour les autres espèces utilisant d'autres moyens de progression que la nage (reptation, ventousage, marche), la mise en place de dévers latéraux devra permettre de leur offrir des zones à faibles tirants d'eau (1-2 mm) favorables à leur passage.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



Dispositif au Moulin Murat sur la Loyre (19) (source : ATI)

Type de dispositif pouvant être intéressant. Un dévers latéral plus marqué (pente plus forte ou largeur totale de l’ouvrage plus grande) permettrait d’offrir des zones de passage plus adaptées aux espèces à faibles capacités de nage (macro crustacés et anguillettes notamment)



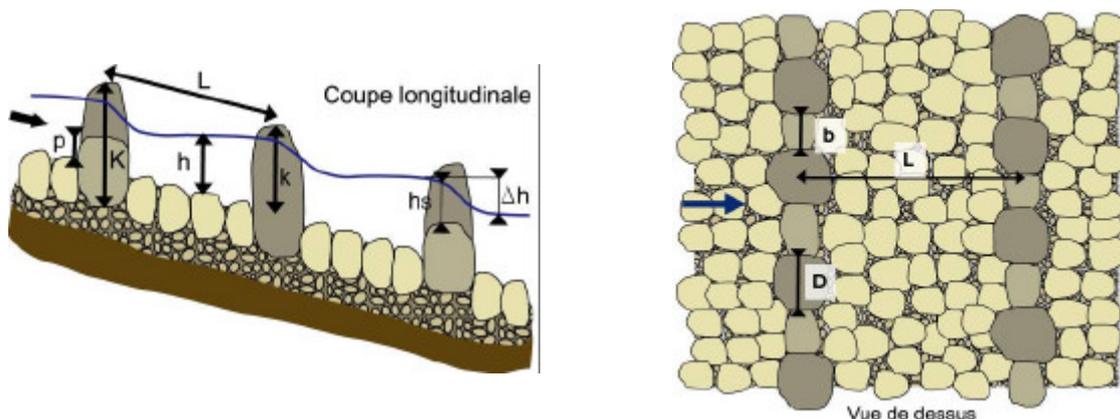
Dispositif au seuil de Carennac sur la Dordogne (46)

Type de dispositif pouvant être intéressant. Un dévers latéral plus marqué (pente plus forte ou largeur totale de l’ouvrage plus grande) permettrait d’offrir des zones de passage plus adaptées aux espèces à faibles capacités de nage (macro crustacés et anguillettes notamment)

➤ **Les passes à rangées périodiques**

Un moyen de conserver des hauteurs d’eau suffisantes tout en limitant les débits est de disposer les blocs en rangées à intervalles réguliers. On obtient ainsi des **pseudo-bassins** où les poissons sont susceptibles de trouver des zones de repos.

Ainsi, ce type de dispositif est très voisin d’une passe à bassins « classique » et les critères de dimensionnement sont relativement identiques à ceux d’une passe à bassins.



Principes d’une rampe à rangées périodiques (d’après Larinier et al, 2006)

Pour les faibles débits et tant que les blocs ne sont pas submergés, l’écoulement est caractérisé comme une succession de petites chutes au niveau de chaque rangées de blocs. Les jets formés au niveau de chaque espace inter-bloc se dissipent alors dans les pseudo-bassins. Pour les débits conséquents venant à submerger les blocs, les écoulements deviennent alors torrentiels avec formation d’un écoulement à forte vitesse en surface.

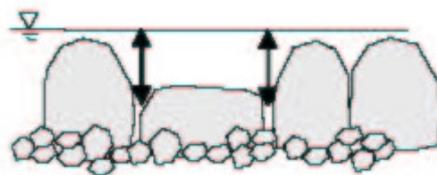
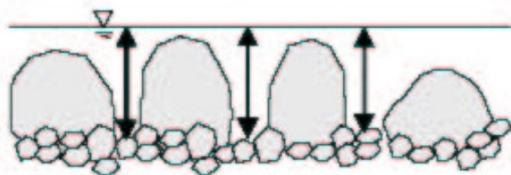
Comme pour les passes à bassins, la hauteur d’eau minimale sur les seuils, zone la moins profonde de l’écoulement, doit être suffisante pour le passage des individus. **On adoptera une charge minimale de l’ordre de 0.15-0.20 m environ.**

La vitesse maximale dépend de la chute au niveau de chaque rangée et sera de l’ordre de $(2gxDH)^{0.5}$. **On limitera la chute à environ 0.10-0.15 m (soit 1.5-1.7m/s) pour les petites espèces.**

La configuration du jet au niveau des rangées est également importante suivant les caractéristiques de franchissement des espèces. Si pour les passes à enrochements uniformément répartis, il n’y a théoriquement pas de jet plongeant, il peut se créer sur ce type de passe, des jets plongeants dès lors que la chute entre pseudo-bassins (Dh) est supérieure à environ 0.5-0.6 fois la charge sur le seuil (hs). Or, certaines espèces réunionnaises sont peu sauteuses et **il conviendra alors de s’assurer qu’il existe à minima une zone présentant des jets de surface quelle que soit les conditions hydrologiques.**

Comme pour les passes à enrochements uniformément répartis, suivant l’emprise disponible et les variations de niveaux d’eau amont, **il est intéressant d’adopter un dévers latéral**, de manière à ce que les conditions hydrauliques soient assez variés (jet de surface et jet plongeant...) et qu’elles demeurent satisfaisantes pour les espèces-cibles jusqu’à la cote maximale du plan d’eau amont.

L’absence de pelles (p) au niveau des seuils sur certains passages (échancrures allant jusqu’au fond comme sur l’Aare ou comme sur la Diège - voir photos ci-dessous) paraît être une bonne solution pour permettre d’assurer des zones de passage propices à certaines espèces peu sauteuses et présentant de faibles capacités de nage (les poissons peuvent alors profiter de la rugosité de fond).



Passé à rangées périodiques présentant des fentes. Ce principe est plus adapté aux espèces à faibles capacités de franchissement qui peuvent ainsi passer au fond (exemple de Kolbermoor en Bavière)

Passé à rangées périodiques ne présentant pas de pelles au niveau des seuils (exemple de Leitner en Bavière)

Différence de structure de seuil au niveau de deux passes à rangées périodiques (d’après Wang et Hartlieb, 2010)

De plus, pour les autres espèces utilisant d’autres moyens de progression que la nage (reptation, ventousage, marche), la mise en place de **dévers latéraux** permettra de leur offrir des zones à faibles tirants d’eau favorables à leur passage. Cette prescription sera d’autant plus importante que les zones de passage en fond seront réduites.

La puissance dissipée maximale admissible est fonction des espèces considérées. On admettra des puissances dissipées maximales identiques à celles admissibles pour les passes à bassins. Dans notre cas et au vu des petites espèces présentes, on retiendra une puissance dissipée maximale de l’ordre de 150-200 W/m³ environ.

En ce qui concerne la blocométrie des blocs, on cherchera à trouver comme pour les passes à enrochements uniformément répartis, le meilleur compromis entre efficacité hydraulique, réduction d’entretien, stabilité et maniabilité pour la construction, ce qui amène généralement à adopter **des blocs d’environ 0.5 m de largeur et d’une hauteur utile d’environ 0.5-0.8 m.**

Les espacements entre blocs (largeurs de passage libre) devront être au minimum de 0.30-0.40 m pour limiter le risque de colmatage. Mais ils pourront être éventuellement réduits si la prise d’eau est protégée en amont (prégrille, bassin de mise en charge avec vanne de décharge..). Sur un plan pur de franchissement, des espaces entre blocs de l’ordre de 20-25 cm pourraient s’avérer suffisants.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Ce type de dispositif étant « multi-espèces », les critères les plus pénalisants des espèces-ciblées (hauteur d’eau, chute maximale, puissance dissipée) doivent être pris en compte.

Le débit unitaire minimal est ensuite déterminé par la charge minimale sur les seuils au niveau des rangées de blocs. Généralement, le débit unitaire minimal pourra varier de l’ordre de 50-60 l/s à une centaine de l/s pour les plus gros sujets.



Dispositif à rangées périodiques
(Photo extraite du guide technique de Larinier et al, 2006)



Dispositif à rangées périodiques sur le seuil de Bessette sur la Diège (19) (Source : ATI)



Dispositif à rangées périodiques sur l’Aare en Suisse
(source : pôle Ecohydraulique ONEMA)

➤ **Les passes à enrochements jointifs**

Ces rampes sont constituées d’une couche ou d’une bicouche d’enrochements de dimensions relativement uniformes disposés les uns contre les autres et formant un coursier à pente constante.

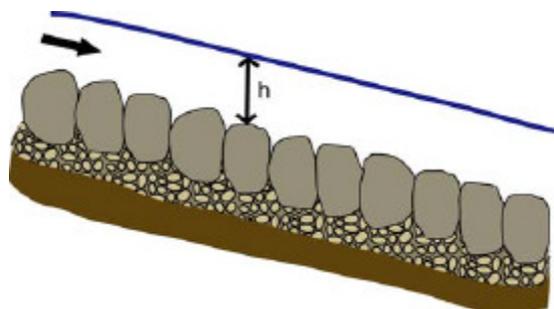
En fait , on ne dissipe ici l’énergie que par les enrochements présents en fond.

Les paramètres qui déterminent les caractéristiques de l’écoulement (vitesses et tirants d’eau) sont très simples : pente, débit et dimensions des blocs assurant la rugosité.

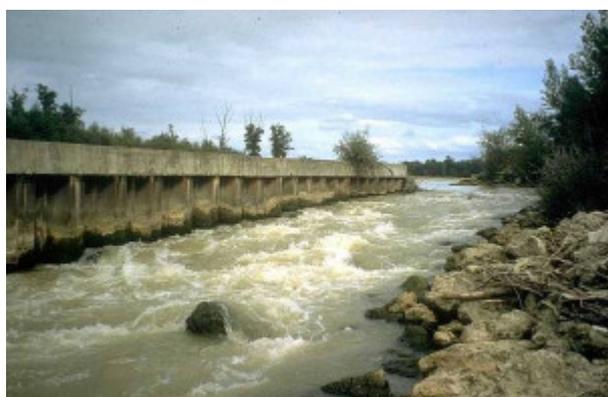
La franchissabilité d’une rampe en enrochements jointifs dépend des vitesses de l’écoulement, des hauteurs d’eau au dessus de la crête des enrochements, de configuration de la lame d’eau (pas de ressaut...) ainsi que de la distance à franchir.

Sur ce type d’ouvrage en enrochements jointifs, il n’y a pas vraiment de zones de repos aux poissons et leur franchissement doit s’effectuer d’une seule traite. La hauteur à franchir reste donc plus limitée par rapport aux deux autres types de passes en enrochements présentées précédemment. Les vitesses de sprint et les durances des différentes espèces piscicoles sont des paramètres biologiques particulièrement importants dans le dimensionnement de ces ouvrages.

Au vu des capacités natatoires des espèces réunionnaises, on peut penser que si l’ouvrage est destiné à la totalité des espèces piscicoles réunionnaises, le dispositif ne pourra être envisagé que pour des obstacles de chute réduite (<1-2 m).



Coupe de principe d’une rampe en enrochements jointifs (D’après Larinier et al, 2006)



Seuil de Toulouzette sur l’Adour



Seuil de Belleville sur la Loire

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITE ECOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES

Le problème sur ce type de rampes, réside dans le fait que dès lors que la pente est importante (>10%), les vitesses d'écoulement deviennent rapidement très fortes dès lors que le débit s'élève. A l'inverse, pour des faibles débits, la lame d'eau peut ne plus être laminaire (décollements, ressauts....) empêchant ainsi la nage des espèces piscicoles nageantes.

Pour les autres espèces utilisant d'autres moyens de progression que la nage (reptation, ventousage, marche), elles ne seront en mesure de franchir le dispositif que si elles peuvent trouver des zones à faibles tirants d'eau, en bordure généralement.

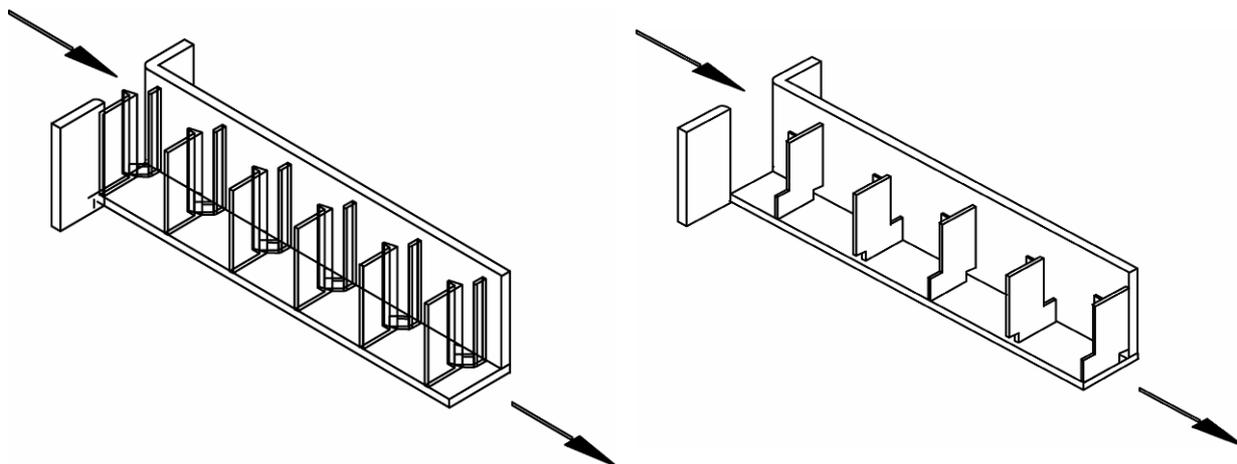
Ainsi, comme pour les deux autres types de passes rustiques, il conviendra d'adopter un dévers latéral, de pente faible (5-10%), de manière à assurer quelles que soient les conditions hydrologiques, une zone propice aux passages des différentes espèces et notamment des macrocrustacés, bichiques et anguilles.

MESURES M7 : PASSE A BASSINS

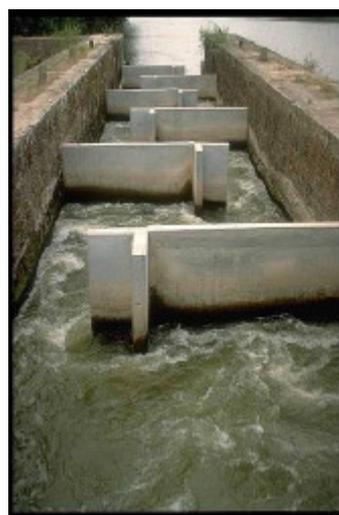
Le principe de la passe est de diviser le dénivelé total du barrage en une série de chutes, compatible avec les capacités de nage du poisson, au moyen d'une succession de bassins. Les bassins permettent de dissiper l'énergie de la chute et assure une zone de repos pour les individus.

Le passage de l'eau d'un bassin à l'autre (chute) devra se faire par :

- **une échancrure latérale profonde ou une fente verticale.** Dans ce cas , il est important que la fente et l'échancrure aille jusqu'au fond des bassins pour assurer le bon franchissement des espèces plutôt benthiques et aux espèces piscicoles à faibles capacités de nage et n'ayant pas d'autres capacités.
- **Une échancrure latérale ou triangulaire et un orifice de fond.** L'orifice de fond permet alors d'assurer le passage des espèces de fond et à plus faibles capacités de franchissement.



Passe à fente verticale



Passe à échancrure latérale avec orifice de fond

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Le nombre de bassins est fonction du dénivelé total du barrage et de la chute retenue entre bassins. Les chutes entre bassins sont choisies en fonction des capacités de nage et de saut des espèces ciblées et seront généralement comprises entre 10 cm et 30 cm suivant les espèces cibles.

Globalement, les passes à bassins :

- sont peu sélectives et sont adaptables à toutes les espèces piscicoles,
- supportent bien les variations de niveau d'eau amont et aval,
- peuvent entonner un gros débit si nécessaire,
- peuvent être implantées sur ces seuils de hauteur importante,
- sont assez onéreuses,
- nécessitent un entretien régulier car elles sont sujettes aux colmatages.

La technique de passe à bassins successifs est préférentiellement utilisée pour les barrages aux dénivelés moyens à importants (supérieur à 5 mètres) et/ou lorsque les variations de niveaux d'eau sont assez marquées en fonction du débit.

Elle présente l'avantage d'être l'une des plus efficaces pour les poissons, car elle s'adapte bien aux capacités de nage, aux différentes configurations des sites et aux variations de niveaux d'eau..

Au vu des capacités de franchissement des espèces réunionnaises, et si l'on souhaite que le dispositif soit adapté le mieux possible à l'ensemble des espèces, **on devra adopter des chutes maximales ne dépassant pas 0.15 m entre bassins**, ce qui correspond grosso-modo à des vitesses maximales dans les jets de 1.7 m/s, à des vitesses maximales dans les sections de passage obligé de l'ordre de 1.3 m/s, et significativement inférieure à proximité du fond dans l'hypothèse où celui-ci est garni de rugosités suffisantes (10-20 cm).

La dimension des bassins est estimée afin d'éviter une turbulence trop forte au sein même du bassin. L'indicateur utilisé pour mesurer cette turbulence est la puissance dissipée (due à la chute) par unité de volume du bassin (W/m^3).

La difficulté de passage des migrateurs augmente avec la turbulence et l'aération dans les bassins. Un indicateur simple du niveau d'agitation dans les bassins est la puissance dissipée volumique, c'est à dire l'expression :

$$P_v = \rho \cdot g \cdot Q \cdot DH / V$$

Avec :

P_v : puissance dissipée volumique ($watt/m^3$)

ρ : masse volumique de l'eau ($1000 \text{ kg}/m^3$)

g : accélération de la pesanteur ($9.81 \text{ m}/s^2$).

Q : débit dans l'ouvrage (m^3/s)

DH : chute entre bassins (m)

V : volume d'eau dans le bassin (m^3)

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Ce critère permet donc de déterminer le volume d’eau minimal nécessaire dans un bassin si l’on se fixe les chutes et le débit. Ce volume doit bien sur être adapté aux espèces cible et il paraît totalement aberrant de concevoir un dispositif présentant des chutes réduites entre bassins, adaptées aux petites espèces et de créer des bassins de petites tailles avec des turbulences extrêmes.

Wang et al (2010) donnent à partir d’essais sur modèle, les puissances dissipées volumiques et pente admissibles en fonction de la largeur de la fente et de la chute entre bassins. Le tableau ci-dessous reprend les préconisations pour des chutes entre bassins de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm et 30 cm.

Chute entre bassins	Largeur de fente		
	0.20 m	0.30 m	0.40 m
0.30	320/430 (15%)	215/285 (10%)	160/215 (7.5%)
0.25	245/325 (12.5%)	160/215 (8.3%)	120/165 (6.25%)
0.20	175/235 (10%)	115/155 (6.7%)	85/115 (5%)
0.15	115/150 (7.5%)	75/100 (5)	55/75 (3.75%)
0.10	60/80 (5%)	40/55 (3.3%)	30/40 (2.5%)

Puissance dissipée volumique (W/m^3) et pente (%) en fonction de la largeur de la fente et de la chute entre bassins (d’après Wang et al, 2010)

Ces recommandations semblent en accord avec les passes réalisées en Australie et adaptées à leurs petites espèces migratrices.



**Exemple de passe à fente verticale installée en Australie
 (chute de l’ordre de 10 cm et puissance dissipée de l’ordre de 50 W/m3)**

La mise en place de rugosités de fond paraît indispensable car elles permettront d’assurer des zones d’abris hydrauliques et de diminuer les vitesses d’écoulement en fond (couche limite). Ces rugosités de fond devront absolument être **présentes également au niveau des zones de passage** (fond des fentes dans le cas d’une passe à fente ou fond de l’orifice de fond dans le cas d’une passe à échancrure latérale et à orifice de fond).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



Passé à fente avec rugosités en fond (exemple : Iffezheim sur le Rhin)

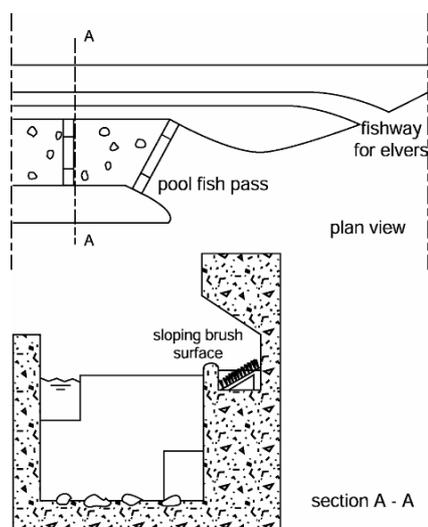


Passé à échancrure latérale et orifice de fond avec rugosités en fond (exemple : Bliesschweyen sur la Blies)

Cependant, ce type de passe doit rester tout de même assez sélectif vis à vis notamment des toutes petites espèces et notamment des civelles. Aussi, en France métropolitaine, et pour compenser cette sélectivité pour les civelles, il est fréquent que sur les ouvrages situés en partie aval d’axe de migration, les sites soient équipés en complément de la passe à bassins à fente verticale, d’une ou plusieurs passes à anguilles équipées de brosses type *Fish Pass* (exemple : Poses sur la Seine, Arzal sur la Vilaine, Masseys sur le gave d’Oléron, Montfourat sur la Dronne...).

Aussi, à la Réunion et de manière similaire, dans le cas où l’obstacle est localisé en partie aval de bassin et qu’il peut être concerné par des jeunes stades d’anguilles (civelles) et de macrocrustacés, il paraît **judicieux d’installer en parallèle à la passe à bassins, une passe spécifique adapté aux anguilles et macro crustacés** (voir § 1.3.3.2).

En place d’une passe spécifique, on devra veiller alors que les cloisons restent franchissables par la marche et le ventousage en adaptant les cloisons (substrat et alimentation) pour assurer quelles que soient les conditions hydrologiques, une zone favorable au franchissement des espèces.



Exemple de passe à bassins équipée en parallèle d’une passe spécifique pour les civelles (photo : passes de Montfourat sur la Dronne)

MESURES D1 à D3 : AMÉLIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION A LA DÉVALAISON

Pour améliorer la dévalaison au niveau de prises d'eau, il existe trois types de solutions potentielles :

- **La mise en place de barrières physiques.** Cette solution consiste à arrêter les individus dévalants au droit des prises d'eau par l'installation de grilles fines (à adapter suivant la taille des individus) associée à des vitesses à l'approche des grilles suffisamment faibles et à un ou plusieurs exutoires spécifiques permettant aux individus de transiter sans dommages vers l'aval. Cette solution n'est pas applicable à la dévalaison des larves.
- **L'arrêt total ou la réduction du prélèvement** ciblé sur la période de dévalaison des espèces. Cette solution pour être applicable devra nécessiter des études de R&D afin de mieux connaître les rythmes de dévalaison des espèces. Cette solution paraît être la seule potentiellement efficace pour la dévalaison des larves.
- L'installation de **barrières comportementales**. Il s'agit de dispositifs induisant le déplacement des individus dévalants dans une direction donnée grâce à divers stimuli (visuels, auditifs, électriques...) agissant sur le comportement (attraction ou répulsion). La mise en œuvre de tels dispositifs devra nécessiter au préalable plusieurs années d'études en matière de R&D.

NOTA : Au niveau des centrales hydroélectriques, on aurait pu également imaginer le changement des turbines actuelles par des **turbines dites « ichtyocompatibles »**. Cependant, à l'heure actuelle, les seules turbines installées ayant montré de bons résultats sont des turbines installées sur des petites chutes (exemples : turbine ichtyophile© VLH développée par MJ2 adaptée à des chutes inférieures à 5 m de hauteur ; vis hydrodynamique Ritz-Atro adaptée à des chutes inférieures à 10 m...). **Pour des centrales hydroélectriques dites de Haute Chute comme celles installées à la Réunion, il n'existe malheureusement aucune turbine potentiellement « ichtyocompatible ».**

A noter que les différentes propositions d'amélioration à la dévalaison évoquées ci-après ne permettent de limiter, voire d'éviter (dans le cas d'une protection totale), que les dommages liés au prélèvement (turbine, AEP...) et ce généralement pour certaines espèces-cibles seulement et sous réserve de programme R&D (voir ci-après problèmes pour les stades larvaires). Les éventuels impacts liés à la présence des retenues (retards de migration et mortalités potentielles dues au retard pour les larves, défauts d'orientation, prédatons accrues...) ne sont pas traités ci-après du fait notamment d'un manque crucial de données.

Dans tous les cas, et comme pour les dispositifs de franchissement adaptés à la montaison, les progrès dans la conception et le dimensionnement de dispositifs visant à améliorer la dévalaison passeront inévitablement par des suivis d'ouvrages réalisés, c'est à dire des observations du comportement des individus en migration au sein des ouvrages et des évaluations de leur efficacité.

MESURE D1 : MISE EN PLACE DE BARRIÈRES PHYSIQUES : LES PRISES D’EAU ICHTYOCOMPATIBLES

Les prises d’eau dites « ichtyocompatibles » constituées de plans de grilles fines associés à un ou plusieurs exutoires constituent une des solutions potentielles au problème de mortalités des individus au travers des turbines ou des prises pour l’irrigation ou l’Alimentation en Eau Potable.

Une prise d’eau « ichtyocompatible » doit permettre avant tout d’arrêter les individus dévalants et les empêcher d’être prélevés (et de passer par les turbines ou dans les pompes), puis de les guider vers un système de transfert et les acheminer vers l’aval de l’aménagement sans dommages.

Leur mise en œuvre nécessite de prendre avec précaution certaines contraintes sur les dimensions des prises d’eau afin de respecter les critères biologiques. D’autres part, les grilles fines présentant des espacements réduits entre barreaux, cela pose les questions de pertes de charge et de l’entretien (colmatage, défeuillage).

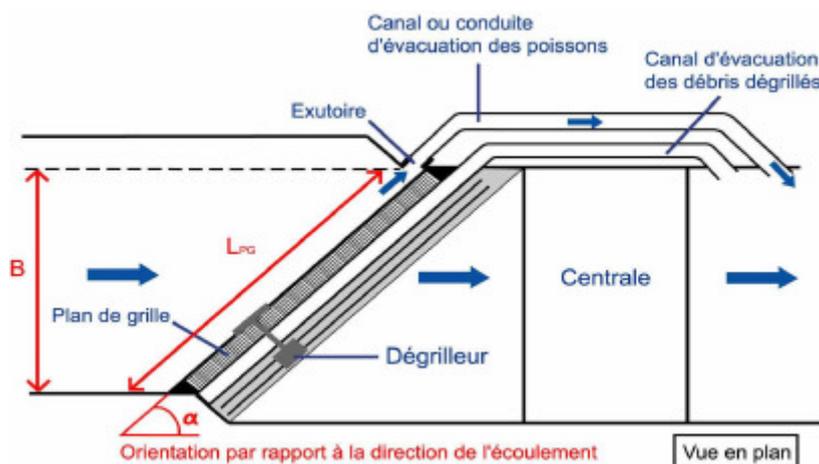
A l’heure actuelle, il existe plusieurs types de grilles fines et dont les caractéristiques sont assez variables selon la nature des grilles, leur implantation ou leur intégration dans les prises d’eau.

On peut d’ores et déjà signaler que les retours d’expériences portent essentiellement sur les juvéniles de salmonidés et les anguilles et **qu’il n’existe pas à notre connaissance de retour d’expériences sur la dévalaison d’espèces tropicales similaires à celles présentes à la Réunion.**

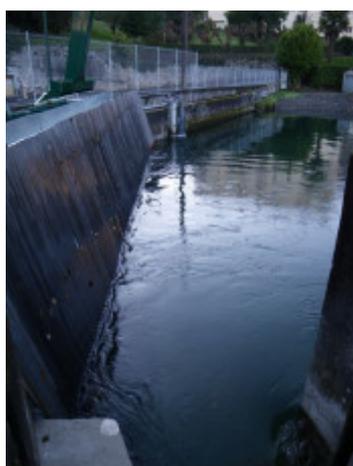
➤ **Différents types de prises d’eau**

Au vu du retour d’expériences en France métropolitaine et à l’étranger, quatre configurations de prise d’eau « ichtyocompatible » susceptibles de pouvoir obtenir des résultats satisfaisants paraissent théoriquement envisageables à la Réunion :

1. Soit un plan de grille quasi-vertical et orienté en plan par rapport à la direction de l’écoulement : Cette configuration provoque une composante tangentielle latérale prononcée de la vitesse et des écoulements tangentiels latéraux au plan de grille se forment. L’exutoire permettant le transfert vers l’aval des individus, est alors positionné à l’extrémité aval du plan de grille.

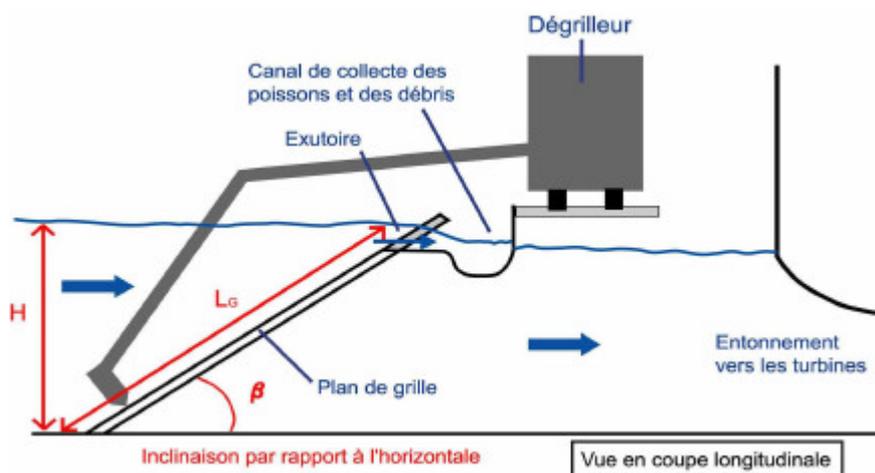


Représentation schématique d’un plan de grille orienté en plan par rapport à la direction de l’écoulement (D’après Courret et Larinier, 2008)



Plan de grille incliné latéralement au sens de l’écoulement, installé à l’usine hydroélectrique de La Grotte à Lourdes (Gave de Pau).
 Espacement entre barreaux = 2 cm

2. Soit un plan de grille très incliné en coupe par rapport à l’horizontale et disposé perpendiculairement à l’écoulement. Cette configuration provoque par contre des vitesses tangentielles ascendantes au plan de grille. Le ou les exutoires selon la largeur de la prise d’eau sont alors positionnés au sommet du plan de grille.



Représentation schématique d’un plan de grille incliné par rapport à l’horizontale (D’après Courret et Larinier, 2008)



Plan de grille incliné horizontalement par rapport aux écoulements. Plan de grille installé à l’usine hydroélectrique de Montfourat sur la Dronne (24).

Espacement entre barreaux de 2 cm.

Photo de gauche : Usine arrêtée et niveau d’eau sous la RN.

Photo de droite : Usine en fonctionnement. On voit bien que les exutoires sont alimentés

3. Soit des grilles rotatives autonettoyantes (tambours cylindriques ou coniques). Ces grilles installés dans des canaux de faible profondeur (<2 m) sont très utilisées en France métropolitaine au niveau des prises d’eau pour piscicultures, eau potable ou irrigation et se sont avérées très efficaces pour le détournement des juvéniles de salmonidés. La maille en inox est généralement très fine (1-2 mm), ce qui permet d’assurer une barrière physique très efficace. L’évacuation des feuilles et individus dévalants est assuré avec un filet d’eau. Ce type de dispositif plutôt fragile vis à vis des embâcles et chocs nécessite d’être protégé au préalable par des prégrilles grossières. Cet aspect est à prendre en compte à la Réunion où les sites sont soumis à de fortes contraintes hydrauliques et de transport solide.



Effeilleuses rotatives de type Erm installées au niveau de piscicultures sur la Nive (64)

Les trois typologies d’aménagements précédemment listées sont plutôt adaptées à des prises d’eau généralement positionnées latéralement par rapport au barrage ou au seuil.

4. Soit des grilles fines au niveau de prises par en dessous. Sur l'île de la Réunion, un certain nombre de prises d'eau sont des prises dites par "en dessous" ou « prise tyrolienne ». Ce sont des prises d'eau intégrées au seuil ou au barrage. Elles ont l'avantage d'être moins sujettes au colmatage par les déchets flottants et les sédiments. Ce type de prise d'eau est installé pour capter l'eau des rivières qui charrient pendant les crues de grandes quantités de sédiments. C'est pourquoi la majorité des prises d'eau à la Réunion est équipée de ce type de prise, notamment sur les rivières des cirques (prises ILO de Mafate et Salazie; Prises SAPHIR du Petit et Grand Bras de Cilaos, prise du Bras de la plaine).

La grille d'entrée de la prise est horizontale ou inclinée vers l'aval. Les sédiments roulent sur la grille tandis que l'eau passe dans les espaces libres de la grille. Comme des particules fines (sable, limon, petits graviers) transitent au travers des barreaux, le canal de prise est suivi d'un dessableur.

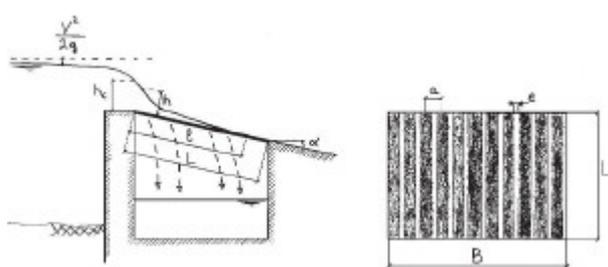


Schéma de principe d'une prise par en dessous ou tyrolienne (Huber, 2005)

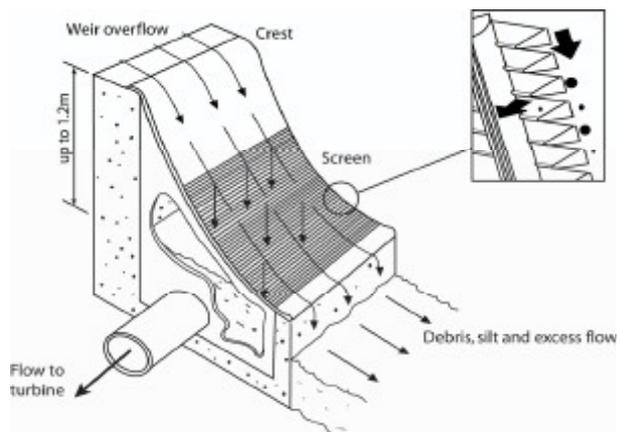
Prise d'eau dite "en dessous" située sur le seuil ILO de la rivière des galets

Généralement, les prises d'eau installées en France métropolitaine et à l'étranger présentent des espacements entre barreaux « plutôt » élevés et supérieurs à 3 cm. Cependant, pour prendre en compte notamment la problématique de dévalaison, certains sites commencent à adapter la prise d'eau en intégrant un espacement entre barreaux plus réduit (cas notamment de la centrale de Chevril installée dans les Alpes et dont l'écartement entre barreaux est de 15 mm).

En Martinique, deux prises d'eau potable (prise Urion et prises ravine blanche), gérées par la Société Martiniquaise des Eaux, sont équipées de prises d'eau par en dessous équipées de grilles très fines (grilles Johnson® d'espacement inférieur à 2 mm). Il serait intéressant d'avoir le retour d'expériences sur ces sites afin de savoir si un tel ouvrage est adaptable à la Réunion, vis à vis de la dévalaison de la faune aquatique. D'après la SME (Collin, com.pers.), il semblerait que les grilles résistent bien au transport solide et notamment à l'abrasion par les sédiments.

Aux États Unis, des **prises d'eau à effet Coanda** ont été testées en laboratoire et semblent être une bonne solution pour allier capacité hydraulique d'entonnement, performance d'exclusion des sédiments et efficacité à la dévalaison des poissons. Il s'agit de grilles inclinées dont les barreaux transversaux de forme trapézoïdale sont placés horizontalement, perpendiculaires au courant. Ces grilles à effet Coanda (Effet Coanda = tendance d'un fluide à suivre une surface) sont réputées pour être « auto-nettoyantes » concernant les débris végétaux et pour exclure les sédiments. Plusieurs essais sur modèle réduit ont été effectués avec des espacements entre barreaux de 1 mm, 0.5 mm et 0.2 mm (Huber, 2005).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



Coupe schématique d’une prise d’eau à effet Coanda (D’après Dulas Ltd, 2005)

Prototypage de grille Coanda testé en laboratoire (Wahl, 2003)



Exemples de prises d’eau AquaShear © Coanda installés en Europe du Nord par Dulas

A notre connaissance, quelques sites ont été installés par la société Dulas depuis 2003 sur quelques rivières en Europe (Alpes autrichiennes, Ecosse, Pays de Galle, Irlande...). Cependant, l’absence de retour d’expérience sur des rivières à fort transit solide ne milite pas forcément pour installer de tels ouvrages similaires à la Réunion sans précautions et études préalables relatives au transit sédimentaire (tout au moins sur les cours d’eau provenant des différents cirques).

A Tahiti, un projet sur la Vaiiha (cours d’eau à forte pente) est en cours et prévoit d’installer des prises d’eau à effet Coanda de 1 mm d’espacement entre barreaux (Treboal et al, 2011) pour prendre en compte notamment la dévalaison des larves de gobiidés et des anguilles argentées.

A noter toutefois que si ce type de prises peut traiter théoriquement la dévalaison de la plupart des individus dévalants au stade juvéniles ou anguilles, on peut malheureusement penser que ce type de prises soit plus difficilement compatible avec la dévalaison de larves. A noter que l’ARDA (Valade et al, 2004) avait testé sur pilote expérimental, il y a quelques années, la faisabilité d’installer des grilles fines de type Johnson® dans les décanteurs, pour éviter que les larves de cabots bouche-ronde ne soient prélevées par les prises d’eau. Les résultats menés ont montré cependant l’inefficacité d’une telle solution (voir ci-après chapitre consacrée aux capacités de nage et plan de grille).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

➤ **Espacement libre entre les barreaux des grilles :**

Des lors que l’espacement libre du plan de grille est inférieur à la largeur/hauteur des individus dévalants, la grille installée constitue une barrière physique.

Pour les poissons, la largeur d’un individu est couramment exprimée en fonction de sa longueur L et de son rapport de forme K selon la formule suivante : **Espacement = K . L**

Le rapport de forme du corps K est fonction de la morphologie de chaque espèce. Par exemple, pour les salmonidés, le rapport de forme est généralement évalué à 0,10. Par défaut et par manque de données sur les poissons espèces réunionnaises, on retiendra un facteur de forme similaire.

A noter qu’une étude a été réalisée en 2001 sur dispositif expérimental modélisant les conditions d’écoulement dans les décanteurs des prises d’eau ILO du transfert de Salazie. Elle a permis notamment de tester le comportement des **larves de cabots bouche rondes** et d’évaluer la faisabilité d’un dispositif de dévalaison associée à des grilles très fines type grille Johnson (Valade et al, 2004). **il est ressorti qu’une grille Johnson® d’espacement entre barreaux de 0.5 mm n’était pas une barrière physique pour ces larves.**

En ce qui concerne les macrocrustacés, l’espacement entre barreaux constituant une barrière physique, est également très variable suivant l’espèce et notamment son stade de dévalaison. Comme pour l’anguille (voir ci-dessous), on prendra la dimension minimale comme barrière physique (exemple pour le crabe, on prendra l’épaisseur ou hauteur de l’individu).

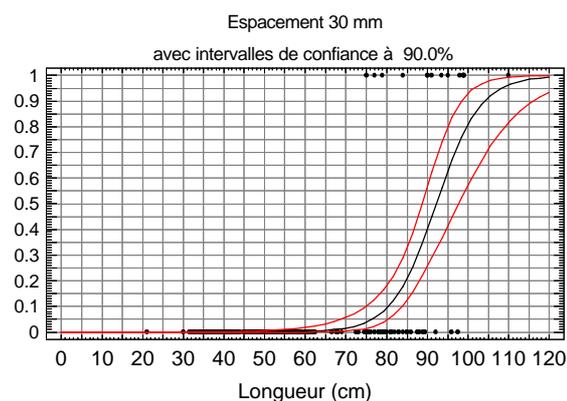
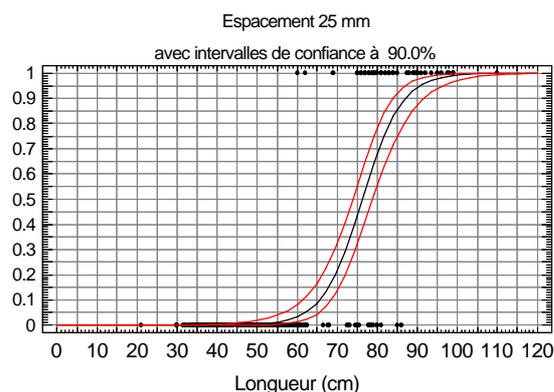
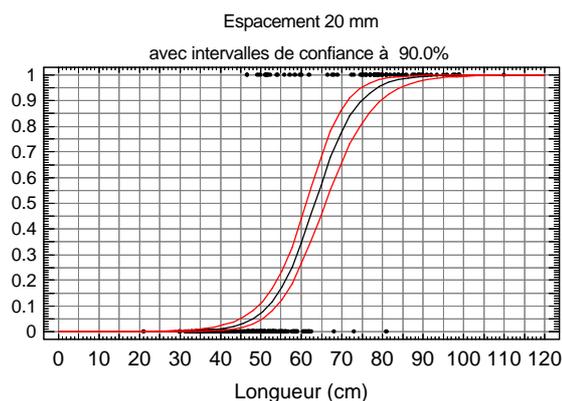
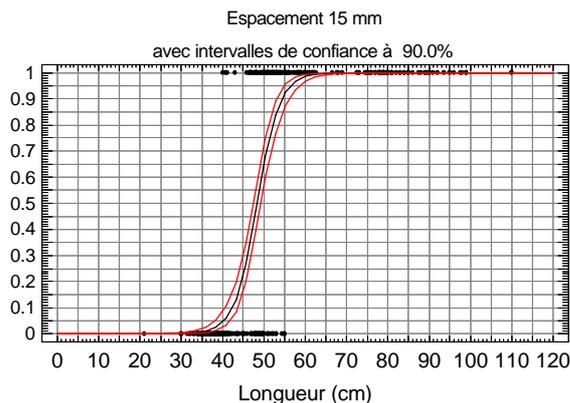
Lors des études de radiopistage menée en métropole sur le gave de Pau de 2006 à 2008 (*Travade et al, 2010*), des tests de franchissement de grilles de différentes tailles d’anguilles européennes (*Anguilla anguilla*), ont été effectués afin de déterminer les capacités de franchissement des poissons en fonction des données biométriques des individus (longueur totale, hauteur et largeur de tête, hauteur et largeur maximales du corps).

De façon à déterminer la probabilité de passage des anguilles au travers de grilles à espacement compris entre 15 mm et 30 mm, les données de passage ont été analysées à l’aide de régressions logistiques. *Travade et al* (2010) ont constaté que la largeur de tête « limite » (au-delà de laquelle les anguilles ne parviennent pas à franchir les grilles) est nettement supérieure à l’espacement des grilles. Cela provient du fait notamment que **les anguilles sont capables de « forcer le passage » en comprimant fortement leur tête par des mouvements de rotation**. La largeur de tête maximale des anguilles parvenant à franchir les grilles représente environ 1.5 fois l’espacement des grilles.

Le franchissement des grilles à barreaux de section circulaire en fonction de la longueur totale du corps est rapporté sur la figure ci-après.

Une différence d’environ 5 mm a été mise en évidence entre un plan de grille à barreaux de section circulaire ou rectangulaire du fait notamment d’une facilité à forcer le passage sur une grille à barreaux circulaires.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



Probabilité de passage d’anguilles européennes (*anguilla anguilla*) au travers de grilles à barreaux de section circulaire espacés de 15, 20, 25 et 30 mm en fonction de la longueur totale du corps. 0 représente le franchissement et 1 le blocage (Source : Travade et al, 2010)

On constate qu’une grille à barreaux circulaires (rectangulaires) à 30 (35) mm d’espacement bloque 50% des individus d’une longueur de 870 à 950 mm, 75% des individus de 930-1050 mm. Le blocage total a lieu pour des individus de 1100 à 1200 mm.

Une grille de 20 (25) mm, bloque 50% des individus d’une longueur de 600 à 650 mm, 75% des individus de 650-730 mm. Le blocage total a lieu pour des individus de 850 à 950 mm.

Ainsi, au regard des tailles d’anguilles capturées à l’échelle de l’île de la Réunion, on peut penser vraisemblablement qu’un espacement entre barreaux de 1.5 cm devrait permettre d’assurer une barrière physique totale pour les individus dévalants.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

A partir des principales caractéristiques physiques des individus dévalants (en notre connaissance), on retiendra les espacements libres maximums admissibles pour constituer une barrière physique.

Groupe	Famille/ Espèce	Stade de dévalaison	Taille moyenne des individus dévalants	Esp. libre maximal pour constituer une barrière physique
<p>Groupe 1 : ce groupe concerne les espèces dévalant au stade larvaire. On retrouve dans ce groupe, notamment les larves d’espèces de poissons et macro crustacés amphidromes comme les gobiidés, éleotridés et atydés qui dévalent passivement dans le courant.</p>	<p>Gobiidae <i>Awaous commersoni</i> <i>Sicyopterus lagocephalus</i> <i>Cotylopus acutipinnis</i> <i>Stenogobius polyzona</i></p> <p>Eleotridae <i>Eleotris fusca</i> <i>Eleotris mauritiana</i></p> <p>Atyidae <i>Atyoida serrata</i> <i>Caridina serratirostris</i> <i>Caridina typus</i></p>	Stade larvaire	2 mm	0.1<?<0.5 mm
<p>Groupe 2 : ce groupe concerne les anguilles argentées. Ce sont les géniteurs d’anguilles qui dévalent pour se reproduire en mer. Elles ont une taille importante de 50 cm à plus de 100 cm environ.</p>	<p>Anguillidae <i>Anguilla bicolor b.</i> <i>Anguilla marmorata</i> <i>Anguilla mossambica</i></p>	Adulte	50-100 cm	1.5 cm
<p>Groupe 3 : ce groupe concerne les espèces piscicoles dont la dévalaison concerne des individus adultes de taille plutôt élevée (20-40cm). On retrouve dans ce groupe le Chitte (<i>A. telfairii</i>) et le Kuhlia (<i>K. rupestris</i>).</p>	<p>Mugilidae <i>Agonostomus telfairii</i></p> <p>Kuhliidae <i>Kuhlia rupestris</i></p>	Adulte	15-25 cm 20-40 cm	1.5 cm 2 cm
<p>Groupe 4 : ce groupe concerne les macrocrustacés qui dévalent au stade adulte. On retrouvera donc dans ce groupe les adultes de chevrettes, camarons et écrevisses de la famille des Palaemonidés (<i>M. australe</i> ; <i>M. lepidactylus</i> ; <i>M. lar</i>) et les adultes de crabes (<i>V. litterata</i>) de la famille des Grapsidés.</p>	<p>Palaemonidae <i>Macrobrachium australe</i> <i>Macrobrachium lepidactylus</i> <i>Macrobrachium lar</i></p> <p>Grapsidae <i>Varuna litterata</i></p>	Adulte	6-9 cm 8-10 cm 10-20 cm 4-6 cm	1.5 cm 1.5 cm 2 cm 2 cm

De façon générale, on peut donc préconiser d’adopter un espacement libre maximal entre les barreaux de :

- **< 0.5 mm mais pouvant être supérieur à 0.1 mm** (à déterminer) pour les espèces dévalant au stade larvaire, à savoir les **larves d’espèces de poissons et macro crustacés amphidromes** comme les gobbidés, éleotridés et atydés qui dévalent plutôt passivement dans le courant. Les grilles inox de type Johnson[®] ou les grilles associées aux effeuilleuses rotatives peuvent donc être des exemples de grille intéressantes.

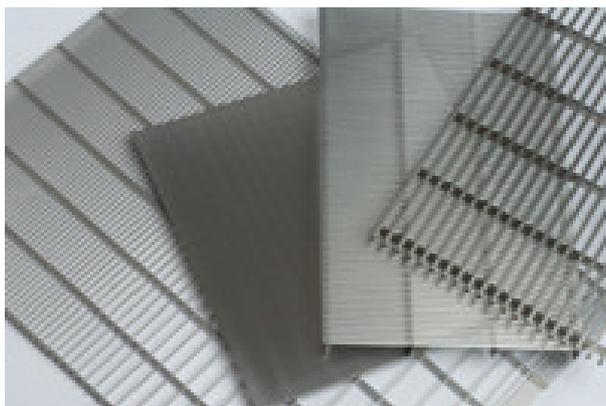


Photo de grilles de filtration type Johnson[®]

- **10-20 mm (15 mm)** pour les poissons dévalants au stade adulte comme les **anguilles, les chittes et les kuhlias**. Cet espacement devrait également se révéler suffisant pour assurer une barrière physique pour la majorité des macrocrustacés dévalants au stade adulte (**chevrettes, camarons et écrevisses**).

➤ **Capacité de nage et plan de grille**

A l’approche d’un plan de grille, les vitesses d’écoulement doivent permettre aux individus dévalants de se déplacer (nage, marche) le temps nécessaire à la recherche du ou des exutoires et ne pas induire de mortalité par placage contre la grille si elle constitue une barrière physique ou ne pas provoquer le passage prématuré des individus au travers la grille si celle-ci présente un espacement permettant un passage physique.

Dans le cas où la vitesse normale au plan de grille est inférieure ou égale à sa vitesse de croisière, le poisson peut théoriquement se maintenir très longtemps devant le plan de grille sans se fatiguer. Il ne risque donc pas de se faire plaquer avant de dévaler par un exutoire ou de repartir vers l’amont.. Par contre, dès lors que la vitesse normale dépasse la vitesse de croisière, le poisson ne peut alors se maintenir qu’un temps plus limité. Il se fatigue progressivement et risque de se faire plaquer et ce d’autant plus rapidement que la vitesse normale est importante.

Limiter la vitesse normale à une valeur inférieure ou égale à la vitesse de croisière des poissons permet d’éviter que les dispositifs soient sélectifs.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Pour estimer la limite supérieure de la vitesse de croisière en fonction de la longueur du poisson, Videler (1993) propose la relation suivante :

$$V_{cr} = 0.15 + 2.4 \times L$$

Les mêmes résultats expérimentaux peuvent être décrits par la relation suivante (Larinier, 2002): $V_{cr} = 2.3 L^{0.8}$

Cette limite correspond un peu arbitrairement à la vitesse que peuvent soutenir les poissons pendant 200 min.

Ainsi, pour des individus de longueur voisine de 10 et 20 cm, les limites supérieures de la vitesse de croisière seraient respectivement de l'ordre de 0.4 et 0.65 m/s. **Cela amène donc à préconiser une vitesse normale au plan de grille maximale de l'ordre de 50 cm/s pour les poissons dévalant au stade adulte comme le chitte et le kuhlia.**

Les observations sur le comportement d'anguilles européennes face au plan de grille et leur placage amènent à préconiser également pour cette famille une vitesse normale maximale de 50 cm/s.

D'une manière générale, le guidage vers les exutoires des individus dévalants sera d'autant meilleur que la vitesse tangentielle est importante, en valeur et par rapport à la vitesse normale. La vitesse tangentielle peut être supérieure à la vitesse de croisière.

Pour les macrocrustacés dévalant au stade adulte et qui se déplacent en marchant notamment au fond du lit, l'absence d'observations sur le comportement des espèces au niveau d'un plan de grille ne permet pas de préconiser des vitesses normales maximales. On peut toutefois penser que des solutions de grille fines (15mm d'espacement) soient envisageables techniquement et économiquement pour assurer la dévalaison de tels individus.

➤ **Cas spécifique des individus dévalant au stade larvaire :**

En ce qui concerne la dévalaison des larves de bichiques, qui se déplacent vers l’aval de manière plutôt passives, les expérimentations menées par l’ARDA (Valade et al, 2004) sur modèle expérimental ont montré l’inefficacité de grilles Johnson® d’espacement entre barreaux de 0.5 mm et incliné à 15° pour la déviation des larves de cabots bouche-ronde dans un écoulement similaire à celui rencontré dans les ouvrages du projet de basculement.

Cependant, on peut raisonnablement penser qu’une réduction de l’espacement entre barreaux (à moins de 0.5 mm) pour que les grilles constituent une barrière physique totale pour les larves n’aurait pas forcément été plus efficace au vu du comportement plutôt « passif » des larves (*les jeunes larves ont tout de même une tendance à monter dans une colonne d’eau*). Les vitesses normales au plan de grille étant toujours bien supérieures aux vitesses d’ascension moyennes constatées, les larves se seraient alors retrouver plaquées contre la grille.

On peut penser que théoriquement l’inclinaison d’un plan de grille à faible espacement peut marcher que si la vitesse normale au plan de grille est bien inférieure à la vitesse d’ascension moyenne des larves, c’est à dire inférieure à environ 0.18 cm/s environ, vitesse moyenne d’ascension des jeunes larves.

De telles conditions nécessiteraient de mettre en place des plans de grilles très fines totalement démesurées (plusieurs centaines de m² de grille par m³/s d’eau prélevé), ce qui rend totalement impensable la mise en place de barrière physique pour assurer la dévalaison des larves de gobidés et d’atydés. Pour ces espèces, les seules mesures envisageables pour réduire l’impact des prises d’eau sur la dévalaison seraient alors des mesures de gestion de l’exploitation (voir action D2).

➤ **Le passage vers l’aval des individus dévalants : exutoires de surface et/ou de fond**

Le passage vers l’aval des individus dévalants, peut se faire au moyen d’exutoires de surface ou/et de fond suivant la configuration du site, des écoulements au niveau du plan de grille, des espèces prises en compte. Dans tous les cas, l’efficacité d’un exutoire va dépendre de sa position par rapport au plan de grille, de l’hydrodynamique à son entrée, de son débit entonné par rapport au débit prélevé, ainsi que de l’espacement entre barreaux du plan de grille.

Ce type d’aménagement concerne essentiellement les prises d’eau « classique » plus ou moins inclinées longitudinalement ou latéralement par rapport aux écoulements (types 1 et 2 vus précédemment). Dans le cas d’effeuilleuse rotative (type3), les individus dévalants vont transiter en aval avec les déchets flottants par l’ouverture en sortie de tambour filtrant.

Dans la cas de prises par « en dessous » (type 4), les individus « glissent » alors sur le plan de grille et chutent en pied de barrage.

Les exutoires de surface ont montré leurs efficacité en France métropolitaine sous certaines conditions pour les espèces dévalant plutôt dans les couches de surface et en particulier pour les juvéniles de salmonidés. Ils ont également montré leurs efficacité pour l’anguille (bien que ce poisson dévale plutôt au fond) dans le cas où le plan de grille assurait une barrière physique pour l’espèce. En effet, les expérimentations récentes ont montré que lorsque l’anguille est efficacement arrêtée par le plan de grille, elle prospecte la prise d’eau sur toute la colonne d’eau jusqu’en surface, et est alors capable de trouver une voie de passage.

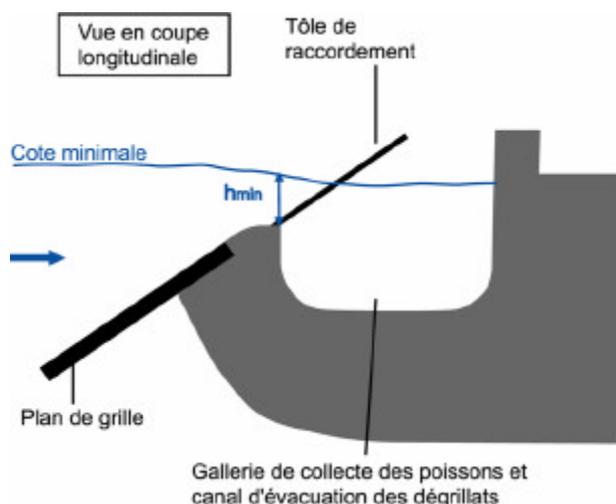
PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUÉRIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

Ainsi, on peut penser pour les espèces réunionnaises, que des exutoires de surface soient très bien adaptés du fait notamment des faibles profondeurs des retenues et des plans de grille.

Des exutoires de fond pourraient par contre se révéler efficaces pour les espèces dévalant plutôt au fond du lit, comme les macrocrustacés dévalant au stade adulte (voire pour les espèces de poissons et macrocrustacés dévalant au stade larvaire). Pour l’anguille, on a vu précédemment qu’il n’y avait pas d’intérêt à aménager un exutoire de fond. **Cependant, Au vu de l’état actuel de la connaissance sur leurs comportements en dévalaison, il est difficile de prédire quel va être réellement le comportement des macrocrustacés dévalants au niveau d’un plan de grille à faible espacement (vont ils chercher à passer par un endroit au fond, vont ils marcher sur le plan de grille jusqu’en surface ?...).** Seules des études de R&D basées notamment sur des observations visuelles, des essais sur modèle réduit, de la radiotélémétrie ou/et du marquage–recapture pourront permettre de mieux connaître le comportement des individus suivant les espèces et d’apporter des critères de dimensionnement pour assurer une bonne dévalaison.

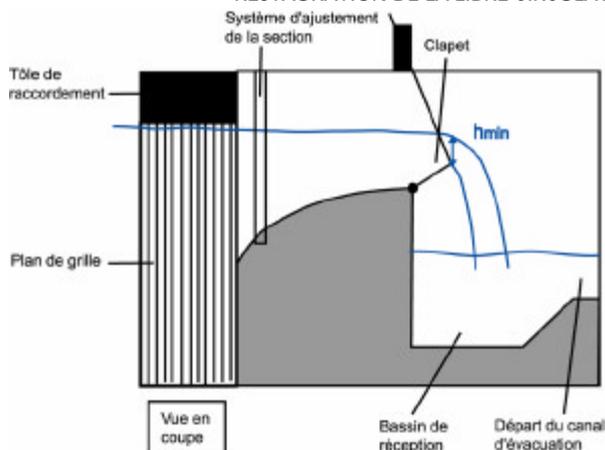
En l’état actuel des connaissances, on peut toutefois s’interroger sur l’opportunité d’installer des ouvertures de fond compte tenu des éventuels problèmes d’entretien. Il nous semble plutôt préférable de voir au préalable, si des exutoires de surface conviennent aux macrocrustacés et dans quelles conditions (espacement entre barreaux, inclinaison, vitesses normales au plan de grille...).



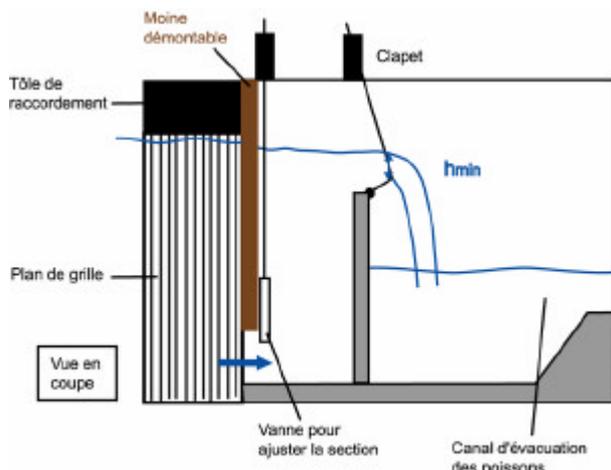
Exutoire de surface installé en tête du plan de grille. Type d'exutoire adapté pour des plans de grille inclinés longitudinalement par rapport aux écoulements

(Photo : Usine de Masseys-Susmiou sur le gave d'Oloron ; Schéma : Courret et Larinier, 2008)

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



Exutoire de surface installée latéralement au plan de grille. Type d'exutoire adapté pour des plans de grille inclinés latéralement par rapport aux écoulements
 (Photo : Usine de La Grotte sur le gave de Pau ; Schéma : Courret et Larinier, 2008)



Exutoire de fond

Exutoire de fond installé latéralement au plan de grille.
 (Photo : Usine d'Halsou sur la Nive ; Schéma : Courret et Larinier, 2008)

Le débit transitant par les exutoires doit être adapté à l'échelle du débit maximal transitant par la prise d'eau. Généralement et sur les espèces généralement traités en France métropolitaine et à l'étranger, il est de l'ordre de 2 % à 10% du débit prélevé suivant la configuration des sites (hydrodynamique du site, configuration du site, débit prélevé...). **Il apparaît toutefois, au vu du retour d'expérience, qu'un débit inférieur à 5% du débit prélevé admette rarement des efficacités optimales.**

La valeur minimale du débit du(des) exutoire(s) peut également être dictée par ses dimensions minimales (largeur, tirant d'eau). En effet, il a été montré par plusieurs études de marquage-recapture ou de radiotélémetrie, qu'un tirant d'eau d'à minima 40-50cm doit être assuré sur l'exutoire de manière à limiter les réticences des poissons à emprunter l'exutoire. De plus, pour limiter les risques d'obstruction par les corps flottants, les exutoires doivent admettre des largeurs minimales de l'ordre de 0.5-1.0 m. Ainsi, en prenant les dimensions minimales, il apparaît difficile d'assurer un débit de dévalaison inférieur à 250-300 l/s.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUÉRIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE**CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS**

En cas de pertes d’usage forts (énergétique, Eau Potable...), le débit de dévalaison peut éventuellement être modulé durant les périodes de l’année (voire de la journée) avec un débit plus élevé pendant les périodes de dévalaison des espèces –cibles.

Seules, des études de R&D permettraient de quantifier selon les espèces, les rythmes de dévalaison en fonction des différents paramètres environnementaux (hydrologie, période de l’année, activités nyctémérales, lunaison, température de l’eau, turbidité...). Aux Antilles, des suivis journaliers à l’aide de filets de dérive semblent avoir montré par exemple, que la migration de dévalaison des larves de crevettes a lieu principalement entre 19h et 22 h (March et al., 1998 ; Benstead et al, 1999 ; Fievet et al, 2000) et que la dérive de nuit permettrait la prédation par les poissons diurnes.

Les résultats obtenus sur la mise en place d’éclairage au niveau des dispositifs de dévalaison (lampes à vapeur de mercure 50 W) montrent que l’éclairage d’un exutoire améliore l’attractivité de celui-ci pour les smolts de salmonidés (Croze et al, 2001). Pour l’anguille, qui a une phototaxie plutôt négative, l’éclairage d’un exutoire est par contre pénalisant.

On peut imaginer que sur certaines espèces réunionnaises, la lumière puisse avoir un impact (voir également § 2.3) de répulsion ou d’attraction qui pourrait alors être associé à la mise en place d’exutoires. Fievet et al (2000) semblent montrer que la lumière a un effet répulsif sur les macrocrustacés adultes et juvéniles par contre elle aurait un effet attractif pour les larves. Des études expérimentales de type R&D sur la phototaxie des différentes espèces dévalantes seraient intéressantes à mener également.

En l’état actuel des connaissances, il nous semble préférable d’éviter l’éclairage d’un exutoire de dévalaison et de privilégier plutôt les facteurs hydrodynamiques au niveau des dispositifs de dévalaison.

MESURE D2 : REDUCTION OU ARRÊT CIBLE DU PRÉLEVEMENT

Nous avons vu précédemment (Action D1) que la mise en place d’un plan de grilles fines (espacement entre barreaux de l’ordre de 1 à 2cm) associé à un exutoire spécifique et à des vitesses à l’approche des grilles suffisamment faibles, était une solution théoriquement efficace pour la majorité des espèces dévalantes de la Réunion. Le retour d’expériences en métropole a montré en tout cas son efficacité. Pour les individus dévalant au stade larvaire (gobidés et atydés), cette solution paraît toutefois techniquement et économiquement inconcevable.

La seule solution efficace pour la dévalaison des larves ou la seule alternative efficace au plan de grilles fines pour les autres espèces, consisterait à un arrêt total ou partiel du prélèvement ciblé sur la période de dévalaison.

Comme **il est actuellement impossible de prédire les pics de migration des différentes espèces**, la modification du régime de prélèvement sur des bases incertaines pourrait alors se traduire soit en une protection insuffisante des espèces, soit en des coûts difficilement acceptables induits par exemple, par des périodes d’arrêt des prélèvements en excès.

Cependant, le retour d’expérience sur l’anguille européenne et sur la majorité des espèces en dévalaison (y compris tropicales) montre que les pics de dévalaison se produisent généralement la nuit pour des raisons de prédation notamment. C’est également le cas des familles dévalantes au stade larvaire comme les gobidés et les atydés (Fievet, 2000 ; Valade, 2001). Des suivis journaliers à l’aide de filets à dérive ont montré que la migration de dévalaison des larves de crevettes avait lieu principalement entre 19h et 22h (March et al, 1998 ; Benstead et al, 1999 ; Fievet et al, 2000).

Cependant, en l’absence de connaissance suffisante sur les rythmes de dévalaison, et par mesure de précaution, cette solution nécessiterait d’arrêter les prélèvements d’eau durant la nuit sur toute la période de migration des espèces cibles (pour les larves d’atydés et gobidés, on pourrait presque dire toute l’année). On peut facilement imaginer que cette solution certes efficace, pourrait présenter des contraintes économiques importantes et éventuellement incompatibles avec les besoins de l’île.

On pourrait également envisager d’arrêter les prélèvements uniquement lors des plus gros pics de migration. Cependant, cela nécessite de pouvoir détecter ou prédire les pics de migration soit à l’aide de biomoniteurs soit à l’aide de modèles prédictifs prenant en compte les paramètres environnementaux (température, débit, météorologie...). A ce jour, ni l’une ni l’autre des deux approches n’est opérationnelle par manque de connaissance. Suite au règlement européen de sauvegarde de l’anguille européenne, des moyens conséquents (financiers et humains) ont été mis en œuvre dans le cadre d’un programme de R&D « Anguille » pour essayer de prédire les pics de dévalaison de cette espèce. Vu les résultats obtenus à ce jour, on peut imaginer que de telles solutions seraient longues à mettre en place à la Réunion au vu de la multitude d’espèces concernées et des caractéristiques physiques des espèces dévalantes (petites tailles).

Cependant, nous avons vu précédemment que des grilles fines associés à des exutoires de dévalaison pourraient être des moyens efficaces pour résoudre la dévalaison de la plus grande majorité des espèces dévalantes à la Réunion (sauf pour les espèces dévalant au stade de larves). L’arrêt ponctuel ou la réduction du débit de prélèvement pourraient alors être ciblés uniquement sur les individus dévalant au stade larvaire.

En cas de réduction de débit prélevé, les taux d’échappement des larves au droit de chaque ouvrage seraient alors avant tout fonction de la répartition entre les larves transitant par les ouvrages évacuateurs (déversoir, seuil, clapet, vanne, ...) et ceux entraînés dans la prise d’eau. Vu le

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS

comportement plutôt passif des larves en dévalaison, le pourcentage de larves susceptibles de transiter par les ouvrages évacuateurs au barrage pourrait alors être apprécié à partir du rapport Q_p/Q_{riv} (débit prélevé sur le débit du cours d’eau).

$$Q_{riv} = Q_p$$

$$P = 0$$

$$Q_{riv} > Q_p$$

$$P = 100 \times (Q_{riv} - Q_p) / Q_{riv}$$

avec :

P : pourcentage de larves dévalant au barrage

Q_p : débit prélevé

Q_{riv} : débit du cours d’eau à l’amont immédiat de l’aménagement

Ce modèle de distribution des larves paraît assez réaliste au vu des résultats de Benstead et al (1999). En arrêtant le prélèvement d’eau durant les premières heures après le coucher du soleil, Benstead et al estiment que la mortalité par entraînement des larves de crevettes dans les prises d’eau peut être réduite à 20 % et moins au lieu des 80 % théoriques en cas de prélèvement en continu de 80 % du débit (Fievet, 2000).

Une telle mesure mise en place en période maximale de dévalaison des larves pourrait être une base de réflexion. **La mise en pratique d’une telle gestion devra dans tous les cas faire appel à des programmes de R&D spécifiques** de manière à mieux cibler la période de dévalaison des deux familles concernées (gobidés et atydés) et de vérifier l’efficacité de la mesure.

Un programme de recherche ARDA-Département de la Réunion avait déjà permis de mettre en évidence que la période de reproduction des cabots bouche-ronde *S. lagocephalus* était sous influence de la température (maturation des gonades se fait chez les femelles dès lors que la température de l’eau dépasse 18°C).

MESURE D3 : MISE EN PLACE DE BARRIÈRES COMPORTEMENTALES

L'installation de grilles fines sur un ouvrage existant implique dans la plupart des cas une augmentation significative de la surface du plan de grille initial et le plus souvent une modification de la structure de la prise d'eau, ce qui peut s'avérer problématique.

L'inconvénient majeur de l'installation de grilles fines réside dans l'augmentation des contraintes d'exploitation.

Les stimuli visuels, auditifs, hydrodynamiques, électriques, ont donné lieu à un grand nombre de barrières comportementales expérimentales destinées à repousser ou attirer les poissons en dévalaison : écran lumineux répulsif, écran à bulles, écran sonore, écran à chaînes fixes et mobiles, écran hydrodynamique, écran électrique... Ces dispositifs ont été testés essentiellement sur les salmonidés et les clupéidés.

D'une manière générale, des résultats ponctuels ont tout de même été obtenus sur un certain nombre d'écrans mais ils n'ont pas donné en général d'applications grandeur nature en raison de leur spécificité (sélectivité fonction de l'espèce et/ou du stade), de leur faible fiabilité et de leur sensibilité aux conditions du milieu (turbidité, conductivité par exemple). Les évaluations des barrières comportementales portant sur des installations grandeur réelle se sont révélées toujours beaucoup moins encourageantes que celles menées dans des conditions contrôlées en laboratoire (Gosset et Travade, 1999, Travade et Larinier, 1992).

Plus récemment pour l'anguille européenne, l'installation de barrière répulsive à infrasons proposés par la société *Profish* a été expérimentée dans le cadre du programme national R&D « Anguille ». Les essais sur le gave de Pau ont montré l'absence de réelle efficacité sur l'anguille européenne. On peut penser que pour les espèces d'anguilles présentes à la Réunion, le dispositif n'ait pas plus d'efficacité. De plus, le dispositif assez onéreux et plutôt fragile paraît difficilement compatible avec les régimes hydrologiques et sédimentaires des cours d'eau réunionnais.

Parmi les différents stimuli testés, les expérimentations menées sur certaines espèces montrent que la lumière est souvent le meilleur paramètre susceptible de renforcer les effets d'autres dispositifs (exutoires de dévalaison). **Dans tous les cas, l'éclairage d'un exutoire n'a jamais pu se substituer aux facteurs hydrodynamiques qui restent toujours primordiaux pour garantir son efficacité.**

Les résultats récents obtenus sur l'attrait lumineux des juvéniles de salmonidés montrent qu'un éclairage continu faible (lampe à vapeur de mercure 50 W) permet d'augmenter significativement l'efficacité d'un exutoire de surface, une grande partie de leur dévalaison se déroulant la nuit (Croze et al, 2001). L'éclairage d'un exutoire est donc de plus en plus généralisé en période de dévalaison des salmonidés (Sur les cours d'eau du Sud Ouest de la France métropolitaine présentant du saumon atlantique, EDF va d'ailleurs équiper l'ensemble de ces exutoires de lampes à vapeur de mercure).

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACÉS



Exutoire de dévalaison de Crampagna (Ariège) équipé d’un système d’éclairage (lampe à vapeur de mercure).

On peut penser que pour les espèces réunionnaises, l’utilisation de la lumière puisse être un stimuli envisageable pour améliorer la dévalaison de certaines espèces.

On sait déjà que les larves d’atydés sont attirées par la lumière. Fievet (2000) souligne que des dispositifs lumineux pourraient éventuellement être utilisés pour diriger les larves vers un dispositif de débit réservé ou vers un exutoire et les éloigner des prises d’eau. Par contre, **les juvéniles et les adultes semblent fuir la lumière** (Fievet, 2000). Cette différence de phototaxie entre les larves et les adultes montre bien l’inconvénient majeur des barrières comportementales. En effet, **l’inconvénient majeur d’une barrière comportementale réside dans le fait qu’elle est toujours très spécifique, c’est à dire qu’une barrière comportementale efficace pour une espèce ou un stade peut se révéler inefficace, voire contre-indiquée pour d’autres.**

Si les observations de Fievet semblent encourageantes sur l’impact de la lumière pour améliorer la dévalaison des larves, des expérimentations menées dans le cadre d’un programme R&D devront absolument être menées au préalable pour étudier réellement la possibilité d’utiliser techniquement la lumière pour améliorer la dévalaison des larves et de vérifier en parallèle son impact sur d’autres espèces pouvant migrer simultanément (montaison, dévalaison).

MESURES P1 à P3 : AMELIORATION DE LA LIBRE CIRCULATION AU DROIT DES PECHERIES DE BHIQUES

Les pêcheries de bichiques constituent une catégorie d’obstacle très particulière en raison notamment de la difficulté à appréhender les pêcheurs dans leur totalité. Ils peuvent être regroupés en association mais ne disposent pas d’un cadre général : souvent multiples au sein d’une même embouchure les associations et groupements de pêcheurs ne sont pas reliés et peuvent se trouver en situation de conflits directs. De plus, cette activité se démarque aujourd’hui par un non respect de la réglementation en vigueur, et on ne dispose pas d’informations fiables sur son activité (espèces, quantités).

Dans ce cadre, les mesures de restauration de la libre circulation au droit de ces obstacles devront porter en premier lieu sur l’organisation de cette activité. La mise en œuvre de mesures de restauration devra être adoptée par la suite avec l’adhésion des filières en place ou proposée dans le cadre de mesures ponctuelles de R&D à mener en parallèle afin de disposer de premiers éléments objectifs sur l’impact et le potentiel de restauration de cette activité.

- Synthèse des causes provoquant des difficultés de franchissement pour les espèces amphidromes (espèces cibles et autres espèces)

Les techniques de capture des bichiques ont évoluées ces dernières années avec une intensification de l’effort de pêche en rivière : utilisation de matériaux plastiques ou métalliques, augmentation du nombre de canaux successifs sur le linéaire de rivière.

Les principales causes provoquant de très fortes difficultés de franchissement pour les espèces amphidromes au droit des pêcheries sont liées :

- A l’emprise complète de la pêcherie sur la largeur mouillée,
- A l’utilisation d’engins de pêche à mailles très fines et donc non sélectifs.

La pêche s’intensifie lors des principales périodes de remontées des bichiques : dernier quartier à la nouvelle lune d’octobre à janvier. A cette période de l’année tous les canaux sont entretenus et pêchés. Le reste de l’année, on observe un effort de pêche régulier au niveau des canaux les plus aval en fonction des contraintes hydrologiques et océaniques (fortes houles, marée).



Exemple de pêcherie sur la rivière des Roches : l’embouchure est entièrement aménagée en canaux (gauche). En amont (droite), on observe des canaux barrant toute ou partie du cours d’eau jusqu’à plus de 1km de l’embouchure.

PHASE III – PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR RECONQUERIR LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
 CATALOGUE DE MESURES – RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE : PRINCIPALES ACTIONS POUR LA
 RESTAURATION DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET MACROCRUSTACES



Exemple de vouve métallique à mailles très fines (1mm) et gueule supérieure à 80cm (Rivière Saint Jean)



Équipement des canaux à l'aide de filet « ombrière » dans les canaux (Rivière des Roches).

- Rappel sur la réglementation actuelle de la pêche des bichiques

La pêche professionnelle des bichiques est réglementée dans le Domaine Public Maritime par l'arrêté n°1742 du 15 juillet 2008. Cette pêche est réservée aux pêcheurs régulièrement embarqués à la petite pêche. Elle peut être pratiquée en mer avec des filets moustiquaires ou en rivière avec des vouves. Le produit de cette pêche est destiné à la vente.

Dans le cadre de la pêche de loisir cette pêche est actuellement réglementée dans le Domaine Public Maritime par l'arrêté n°1743 du 15 juillet 2008. Elle n'est pas autorisée au sein du Domaine Public Fluvial (pêche des bouche-rondes *S. lagocephalus* et *C. acutipinnis* non autorisée). Le produit de la pêche de loisir est interdit à la vente.

Dans les portions de cours d'eau couvertes par le DPM (aval de la limite de salure des eaux), la pêche des bichiques est autorisée pour les professionnels et les amateurs avec les mêmes limitations :

- « la pêche des différentes espèces anadromes, traditionnellement connus sous le nom de bichiques, est interdite de la nouvelle lune à la pleine lune de mars, tant à l'embouchure que dans la zone comprise entre la dite embouchure et la limite séparative des réglementations maritime et terrestre en matière de pêche, dans les rivières, ravines, canaux et étangs,
- un chenal d'une largeur minimum de deux mètres sis à l'emplacement du thalweg doit être maintenu pendant toute l'année pour permettre une remontée constante des bichiques dans les rivières et étangs,
- L'utilisation de vouves à bichiques est autorisée. Celle-ci devra être constituée de fibres végétales et son diamètre ne devra pas excéder 80 centimètres. »

Le rétablissement de la continuité au droit des pêcheries ne peut être entrepris sans prendre en compte l'intérêt économique et patrimonial de cette activité. Toutefois, le cadre informel de la majeure partie de cette activité rend difficile, voire impossible l'application en l'état de mesures de restauration sur les espèces cibles.

Les préconisations d'actions que nous proposons à la suite reposent alors en premier lieu sur la mise en place d'une structuration de cette filière en lien avec une activité professionnelle ou amateur.

MESURE P1 : DÉFINIR UN STATUT POUR CHACUN DES GROUPEMENTS DE PÊCHEURS

En premier lieu, l’activité de pêche des bichiques est principalement destinée à la vente du produit de la pêche. Cette pêche concentre les volumes de poissons capturés et également l’effort de pêche.

L’activité de pêche de loisir, destinée à la consommation personnelle, est bien moindre en termes de quantités pêchées mais elle possède un caractère traditionnel patrimonial fort. Sa prise en compte est donc nécessaire.

Une première étape de La structuration de la pêche des bichiques consiste alors à identifier les pêcheries qui pourraient disposer d’un statut professionnel et celles relevant de la pêche de loisir.

Dans un premier temps, nous proposons de pré-identifier les pêcheries ciblées par les dispositifs professionnels ou amateurs, en fonction :

- de leur position sur le cours d’eau,
- de leur importance ou de leur volonté déjà engagée dans la mise en place d’associations de pêcheurs amateurs aux engins (projet DEAL – FDAAPPMA en cours, Huguen 2010).

Les pêcheries de premier rang pourraient être dans l’ensemble pré-identifiées comme pêcheries professionnelles sauf cas particuliers où l’activité de pêche est bien moindre (rivière Sainte Suzanne, rivière de l’Est, ...).

Les pêcheries situées en amont de la pêche de premier rang pourraient être dans l’ensemble pré-identifiées de loisir (conforme aux observations DEAL, Huguen 2010), sauf pour les cas particuliers de la rivière des Marsouins et de la rivière des Roches où l’importance de ces pêcheries en termes de canaux et d’emprise sur le lit mouillé, et donc la « rentabilité possible » de l’activité sont difficiles à estimer en l’état.

Cette première base de travail permettra d’identifier les cadres d’accompagnement nécessaires à la mise en place de ces activités, selon le domaine public concerné, comme par exemple la mise en place : d’un statut de pêcheurs professionnels à pieds dans le domaine public maritime, d’associations de pêcheur amateur aux engins ou de groupement de pêcheurs professionnels dans le domaine public fluvial, ...

MESURE P2 : RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE AU SEIN DES PÊCHERIES À CARACTÈRE PROFESSIONNEL

D’un point de vue réglementaire, les dispositions actuelles prévues dans le cadre de la pêche des bichiques dans le Domaine Public Maritime relèvent d’un bon sens pratique lié à la préservation d’une voie (même réduite) pour le passage d’une partie des individus et l’utilisation d’engins sélectifs.

A ce jour, la non application de cette réglementation la majeure partie du temps ne permet pas d’en estimer l’efficacité.

Dans ce contexte, la mise en place de mesure visant à réglementer la pêche afin de restaurer la continuité écologique tout en conservant l’usage de la pêche nécessite :

1. la mise en place d’une médiation avec les groupes et associations de pêcheurs,

Cette mission de médiation sera indispensable pour assurer l’appropriation de la démarche par les pêcheurs. Elle permettra également de relever et de mettre en évidence au cas par cas les difficultés de possibilités de mise en œuvre des mesures réglementaires actuelles (fonctionnement hydraulique, emplacement des canaux, ...) et d’identifier des mesures de restauration adaptées aux techniques de pêches en vigueur.

2. la mise en œuvre d’actions pilotes de restauration (action R&D),

Les actions pilotes à mener sur ces pêcheries auront pour objectif double de proposer sur des pêcheries types la mise en place et le suivi de l’efficacité de mesures de restauration de la continuité écologique. Ces suivis pourront s’accompagner d’étude sur l’économie et la sociologie de cette pêche afin de proposer un statut adapté pour les pêcheurs professionnels. Les actions pilotes de ce type devront être menées sur différents types de pêcheries en fonction des différents types de mesures de restauration qui pourront être proposées.

Ces actions auront pour objectif d’aboutir à la mise en place de mesures de restaurations :

- adaptées aux techniques et pratiques de pêche en cours,
- efficace pour la restauration des peuplements de poissons et de macro crustacés,
- faciles à contrôler.

MESURE P3 : RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE AU SEIN DES PÊCHERIES À CARACTÈRE AMATEUR

Il s’agit par défaut des pêcheurs non professionnels. Cette activité est dite de loisir et par définition elle ne donne pas lieu à la revente du produit de la pêche.

Cette pêche peut être pratiquée librement (dans le respect de la réglementation) dans le DPM où elle est souvent limitée par l’implantation des pêcheries à caractère « professionnel ». En revanche son encadrement est strict dans le Domaine Public Fluvial : elle est limitée aux adhérents d’Associations de Pêcheurs Amateurs aux Engins. La mise en place de telles associations à La Réunion est actuellement en projet (DEAL – FDAAPPMA, Huguen 2010). Sa mise en place préalable nécessite notamment la définition de la vouve comme engin de pêche (engin de pêche non référencé en réglementation du DPF).

A noter également l’adhésion par les pêcheurs amateurs à une conséquence majeure de ce statut : le produit de la pêche n’est pas destiné à la vente. Cette particularité du statut de cette pêche doit bien être signalée dans le cadre de l’encadrement de cette filière vu la valeur marchande des bichiques : 15 à plus de 40€ du kilogramme.

Actuellement, la réglementation de cette activité en cours d’eau dans le DPM est équivalente à celle imposée aux pêcheurs professionnels. Vu l’objectif de loisir de cette activité (revente du produit de la pêche interdite), il est nécessaire de réduire l’effort de pêche aux bichiques dans le cadre amateur.

De plus, il est proposé que la réglementation de la pêche amateur aux bichiques soit identique dans les domaines publics maritime et fluvial. Elle pourrait par exemple comprendre :

- une période d’ouverture limitée, englobant les principales périodes de remontées qui font l’attrait de cette pêche de loisir (octobre – décembre),
- l’interdiction d’utiliser des matériaux plastiques ou métalliques pour installer les vouves,
- une limitation du nombre de vouves et/ou de la largeur mouillée,
- une limitation de la quantité pêchée par jour et par pêcheur, ...
- La mise en place de la restauration au sein de cette activité nécessitera la mise en place préalable d’une mission de médiation (conjointe à l’action P2) en vue de valider le caractère amateur avec les pêcheurs concernés (i.e. non revente des captures, limitation de l’effort de pêche).