

# Principes généraux de la méthode ICE

- 48 ■ Rappels de la méthode ICE
- 55 ■ Définition des groupes d'espèces
- 68 ■ Rappels des définitions des classes de franchissabilité



## Rappels de la méthode ICE

### Ses principes et ses limites

L'objectif de la méthode ICE adaptée aux départements insulaires d'outre-mer consiste à diagnostiquer l'état de la franchissabilité d'un obstacle à la montaison par les poissons et les macro-crustacés, en évitant au maximum le recours au dire d'expert.

Comme pour la méthodologie appliquée en métropole, le protocole de mise en œuvre sur le terrain doit être applicable par un **nombre restreint d'opérateurs** (2 à 3) et en un **temps limité** (si possible moins de 3 heures).

**A**ttention. Une restriction concerne donc la migration de dévalaison. En effet, au regard de la complexité des mécanismes de dévalaison et de la nécessité d'avoir une bonne connaissance de l'hydrologie, des modalités de prélèvement éventuel et des caractéristiques hydromécaniques des installations, il a été décidé de ne pas définir de critères destinés à appréhender la franchissabilité des ouvrages à la dévalaison. Ainsi, **l'appréciation de l'impact potentiel d'une prise d'eau sur la dévalaison nécessitera une expertise dédiée, menée par des techniciens spécialisés**. Dans ce cadre, le protocole de terrain se propose de recueillir les éléments indispensables à cette expertise.

Le diagnostic des discontinuités à la montaison dans le cadre de la méthode ICE doit permettre de définir facilement la franchissabilité d'un ouvrage, selon des **classes de franchissabilité définies**, pour une espèce ou un **groupe d'espèces**. Le concept de cette méthode repose sur la confrontation du type, de la géométrie des obstacles et des conditions hydrauliques au niveau de ceux-ci avec les capacités de franchissement des espèces considérées.

Ainsi, dans son principe général, la méthode mise en œuvre consiste à **identifier sur chaque ouvrage la ou les voies de passage potentielles** des espèces, de décrire les caractéristiques géométriques de ces voies et les conditions hydrauliques à leur niveau, et de les confronter aux capacités de franchissement des espèces ciblées. À noter que, au droit d'un même obstacle, les voies de passage potentielles peuvent être différentes en fonction des espèces et des stades considérés. Dans ce cas, autant de descriptions doivent être effectuées.

Par opposition aux voies dites « parasites », et dont les écoulements ne sont pas continus jusqu'au cours d'eau en amont de l'ouvrage (par exemple une conduite de débit réservé en charge), les voies de passage potentielles sont des voies dont l'attractivité (position et débit) et la continuité peuvent potentiellement permettre le franchissement de l'ouvrage. La description des caractéristiques géométriques de chaque voie sera ainsi réalisée en levant des profils en long des éléments constitutifs de ces dernières.

La logique de description est de relever les cotes altimétriques de chaque point singulier de l'ouvrage, correspondant à des modifications significatives dans le profil (ex. : rupture de pente). Ces cotes sont relevées selon le sens de l'écoulement, du fond du cours d'eau à l'amont immédiat de l'obstacle jusqu'à la fosse d'appel à l'aval



de l'ouvrage (ou inversement). Le levé de l'altimétrie de ces points et de la distance entre points permet ainsi d'établir un ou plusieurs profils en long schématiques des voies de passage potentielles pour l'espèce ou les espèces considérées (Figures 22 et 23).

Figure 22

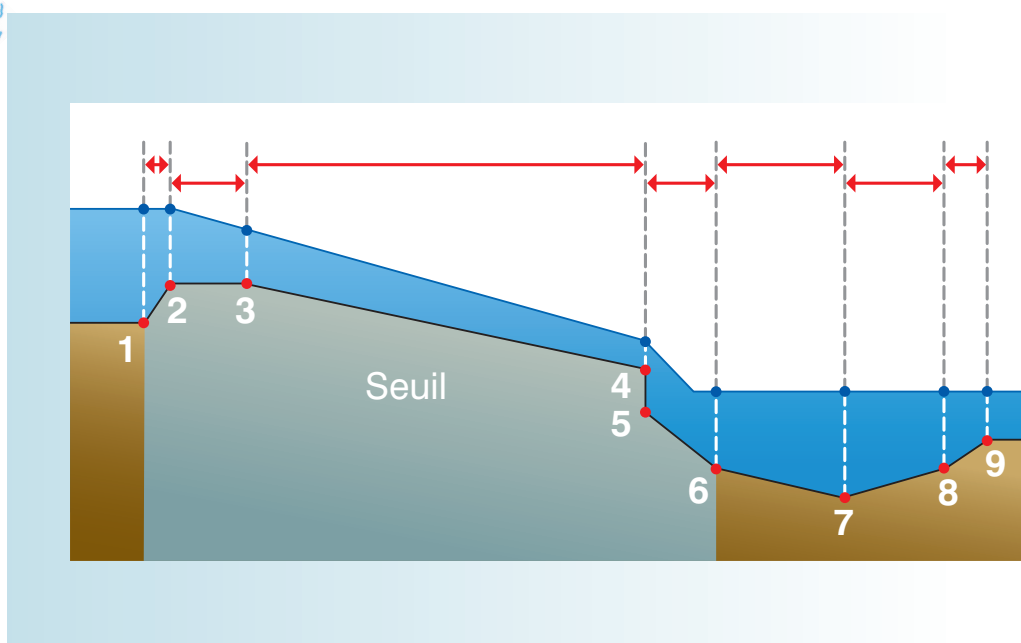


a, b © V. Burgun (AFB)

Exemples de localisation de profils en long à réaliser pour caractériser un ouvrage.

(a) Sur un tel ouvrage, présentant 3 vannages identiques et fermés, le levé d'un seul profil en long paraît suffisant, (b) Dans le cas de ce seuil, il paraît préférable d'effectuer un profil en long sur la partie hors d'eau. Cette partie peut en effet être mise en eau sous d'autres conditions hydrologiques.

Figure 23



© Graphies pour AFB

Exemple de profil en long réalisé sur un ouvrage simple. Modifié d'après Baudoin et al., 2014.

La franchissabilité d'un obstacle dépend avant tout des conditions hydrauliques présentes au niveau des différentes parties qui le compose, à mettre en relation avec les capacités de franchissement du groupe d'espèces considéré. Le levé des lignes d'eau tout au long de chaque profil réalisé est donc également important et doit être effectué simultanément au levé des caractéristiques purement physiques de l'ouvrage.

Or, ces conditions hydrauliques sont fonction non seulement du type d'ouvrage (parement uniformément incliné, parement aval en escalier, obstacle vertical fixe ou mobile, passage busé, présence d'écoulement sous

vannes...) et de sa géométrie (hauteur, profil, pente, longueur, rugosité), mais aussi des débits qui y transitent, c'est-à-dire des conditions hydrologiques en période de migration, qui peuvent s'avérer très variables.

Ainsi, la franchissabilité est très souvent variable selon le débit du cours d'eau, l'ouvrage pouvant par exemple être infranchissable en étiage et totalement effacé en hautes eaux (Figure 24). **Aussi, lors d'un diagnostic ICE, il conviendra de se placer dans la mesure du possible dans des conditions hydrologiques les plus représentatives de la période de migration des espèces ciblées.**

En cas de forts débits, certaines mesures structurelles importantes de l'ouvrage peuvent être très difficiles, voire périlleuses pour l'opérateur, ce qui n'est pas acceptable. *A contrario*, si les conditions d'étiage permettent facilement d'accéder aux ouvrages et de mesurer leurs différentes composantes structurelles, les conditions hydrauliques mesurées peuvent s'avérer très pénalisantes sur le diagnostic de franchissabilité (chute maximale, tirant d'eau faible, fosse d'appel peu profonde...) alors qu'elles sont peu représentatives des conditions les plus fréquemment rencontrées par les poissons ou les macro-crustacés en période de migration.

**Ainsi, plusieurs visites sur site, sous différentes conditions hydrologiques (basses eaux et eaux moyennes), s'avèreront souvent nécessaires afin de définir ou affiner la classe de franchissabilité ICE.** Par exemple, les mesures structurelles de l'ouvrage pourront être effectuées en période de basses eaux, et les lignes d'eau calées lors d'une deuxième campagne de mesures, à des débits correspondant aux périodes de migration des espèces ciblées.

Si toutefois, lors du diagnostic, les conditions hydrologiques s'avèrent peu représentatives des conditions rencontrées par l'espèce lors de sa migration, il semble toujours intéressant, en complément, d'apprécier la classe de franchissabilité en ignorant les paramètres déclassants liés au débit, qui sont le plus souvent le tirant d'eau et la charge. Cette analyse, effectuée sans prise en compte des critères liés au débit, permet d'apprécier la sensibilité de la franchissabilité de l'ouvrage à l'hydrologie et permet également de juger de l'utilité de revenir sur site à d'autres conditions hydrologiques.

Figure 24



a © P. Valade (Ocea Consult)  
b © Deal de La Réunion  
c, d © V. Burgun (AFB)

Exemples d'ouvrages à différentes conditions de débit.  
Radier sur la rivière Sainte-Suzanne à La Réunion en basses eaux (a) et en hautes eaux (b). Seuil en métropole en basses eaux (c) et en hautes eaux (d).

Lorsque plusieurs voies de passage ont été diagnostiquées au niveau d'un obstacle, ces voies peuvent avoir des degrés de franchissabilité différents. Ainsi sur un même obstacle, des voies peuvent être considérées au sens de la méthode ICE comme infranchissables et d'autres comme totalement franchissables. Pour que les voies diagnostiquées comme « franchissables » puissent être réellement efficaces, il est nécessaire que les poissons les trouvent. Cela peut se révéler très problématique lorsque ces voies ne représentent par exemple qu'une très faible largeur comparée à celle de l'obstacle et/ou ne sont alimentées que par un débit ne constituant qu'une fraction infime du débit total transitant par l'ouvrage (attractivité faible).

**A**ttention. La méthode ICE ne permet pas, en présence de voies multiples, de se prononcer sur le degré d'attractivité de chacune d'entre elles. Aussi, pour ce cas, la détermination de la classe de franchissabilité ICE globale de l'ouvrage devra s'appuyer sur un bon niveau d'expertise. Cela passera le plus souvent par l'acquisition préalable d'une bonne connaissance de la répartition des débits en fonction de l'hydrologie au niveau du site étudié.

**Dans le cadre de la méthode ICE, la caractérisation des conditions hydrauliques dans ou sur les ouvrages a été volontairement et fortement simplifiée.**

Si des analyses plus précises doivent être conduites (ouvrage complexe ou à très fort enjeux pour les espèces diadromes), il conviendra de réaliser une modélisation hydraulique spécifique du site. Elle permettra de mieux caractériser les conditions hydrauliques au niveau de l'ouvrage selon les débits du cours d'eau, pour les mettre ensuite en relation avec les capacités de franchissement des espèces / stades ciblés.

Cette modélisation hydraulique détaillée devra passer par la construction et le calage d'un modèle numérique à partir d'un certain nombre de données physiques (géométrie précise de l'ouvrage, rugosités) et hydrauliques (débits, conditions aux limites aval et amont en fonction des débits...).

À titre d'exemples, il existe des logiciels gratuits qui peuvent permettre de telles analyses, à savoir :

■ le logiciel FishXing développé notamment par *USDA - Forest Service Pacific Northwest Research Station*. Ce logiciel téléchargeable sur le site Internet <https://www.fs.fed.us/biology/nsaec/fishxing/> a été conçu initialement pour analyser le franchissement des poissons au niveau d'ouvrages routiers mais il peut être utilisé de manière plus générale, par exemple pour modéliser des seuils simples ;

■ le logiciel *HEC-RAS*, développé par *US Army Corps of Engineers*, téléchargeable à l'adresse Internet <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx> est un logiciel plus adapté pour modéliser les conditions hydrauliques sur ou dans des ouvrages quelconques. En revanche, il ne fait pas le lien avec les capacités de nage des poissons comme peut le faire *FishXing*. Cette analyse entre l'hydraulique et la biologie doit donc être faite en parallèle. Ce logiciel est très utilisé par les bureaux d'études spécialisés en écohydraulique ou en hydraulique fluviale. Il a d'ailleurs été mobilisé lors de l'élaboration du présent document pour définir les vitesses d'écoulement sur les coursiers de seuil (voir chapitre dédié aux conditions d'écoulement sur les seuils à parement aval incliné).

**N.B.** Ce document ne constitue pas le protocole de mise en œuvre sur le terrain, par ailleurs décliné dans une publication distincte, et garant d'un dimensionnement, d'une sécurisation des opérations de terrain comme d'une pratique standardisée.

## Les différents types d'obstacles traités dans le cadre du diagnostic à la montaison

Dans le cadre du diagnostic à la montaison, les principaux types d'obstacles traités dans cette méthode sont les suivants :

- les seuils, barrages ou passages à gués constitués uniquement de parties fixes ;
- les obstacles présentant des organes mobiles partiellement ou totalement ouverts ;
- les ouvrages routiers présentant des parties hydrauliques (buses, passages à gué) ;
- les ouvrages mixtes, plus complexes et constitués d'éléments de natures différentes.

Dans ce document, différents critères ont été définis pour diagnostiquer la franchissabilité de chacun de ces types d'ouvrages par les principales espèces de poissons et de macro-crustacés des départements insulaires d'outre-mer. Une partie spécifique a été consacrée aux anguilles, aux *Sicydiinae* et aux macro-crustacés, afin de prendre en compte leurs capacités de franchissement particulières respectives de reptation, de ventousage et de marche.

Les prochains chapitres s'articulent autour de ces différentes notions en déclinant les critères évalués et la méthode d'évaluation.

**N.B.** La méthode ICE pour la métropole propose un pré-diagnostic du fonctionnement des dispositifs de franchissement. Dans les milieux insulaires, très peu d'obstacles sont équipés avec ce type de d'éléments (environ une vingtaine cumulée sur l'ensemble des départements concernés). Au vu du faible retour d'expériences, et du fait que les dispositifs existants ont été réalisés en ne prenant en compte que quelques espèces (exemple : *Gobiidae* à La Réunion), il apparaît **peu pertinent de fournir ici des critères simples permettant d'aboutir à un pré-diagnostic équivalent.**

**N.B.** L'objectif principal de la démarche ICE étant de diagnostiquer la franchissabilité au niveau d'obstacles anthropiques, **il est important d'essayer de prendre en compte tous les types d'obstacles** dans son adaptation en outre-mer.

Ainsi, dans une logique de restauration de la continuité à l'échelle d'un cours d'eau, le franchissement au niveau des pêcheries devra nécessairement être pris en compte de façon à établir le cadre et les limites de la restauration des obstacles situés plus en amont.

**Cependant, compte tenu du manque de connaissances scientifiques sur l'impact direct ou indirect de la pêche, le diagnostic de ce type d'obstacle ne sera pas pris en compte dans le cadre du présent guide.**

Pour évaluer le taux réel de franchissement au droit des pêcheries, il faudra, entre autres, caractériser la part du flux de poisson capturée, ainsi que la sélectivité opérée par la pêche (sur la taille des individus, sur leur origine...) et ses conséquences sur les populations d'adultes en amont, ainsi que sur le fonctionnement écologique du cours d'eau. **Une expertise dédiée, menée par des techniciens spécialisés, s'impose alors.**

## Le diagnostic des obstacles à la dévalaison : recours à l'expertise

### ■ Problématique générale

La migration de dévalaison, c'est-à-dire la migration de l'amont vers l'aval, peut concerner différents stades biologiques suivant les espèces ciblées, à savoir notamment :

- les stades œuf, larve ou embryon-libre pour les espèces amphidrome (macro-crustacés indigènes, *Gobiidae*, *Eleotridae*...) ;
- les adultes pour certains macro-crustacés (ex. : *Macrobrachium spp.*) ;
- les adultes d'espèces thalassotoques avant la reproduction (*Anguillidae*, *Kuhliidae*).

Au cours de leur migration de dévalaison, ces individus peuvent être confrontés à divers problèmes au niveau des ouvrages : modification de la qualité des eaux, exposition aux prédateurs dans les retenues, retard de migration, chute lors du transit par les déversoirs et évacuateurs de crues, transit dans les turbines des centrales hydroélectriques, entraînement dans les prises d'eau agricoles avec éventuellement passage au travers de systèmes de pompes etc.

### ■ Dispositifs permettant de limiter les impacts

Différentes solutions techniques ont été testées plus ou moins récemment, principalement en Europe et en Amérique du Nord, pour éviter ou limiter les dommages subis par les poissons dévalants au niveau de différents types d'aménagements.



L'état de la technique et le retour d'expériences concernant les espèces des milieux insulaires ultramarins sont beaucoup moins avancés, mais les premières études ou projets menés depuis près d'une dizaine d'années permettent toutefois de disposer d'éléments techniques.

Parmi les principales solutions techniques envisageables, on peut citer :

- la mise en place de plans de grilles fines associés à un ou plusieurs exutoire(s) : solution adaptée notamment à la dévalaison des individus les plus gros (anguilles, *Kuhliidae*, *Macrobrachium* adultes) ;
- l'arrêt ou la réduction du prélèvement aux périodes de migration : solution adaptée notamment à la dévalaison des jeunes stades (œufs, embryons-libres, larves) ;
- l'installation de turbines « ichtyocompatibles » n'induisant pas de dommage : ce type de turbines est dédié aux faibles chutes, ce qui rend leur installation peu adaptée aux hauteurs de chutes exploitées dans les îles d'outre-mer.

De façon générale, l'efficacité des barrières comportementales (écrans lumineux, sonores, électriques, à bulles...) s'est révélée très décevante sur les espèces de milieux tempérés ou tropicaux et ne permet pas en l'état actuel d'assurer des efficacités suffisantes pour préconiser ce type de solutions. Fièvet *et al.* (2000) semblent montrer toutefois que la lumière a un effet répulsif sur les macro-crustacés adultes et juvéniles, mais elle aurait par contre un effet attractif pour les larves.

Comme pour les dispositifs de franchissement dédiés à la montaison, les aménagements visant à garantir la dévalaison des espèces doivent être déterminés au cas par cas, être adaptés aux spécificités des installations et prendre en compte les caractéristiques morphologiques et les comportements migratoires des individus de l'espèce ou des espèces ciblées.

Pour plus de détails sur la conception et le dimensionnement d'installations visant à réduire les dommages à la dévalaison, le lecteur pourra se référer notamment à des guides techniques généralistes (Larinier *et al.*, 1994 ; Larinier et Travade, 1999, 2002, 2006 ; Courret et Larinier, 2008).

Sur la base des connaissances techniques et biologiques actuelles, Antea - Ocea Consult' - Hydrétudes - Ecogea (2011) ont rédigé pour la Deal de La Réunion une note synthétique visant à décrire les différentes solutions pouvant potentiellement être mises en place pour réduire les impacts des prises d'eau sur les organismes dévalants.

### ■ Expertise visant à diagnostiquer un ouvrage

Dans le cas d'un aménagement de dérivation hydroélectrique par exemple (Figure 25 page 54), en fonction des débits respectifs transitant par les ouvrages évacuateurs et dans le canal d'amenée, de la configuration du barrage et de l'ouvrage de prise, une partie des individus dévalants transite par les ouvrages évacuateurs (déversoirs, vannes, clapets...) et l'autre est entraînée dans le canal d'amenée jusqu'à la centrale.

Lorsqu'un dispositif de franchissement permettant la dévalaison des poissons existe au niveau de la prise d'eau de la centrale, un certain pourcentage d'individus emprunte ce dispositif et rejoint sans dommage le cours d'eau, le reste transitant par les turbines de la centrale. Suivant les caractéristiques des turbines et la morphologie (principalement la taille) des individus, ceux-ci subissent un pourcentage de mortalité plus ou moins important.

Les individus ayant survécu rejoignent ensuite ceux qui ont transité (le plus souvent sans dommage) par les ouvrages évacuateurs au barrage et/ou par le dispositif de dévalaison et continuent leur migration vers l'aval.

L'appréciation de l'impact potentiel global d'une prise d'eau sur la dévalaison nécessite donc un certain degré d'expertise, qui doit s'appuyer sur les études existantes mais aussi sur une bonne connaissance du fonctionnement des installations, de l'hydrologie du cours d'eau, de la répartition des débits au droit du site et de la cinétique de dévalaison des espèces considérées.

**L'appréciation de l'impact potentiel global d'un ouvrage à la dévalaison suppose généralement de déterminer, sur un site donné :**

- la répartition des passages des individus dévalants au niveau de la prise d'eau, en fonction des débits en période de migration, du débit prélevé et de la configuration de l'aménagement (barrage, prise d'eau) ;

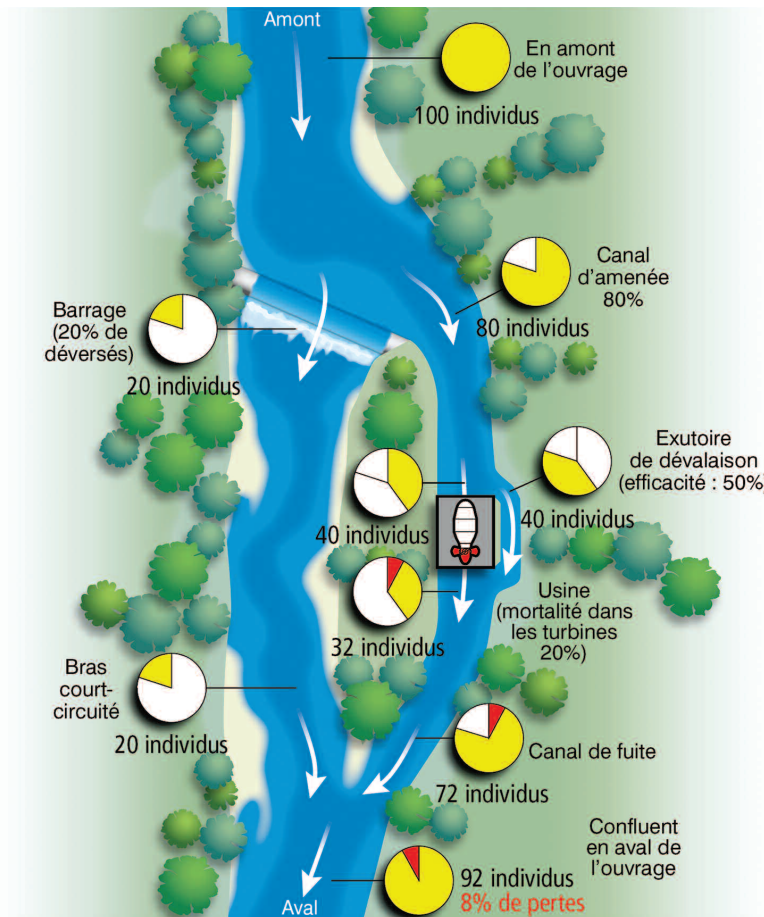
■ les dommages potentiels subis en fonction :

- du type et des caractéristiques des installations hydromécaniques équipant l'aménagement (turbines, pompes...),
- et des caractéristiques morphologiques (principalement la taille) des espèces ;

■ la perméabilité des grilles de prise d'eau (avant tout liée à leur espacement) et de l'efficacité des exutoires de dévalaison lorsqu'ils existent et qu'ils sont ouverts.

Pour plus de détails sur l'appréciation des effets potentiels d'un ouvrage ou cumulés d'ouvrages sur un axe de migration, le lecteur pourra se référer au guide méthodologique établi pour la métropole (Baudoin et al., 2014).

Figure 25



© Graphies pour AFB

Schéma type d'un aménagement hydroélectrique en dérivation et principe de la modélisation de ses impacts sur la survie d'organismes dévalant. D'après Voegtli et Larinier, 2004 et modifié par Baudoin et al., 2014

**A**ttention. Dans le cadre de la méthode ICE, au regard de la complexité des mécanismes de dévalaison et de la nécessité d'avoir une bonne connaissance de l'hydrologie du cours d'eau, des modalités de prélèvement, des caractéristiques des installations et des cinétiques de dévalaison des espèces concernées, il a été décidé, comme dans le cadre de la méthodologie développée en métropole, de ne pas définir de critères destinés à appréhender la franchissabilité des ouvrages à la dévalaison. Une expertise dédiée, menée par des techniciens spécialisés, s'impose alors.

Dans tous les cas, des études de recherche et développement doivent être menées pour acquérir des informations sur les rythmes migratoires et les *stimuli* déclenchant les migrations et le comportement des espèces, aux différents stades, au niveau des obstacles.







## Définition des groupes d'espèces

### Présentation des groupes d'espèces

Pour répondre aux objectifs de la méthode ICE, **les différentes espèces de poissons et de macro-crustacés ont été regroupées en fonction de leurs capacités de franchissement** (voir la section consacrée aux capacités de franchissement des poissons et macro-crustacés). Compte tenu d'un faible niveau de connaissance et de retour d'expérience sur ces espèces, l'approche est volontairement simplifiée et peut aboutir au regroupement d'espèces présentant des caractéristiques (éco-éthologiques ou morphologiques) sensiblement différentes.

**A**ttention. Les groupes et sous-groupes proposés ci-après ne tiennent pas compte de l'intérêt des espèces à franchir un obstacle. Ainsi, au sein d'un même sous-groupe, toute ou partie des espèces peuvent être amenées à tenter, ou non, le franchissement d'un obstacle en fonction de leurs préférences écologiques (c.-à-d. en fonction de la position de l'obstacle au sein de la mosaïque d'habitats nécessaires à l'espèce).

Au final, **5 groupes d'espèces ont été définis** avec certaines subdivisions en sous-groupes. La classification des espèces en différents groupes est décrite ci-après et présentée synthétiquement sous forme de tableaux en fin de chapitre (Tableaux 8 et 9 pages 66 et 67).

Pour chaque groupe ou sous-groupe de poissons, les vitesses maximales de nage associées  $U_{\max}$  ont été déterminées à partir notamment des formules de Videler (1993), d'études expérimentales ciblées sur le franchissement et d'observations visuelles de poissons menées lors de franchissements d'obstacles *in situ*.

Les tirants d'eau minimums nécessaires aux différents groupe d'espèces pour nager ont été appréciés à partir du facteur de forme (k) des individus et en considérant globalement une hauteur minimale d'eau ( $h_{\min}$ ) voisine de 1,5 fois la hauteur moyenne des individus (voir chapitre relatif aux capacités de franchissement des poissons et des macro-crustacés de la partie « Continuité écologique, ichtyofaune et carcinofaune »).

**N.B.** Dans le cadre de cette méthodologie, la volonté a été de ne pas multiplier excessivement le nombre de groupes. Cependant, la violence des crues dans ces territoires provoque des dévalaisons forcées d'individus de tous stades, créant ainsi *a posteriori* un besoin de recolonisation vers l'amont pour tous les stades présents en eau douce.

Ainsi, toutes les espèces sont susceptibles de se déplacer et de franchir des obstacles à des stades assez variés (du stade juvénile au stade adulte).

#### ■ Premier groupe : poissons sans adaptation morphologique particulière pour le franchissement

Le groupe 1 est constitué de 21 petites espèces, plutôt benthiques, qui peuvent nager très près du fond et profiter alors des plus faibles vitesses de courant : *Eleotridae*, *Gobiidae* (Figure 26 page 56).



Espèces du premier groupe.

(a) Cabot noir (*Eleotris klunzingerii*), (b) Loche des sables (*Awaous commersoni*), (c) Cabot rayé (*Stenogobius polyzona*), (d) *Eleotris cyprin* (*Hypseleotris cyprinoides*).

Ces espèces se déplacent par nage en « bonds » successifs sur le fond du lit, d'un abri à l'autre. Elles sont inféodées aux zones aval des cours d'eau. Elles ne possèdent pas de capacités particulières de franchissement (ni ventousage, ni reptation, ni saut).

Aux stades post-larve et juvénile, ces espèces peuvent toutefois progresser sur des parois verticales par escalade en utilisant la tension superficielle, ce qui leur confère des capacités singulières de franchissement.

Ainsi, au regard des différences de capacités de franchissement par escalade et par nage selon la taille des individus, le groupe 1 a été divisé en **deux sous-groupes**.

**Le sous-groupe 1a est constitué des stades les plus âgés (adultes et sub-adultes) de ces espèces**, individus de tailles supérieures au sous-groupe 1b, et comprises entre 40 et 150 mm environ.

Pour prendre en compte le comportement benthique des espèces du groupe 1a, **il a été retenu pour l'ensemble du sous-groupe 1a un tirant d'eau minimal ( $h_{\min}$ ) de l'ordre de 5 cm** pour assurer le passage des individus.

L'ensemble de ces espèces a la particularité de pouvoir profiter des couches limites à proximité du fond du cours d'eau, au niveau desquelles les vitesses d'écoulement sont plus faibles. Aussi, pour prendre en compte cette spécificité, et dans la mesure où il est très difficile d'apprécier les vitesses au niveau de la couche limite, il a été retenu pour ce sous-groupe 1a des **vitesse de sprint volontairement surestimées et comprises entre 1,5 et 3,0 m/s** (vitesse de sprint moyenne de l'ordre de 2,25 m/s).

**Le sous-groupe 1b contient les stades post-larvaires et juvéniles des petites espèces benthiques du groupe 1a** dont les individus sont capables, à ces stades, d'utiliser les forces de tension superficielle dans des zones humides en bordure d'écoulement pour franchir des obstacles sub-verticaux.

Des individus de *Eleotris klunzingerii* et *Awaous commersoni* ont été observés en franchissement et/ou en amont d'obstacles naturels sub-verticaux de plusieurs mètres (rivière Langevin à La Réunion et rivière Bouyouni à Mayotte). Pour *Awaous*, les nageoires pectorales forment une ventouse « imparfaite », qui aide les individus lors du franchissement (Blob et al., 2006).



Au vu de leur taille (comprise entre 15 et 50 mm) et de leur morphologie, leurs capacités de nage sont forcément faibles, même s'il n'existe pas à ce jour d'études à ce propos. Aussi, **il a été retenu des vitesses de sprint  $U_{max}$  comprises entre 0,5 et 1,5 m/s (1,0 m/s en moyenne pour ces jeunes stades).**

Suite à des observations visuelles d'individus en progression (Valade et Voegtli, *obs. pers.*), il semble que leur **capacité d'escalade** (utilisation de la tension superficielle) **ne peut pleinement s'exprimer que pour un tirant d'eau maximal de l'ordre de 1 cm. Au-delà de cette valeur, il sera considéré que la lame d'eau est suffisante pour que ces petits stades utilisent la nage comme mode de progression.**

#### ■ Deuxième groupe : poissons ayant des aptitudes au saut

Ce groupe est constitué de deux genres regroupant 5 espèces : les mulets d'eau douce *Agonostomus telfairii*, *Agonostomus monticola* et *Agonostomus catalai* et les poissons plats *Kuhlia rupestris* et *Kuhlia sauvagii* (Figure 27).

Figure 27



a, d © P. Valade (Ocea Consult)  
b © B. Voegtli (Ecogea)  
c © P. Hoarau (Ocea Consult)

#### Espèces du deuxième groupe

(a) Adulte de mullet (*Agonostomus* spp.) dans les rivières de La Réunion, (b) Juvénile de mullet de montagne (*Agonostomus monticola*), (c) Poisson plat (*Kuhlia rupestris*), (d) Poisson plat (*Kuhlia sauvagii*).

Les adultes de *Kuhlia* effectuent des migrations de dévalaison en mer pour se reproduire et recolonisent ensuite la rivière pour poursuivre leur développement. Les mulets d'eau douce, quant à eux, sont ici considérés comme des espèces amphidromes et se reproduisent en rivière (statut migratoire encore controversé selon les auteurs, voir la section consacrée aux différents types de migrateurs). Toutefois, des déplacements d'adultes de mulets au sein du bassin versant surviennent à la suite des crues cycloniques ; les individus ayant dévalé au cours de la crue migrent ensuite vers l'amont pour recoloniser les habitats laissés vides (Smith et Kwak, 2014a).

De par leurs morphologies respectives, les *Kuhlia* et les *Agonostomus* ne semblent pas présenter *a priori* des capacités de saut identiques. Les capacités de saut ont été observées chez *Agonostomus monticola* pour des juvéniles (Martinique / Guadeloupe, 2013, individus de longueur totale ( $L_p$ ) entre 40 et 100 mm, Voegtli et Valade, *obs. pers.*) ainsi que pour des adultes (La Réunion, 2008,  $L_p$  entre 150 et 200 mm, Voegtli et Valade,

obs. pers.). Des observations complémentaires menées en Guadeloupe en 2014 et 2017 sur les prises d'eau de la Barthe (commune de Vieux-Habitants) ou de Moreau (commune de Goyave), et sur le gué de Ravine Chaude ont permis de noter des sauts de 30 à 70 cm pour des poissons de taille estimée entre 10 et 30 cm (Robert, 2015).

Pour les *Kuhlia*, aucune tentative de franchissement par saut n'a été rapportée dans les territoires concernés, mais la morphologie de ces espèces laisse à penser qu'elles sont capables de sauter. Des opérations de repeuplements menés en Australie ont également mis en évidence des déplacements de *Kuhlia rupestris* en amont de petits cassés, mais sans apporter d'observations directes sur les conditions de franchissement des poissons (Marsden, 2016). En captivité, *Kuhlia rupestris* possède de très fortes capacités de saut, nécessitant des dispositions particulières pour son confinement (Hutchison et al., 2016).

Compte tenu des caractéristiques des deux genres inclus dans ce groupe 2 et des variabilités de tailles observées au cours des phases migratoires, 4 sous-groupes ont été établis, divisant les 2 genres en fonction du stade de développement.

**Le sous-groupe 2a comprend les subadultes et adultes de mulets d'eau douce (*Agonostomus*)** ayant dévalé lors de crues cycloniques et qui peuvent alors être amenés à franchir des obstacles pour recoloniser certains tronçons de cours d'eau. Ces individus peuvent avoir des tailles variées ; une fourchette large de 100 à 250 mm est proposée ici pour englober les différents stades de développement.

Ces poissons sont de très bons sauteurs et de très bons nageurs et peuvent franchir, dans certaines configurations, des chutes dépassant un mètre.

**Il a été retenu des vitesses de sprint  $U_{max}$  comprises entre 3,0 et 6,0 m/s (moyenne de 4,5 m/s)**, ce qui semble être en accord avec les vitesses de sprint du mulot cabot *Mugil cephalus* (de l'ordre de 4 m/s pour des poissons d'une vingtaine de centimètres d'après FishBase).

**Pour ce sous-groupe, le tirant d'eau minimal ( $h_{min}$ ) retenu pour assurer le franchissement des individus par la nage est de l'ordre de 5 cm.**

**Le sous-groupe 2b comprend les juvéniles de mulets d'eau douce (*Agonostomus*)** qui colonisent les habitats de rivière à l'issue de la phase larvaire marine. Ces juvéniles ont une taille moyenne comprise entre 25 et 40 mm à proximité de l'embouchure. La classe de taille de ce sous-groupe peut être étendue jusqu'à 100 mm de façon à intégrer les juvéniles sur l'ensemble de leur phase principale de colonisation de la rivière.

**Il a été retenu des vitesses de sprint  $U_{max}$  comprises entre 2,0 et 3,0 m/s (moyenne de 2,5 m/s).**

**Pour ce sous-groupe, le tirant d'eau minimal ( $h_{min}$ ) pour assurer le franchissement par nage des individus est de l'ordre de 5 cm également.**

**Le sous-groupe 2c comprend les subadultes et adultes de poissons plats (*Kuhlia*)**, qui recolonisent la rivière suite à une reproduction en mer. Pour ces individus, la taille minimale à maturité est supérieure à 170 mm pour les mâles et 250 mm pour les femelles (Hogan et Nicholson, 1987). La taille maximale connue pour cette espèce est de 450 mm pour un poids de 2,7 à 3 kg, et sa hauteur est comprise entre 33 et 38% de sa longueur standard (Merrick et al., 1984 ; Randall et al., 2001 dans Pusey et al., 2004).

**Il a été retenu des vitesses de sprint  $U_{max}$  comprises entre 2,5 et 6,0 m/s (moyenne de 4,25 m/s).**

**Pour ce sous-groupe, en considérant un individu d'une longueur de 25 cm, le tirant d'eau minimal ( $h_{min}$ ) pour assurer le franchissement par la nage est de l'ordre de 10 cm.**

**Le sous-groupe 2d comprend les juvéniles de poissons plats (*Kuhlia*)**, qui colonisent les cours d'eau à l'issue de leur phase marine larvaire. Ces juvéniles ont une taille moyenne de 20 à 35 mm à proximité de l'embouchure. La classe de taille de ce sous-groupe peut être étendue jusqu'à 100 mm, de façon à intégrer les juvéniles au cours de l'ensemble de leur phase de colonisation de la rivière.



Il a été retenu des vitesses de sprint  $U_{\max}$  comprises entre 1,0 et 2,5 m/s (moyenne de 1,75 m/s).

Pour ce sous-groupe, le tirant d'eau minimal ( $h_{\min}$ ) pour assurer le franchissement des individus par la nage est de l'ordre de 5 cm.

### ■ Troisième groupe : poissons ayant des aptitudes de reptation

Ce groupe est constitué des 5 espèces d'anguilles présentes dans les Drom insulaires.

Comme signalé au chapitre relatif aux capacités de franchissement des poissons et des macro-crustacés, **les anguilles sont à considérer différemment des autres espèces** en raison notamment de leurs aptitudes à franchir des barrières physiques par reptation sur des surfaces mouillées.

**Leurs capacités de nage sont faibles en comparaison d'individus d'autres espèces présentant des tailles comparables.** Pour les civelles, les vitesses maximales de nage sont de l'ordre de 30-50 cm/s. Pour les plus grands individus, ces vitesses sont inférieures à 2 m/s.

En revanche, **les anguilles ont de très fortes capacités de reptation** qui, associées à une capacité temporaire de respiration aérienne en contexte très humide, lui permettent de franchir des barrières physiques de hauteur importante, mais à faible charge (faible vitesse / hauteur d'eau). En complément, les plus jeunes individus sont capables de se déplacer sur des surfaces verticales humides en utilisant les forces de tension superficielles créées entre leur corps et la paroi (forces proportionnelles à la surface de contact). Au cours de la croissance du poisson, le rapport entre cette force de tension et le poids diminue jusqu'à ne plus permettre le maintien vertical de l'individu. Ainsi, seuls les petits individus (de taille inférieure à une douzaine de cm) sont réellement capables de franchir des obstacles verticaux ou subverticaux.

Certaines espèces d'anguilles tropicales atteignent des tailles et des poids nettement supérieurs à ceux de l'anguille européenne, qui a servi de référence dans la méthodologie développée en métropole. En particulier, l'anguille marbrée *Anguilla marmorata* ou *giant mottled eel* peut atteindre une taille de 2 m de long (Keith *et al.*, 2006). À Mayotte, par exemple, des individus de plus de 700 mm et 1 kg sont assez régulièrement observés ; ils représentent 8 % des individus capturés en 2014 dans le cadre du réseau de contrôle de surveillance - RCS (Ocea Consult', 2014).

**Enfin, l'anguille ne possède pas de capacité de saut.**

Ainsi, au regard des différences de capacités de franchissement par reptation et par nage selon la taille des individus, le groupe 3 a été divisé en trois sous-groupes en fonction des stades de développement (Figure 28 page 60).

**Le sous-groupe 3a correspond aux stades « jaunes » d'anguilles marbrées *Anguilla marmorata*, et aux adultes des autres espèces** qui se déplaceraient au sein du cours d'eau pour recoloniser des habitats suite à une période de crue ou de sécheresse intense (individus de **taille supérieure à 500 mm**). Ces individus présentent un poids important et une forte puissance musculaire liée à une taille imposante.

**Le sous-groupe 3b correspondant aux anguilles « jaunes » de taille comprise entre 100 et 500 mm**, toutes espèces confondues.

**Le sous-groupe 3c correspond aux plus jeunes stades (individus de taille inférieure à une dizaine de centimètres, correspondant globalement au stade civelle).** À noter ici que les civelles des anguilles tropicales pénètrent dans les hydrosystèmes à des tailles légèrement inférieures à celles de l'anguille européenne, ce qui leur confère des capacités de franchissement supérieures à celle-ci lors des premières semaines de développement en rivière (ratio tension superficielle / poids plus favorable). **Au vu de ses capacités de nage, il peut être considéré que tout ouvrage présentant une chute constitue un obstacle majeur pour ce sous-groupe, dès lors que celui-ci doit franchir l'ouvrage par la nage.**

En l'absence de connaissances spécifiques aux taxons tropicaux, les performances des anguilles européennes servent ici de référence. Il a été retenu pour les anguilles des vitesses de sprint  $U_{max}$  de l'ordre de 2,0 m/s pour le sous-groupe 3a, de 1,5 m/s pour le sous-groupe 3b et de 0,5 m/s pour les plus jeunes stades du sous-groupe 3c.

Bien qu'elles utilisent généralement leurs capacités de respiration cutanée et de reptation pour franchir les obstacles, il est possible toutefois de penser que la capacité de reptation des anguilles ne peut pleinement s'exprimer que pour un tirant d'eau maximal de l'ordre de 2 cm. Au-delà de cette valeur, il sera considéré que la lame d'eau est suffisante pour assurer la nage des anguillettes (sous-groupe 3b). Il sera en revanche considéré, pour les gros sujets (sous-groupe 3a), qu'un tirant d'eau de l'ordre de 5 cm est nécessaire pour un franchissement par la nage.

Figure 28



a, b, c, d © P. Valade (Ocea Consult')

Les trois stades d'anguilles définissant le troisième groupe.  
 (a) Anguille marbrée de plus de 500 mm (sous-groupe 3a), (b) Anguille du Mozambique (*Anguilla mossambica*, sous-groupe 3b), (c) *Civelles translucides* (*Anguilla* spp., sous-groupe 3c), (d) Anguilllette pigmentée (*Anguilla* spp., sous-groupe 3c).

#### ■ Quatrième groupe : poissons ayant des capacités de ventousage

Le groupe 4 est constitué par les espèces de *Gobiidae Sicydiinae* dont les nageoires ventrales sont soudées et forment une ventouse (Figure 29). Cette particularité permet aux poissons de franchir des parois abruptes en s'aidant également de leur bouche comme *Sicyopterus lagocephalus*, ou de leurs nageoires pectorales comme *Cotylopus acutipinnis* (Voegtli et al., 2002 ; Schoenfuss et Blob, 2003).

Les capacités de franchissement de ces espèces sont très importantes pour les juvéniles, qui peuvent franchir des parois verticales voire en surplomb. À la défaveur du poids, les individus adultes ont des capacités de franchissement plus faibles, qui se traduisent par des pentes et/ou longueurs de franchissement plus limitées (Voegtli et al., 2002).

Compte tenu de ces caractéristiques, deux sous-groupes sont proposés.

**Le sous-groupe 4a représente les subadultes ou adultes de *Sicydiinae*.** La taille des individus concernés est comprise entre 40 et 150 mm.



L'ensemble des individus de ces espèces a la particularité de pouvoir profiter des couches limites à proximité du fond du cours d'eau, au niveau desquelles les vitesses d'écoulement sont plus faibles. De plus, les *Sicydiinae* ont également une capacité particulière à franchir les obstacles par nage selon un principe de *burst and attach* qui consiste en une alternance de nage en vitesse de sprint et d'accrochage au substrat avec leur ventouse.

Il a été retenu pour ce sous-groupe 4a des vitesses de sprint  $U_{max}$  comprises entre 2,0 et 4,5 m/s (vitesse moyenne de l'ordre de 3,25 m/s).

Pour l'ensemble du sous-groupe 4a, il a été retenu un tirant d'eau minimal ( $h_{min}$ ) de l'ordre de 5 cm pour assurer le passage des individus par la nage.

Le sous-groupe 4b représente les post-larves et juvéniles de *Sicydiinae*. En fonction des espèces, la taille des individus concernés varie entre 15 et 40 mm. Les possibilités de franchissement de ces individus seront étudiées en fonction de la présence et de la disposition des supports humides pouvant être utilisés pour le franchissement de l'obstacle.

Au vu de leur faible taille et de leur morphologie, les capacités de nage des individus de ce sous-groupe sont *a priori* limitées, même s'il n'existe pas à ce jour d'études à ce sujet. **Aussi, il a été retenu, comme pour le sous-groupe 1b, des vitesses de sprint  $U_{max}$  comprises entre 0,5 et 1,5 m/s (1,0 m/s en moyenne pour ces jeunes stades).**

Il a été retenu pour l'ensemble du sous-groupe 4b un tirant d'eau minimal ( $h_{min}$ ) de l'ordre de 1 cm pour assurer le franchissement des individus par la nage.

Figure 29



a, c, d © P. Valade (Ocea Consult)  
b © A. Collet (Ocea Consult)

Espèces du quatrième groupe.

(a) Sous groupe 4a - Cabot bouche-ronde, *Sicyopterus lagocephalus*, espèces Indo-Pacifique, (b) Sous groupe 4a - Cabot rubis, *Cotylopus rubripinnis*, espèce endémique de l'archipel des Comores, (c) Sous groupe 4a - Cabot bouche-ronde, *Cotylopus acutipinnis*, espèce endémique de l'archipel des Mascareignes, (d) Sous groupe 4b - juvéniles de bouches-rondes *S. lagocephalus* (plus gros individu -  $L_p \sim 32$  mm) et de *C. acutipinnis* (plus petit individu -  $L_p \sim 21$  mm) une semaine après leur recrutement en eau douce.

**N.B.** Au vu des observations visuelles *in situ* d'individus en progression et des travaux menés par Voegtli et al. (2002) et Lagarde et al. (2016), il sera retenu que les capacités de ventousage des individus du 4<sup>e</sup> groupe ne peuvent pleinement s'exprimer que pour un tirant d'eau maximal de l'ordre de 1 cm, quel que soit le stade.

## ■ Cinquième groupe : les macro-crustacés décapodes

Le groupe 5 est spécifique aux macro-crustacés décapodes (Figure 30). Ces derniers ont de faibles capacités de nage ou de saut, mais ils possèdent de très fortes capacités de franchissement par marche grâce aux 5 paires de pattes (périopodes) dont ils disposent, bien qu'ils n'en utilisent que 3 paires (P3, P4 et P5) pour se déplacer.

Des capacités de saut à la surface de l'eau (en « ricochets ») ont également été observées chez *Xiphocaris elongata*, pour franchir une zone de fort courant (Fièvet *et al.*, 1998 ; Fièvet, 1999a ; Monti, *com. pers.*).

Les capacités de franchissement peuvent diminuer avec l'augmentation de la taille des individus. Pour les petites espèces des familles des *Atyidae* ou des *Xiphocarididae*, la faible taille des individus adultes n'entraîne pas de diminution significative de leurs capacités de franchissement en comparaison de celle des juvéniles. En revanche, pour les espèces du genre *Macrobrachium*, les tailles et les poids relativement élevés des adultes à maturité, jusqu'à plus de 30 grammes pour *Macrobrachium lar* (Sethi *et al.*, 2012 ; Ocea Consult', 2014a) peuvent diminuer les capacités de franchissement sur des parois verticales ou subverticales, même si ces individus peuvent utiliser leurs périopodes P1 (pinces parfois puissantes) pour s'agripper (Fièvet, 1999b).

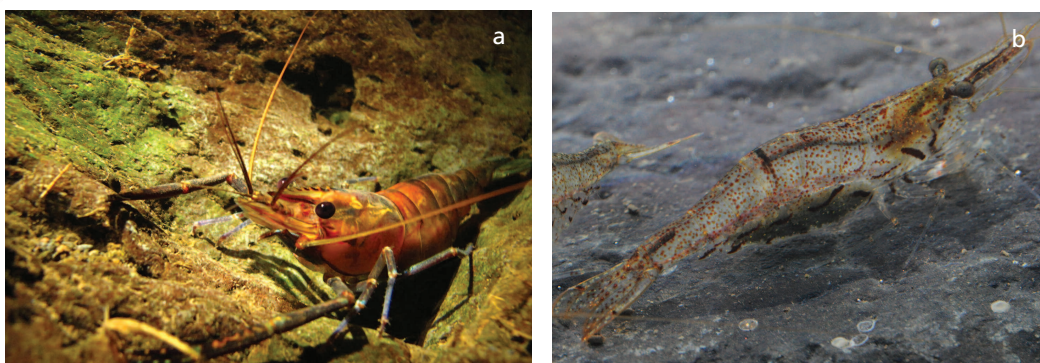
Ces capacités de franchissement ne trouvent pratiquement pas de limite en milieu naturel (Ocea et Antea, 2013), hormis les zones d'assec ou la colonisation des zones amont pour les individus ayant déjà atteint une taille limite pour le franchissement vertical. Chez les macro-crustacés, la répartition longitudinale naturelle des individus sera donc principalement établie par rapport aux exigences écologiques (préférences d'habitat, alimentation, préférence thermique, tolérance à l'hypoxie...).

Deux sous-groupes ont été établis.

**Le sous-groupe 5a correspond aux adultes des espèces du genre *Macrobrachium*.** La taille des individus à maturité se situe au-dessus de 40 à 60 mm (Sethi *et al.*, 2014 ; Ocea Consult', 2014b ; Hoarau *et al.*, 2018). Ils possèdent de fortes capacités de franchissement sur des voies humides. Les espèces de crabes d'eau douce amphidromes (*Grapsidae*) sont également associées à ce sous-groupe.

**Le sous-groupe 5b correspond aux espèces d'*Atyidae*, de *Xiphocarididae* ainsi qu'aux juvéniles du groupe 5a.** Ces individus possèdent des capacités de franchissement supérieures à celles des individus du sous-groupe 5a pour le franchissement de parois humides verticales voire en surplomb (Fièvet, 2000).

Figure 30



Espèces du cinquième groupe.

(a) Camaron (*Macrobrachium lar*, La Réunion) (sous-groupe 5a), (b) Caridine à long rostre (*Caridina longirostris*, Mayotte) (sous-groupe 5b).

a, © P. Valade (Ocea Consult')  
b © A. Collet (Ocea Consult')



## Cas des espèces non mentionnées dans les précédents groupes

Les atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de la Martinique (Lim *et al.*, 2002), de la Guadeloupe (Monti *et al.*, 2010), de La Réunion (Keith *et al.*, 1999), et des Comores, Mascareignes et Seychelles (Keith *et al.*, 2006) renseignent sur l'existence de plusieurs dizaines d'espèces de poissons et de crustacés dans les Drom insulaires.

**Dans un souci de simplification, le choix a été fait de ne prendre en considération dans ce document que les taxons les plus fréquemment observés et à plus fortes valeurs patrimoniales ou économiques.**

**Les espèces vicariantes -- ou supposés comme telles -- sont peu répandues au sein des cours d'eau et n'ont pas été prises en compte au vu des fortes lacunes dans la connaissance de leurs caractéristiques biologiques et de leurs capacités de franchissement.**

Ainsi, les petites espèces pélagiques de la famille des *Ambassidae* (*Ambassis ambassis* et *A. natalensis*) ou des *Syngnathidae* (*Microphis lineatus*, *M. argulus* et *M. brachyurus*), présentes de manière anecdotique ou essentiellement dans les parties très basses des cours d'eau, n'ont pas été intégrées.

De même, les deux espèces de tarpon (*Megalops atlanticus* et *M. cyprinoides*), qui migrent aux stades juvéniles jusqu'à plusieurs centaines de mètres en amont des embouchures, n'ont pas été prises en compte.

Les deux espèces euryhalines de brochet (*Centropomus ensiferus* et *C. undecimalis*), présentes anecdotiquement dans certaines parties basses des cours d'eau de la Martinique n'ont pas non plus été intégrées.

Le crabe *Guinotia dentata* (cirrique des rivières), bien qu'inféodé aux milieux aquatiques, est capable de se rencontrer jusqu'à plusieurs dizaines de mètres des cours d'eau. Ses capacités de déplacement par voie terrestre ont conduit à ne pas le prendre en considération dans la démarche.

**De plus, seules les espèces indigènes ont été prises en compte.** Globalement, l'introduction d'espèces en milieu insulaire peut induire de graves perturbations écologiques, en provoquant potentiellement une diminution voire une disparition d'espèces indigènes (compétition trophique et spatiale, prédation, dégradation de l'habitat). L'établissement d'un diagnostic de la franchissabilité des ouvrages pour ces espèces en vue de proposer de potentielles solutions d'amélioration n'est donc pas approprié.

De ce fait, en ce qui concerne les poissons, le tilapia (*Oreochromis mossambicus*), les *Poeciliidae* (guppy, golomine, gambusie, porte-épée), le gourami (*Osphronemus goramy*), la truite arc en ciel (*Oncorhynchus mykiss*) n'ont pas été pris en compte. Pour les crustacés, la chevette d'élevage (*Macrobrachium rosenbergii*) et l'écrevisse australienne (*Cherax quadricarinatus*) ont été introduites dans les milieux insulaires d'outre-mer mais ne semblent pour l'instant pas acclimatées (gestionnaire de la Réserve naturelle nationale de l'Étang Saint-Paul à La Réunion, *com. pers.*), ne provoquant ainsi actuellement qu'un impact faible ou nul sur les populations de crustacés indigènes.

**Au vu de l'état des connaissances, très limité, de la biologie et des périodes de migration des différents stades de mollusques gastéropodes, ceux-ci n'ont pas été intégrés à la démarche.** À noter toutefois que de nombreux mollusques gastéropodes des îles tropicales ont également un cycle de vie amphidrome (McDowall, 2007). Les migrations de mollusques, et en particulier de néritines, peuvent être ponctuellement massives (Pyron et Covich, 2003 ; Blanco et Scatena, 2007).

**La liste des espèces considérées ainsi que leurs modalités de franchissement et les groupes ICE associés sont présentés dans les tableaux 7 et 8 pages 64 à 66. Le tableau 9 page 67 récapitule plus spécifiquement les capacités de nage et de saut théoriques calculées des espèces de poissons.**

**A**ttention. Ces variables théoriques sont ensuite ajustées lors du diagnostic de la franchissabilité à la montaison (chapitre dédié, page 71), à partir d'observations visuelles menées lors de franchissements d'obstacles *in situ*.

**Tableau 7** Liste des espèces considérées dans le cadre de la présente méthode, territoire concerné, modes de franchissement, tailles et groupes ICE associés

	Familie	Espèce	Nom français (F) / créole (C)	Drom				Mode de franchissement	Stade et/ou taille	Groupe ICE	
				Guadeloupe	Martinique	Mayotte	Réunion				
POISSONS	Anguillidae	<i>Anguilla bengalensis</i>	Anguille marbrée africaine (F) / z'amab, z'anguille (C)			X	X	Nage / Reptation	Lp > 500 mm	3a	
		<i>Anguilla bicolor bicolor</i>	Anguille bicolor (F) / z'amab, z'anguille (C)			X	X	Nage / Reptation	100 mm < Lp < 500 mm	3b	
		<i>Anguilla marmorata</i>	Anguille marbrée (F) / z'amab, z'anguille (C)			X	X	Nage / Reptation / Escalade	Lp < 100 mm	3c	
		<i>Anguilla mossambica</i>	Anguille du Mozambique (F) / z'amab, z'anguille (C)			X	X				
		<i>Anguilla rostrata</i>	Anguille américaine (F) / z'anguille (C)	X	X						
	Eleotridae	<i>Butis butis</i>	Butis à épaulette noire (F)			X	X	Nage	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)	1a	
		<i>Dormitor maculatus</i>	Dormeur (F) / ti-nèg, dormeur (C)	X	X						
		<i>Eleotris amblyopsis</i>	Petit dormeur (F) / pitit dormè (C)	X							
		<i>Eleotris klunzingerii</i>	Éléotris brun (F) / cabot noir (C)			X	X				
		<i>Eleotris mauritiana</i>	Éléotris brun (F) / cabot noir (C)			X	X				
		<i>Eleotris pemiger</i>	Flèche (F) / pitit dormè, flèche (C)	X	X			Nage / Escalade	Juvénile (Lp < 40 mm)	1b	
		<i>Gobiomorus dormitor</i>	Dormeur (F) / grand dormeur, dormeur (C)	X	X						
		<i>Guavina guavina</i>	Dormeur (F) (C)		X						
		<i>Hypseleotris cyprinoides</i>	Éléotris cyprin (F)			X	X				
		<i>Ophieleotris cf aporos</i>	Éléotris serpent (F)			X					
	<i>Ophiocara porocephala</i>	Éléotris à tête poreuse (F) / makanbale latet ron (C)			X						
	Gobiesocidae	<i>Gobiesox nudus</i>	Colle-roche (F) / têtard, macouba, colle-roche (C)	X	X			Nage / Ventousage	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)	4a	
			Juvénile (Lp < 40 mm)						4b		
	Gobiidae	<i>Awaous banana</i>	Jolpot (F) / jolpot, loche (C)	X	X			Nage	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)	1a	
		<i>Awaous commersoni</i>	Loche des sables (F) / loche, cabot (C)			X	X				
		<i>Ctenogobius pseudofasciatus</i>	-		X						
		<i>Glossogobius callidus</i>	Gobie comorien (F)			X					
		<i>Glossogobius giurus</i>	Gobie giurus (F) / loche (C)			X	X				
		<i>Glossogobius kokius</i>	Gobie kokou (F) / loche, cabot (C)				X	Nage / Escalade	Juvénile (Lp < 40 mm)	1b	
		<i>Mugilogobius mertoni</i>	Gobi millet (C)			X					
		<i>Redigobius balteatus</i>	Gobie drapeau (F)			X					
		<i>Redigobius bikolanus</i>	Gobi tase (C)			X					
		<i>Stenogobius polyzona</i>	Cabot rayé (F) (C)			X	X				
		<i>Cotylopus acutipinnis</i>	Cabot bouche ronde, bichique (jeune) (F) (C)				X	Nage / Ventousage	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)	4a	
		<i>Cotylopus rubripinnis</i>	Cotylope à nageoires rouges (F)			X					
	<i>Sicydium plumieri</i>	Sicydium de Plumier (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)			X	X					
	<i>Sicydium punctatum</i>	Sicydium ponctué (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)	X	X			Juvénile (Lp < 40 mm)				4b
	<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	Cabot à bec de lièvre, cabot bouche ronde, bichique (jeune) (F) (C)	X	X							
Kuhliidae	<i>Kuhlia rupestris</i>	Kuhlie des rochers (F) /			X	X	Nage / Saut	Subadulte / Adulte (Lp > 100 mm)	2c		
	<i>Kuhlia sauvagii</i>	doule de roche, carpe (C)			X	X		Juvénile (Lp < 100 mm)	2d		
Mugilidae	<i>Agonostomus catalai</i>	Mulet comorien (F)			X		Nage / Saut	Subadulte / Adulte (Lp > 100 mm)	2a		
	<i>Agonostomus monticola</i>	Mulet de montagne (F)	X	X				Juvénile (Lp < 100 mm)	2b		
	<i>Agonostomus telfairii</i>	Mulet enchanteur (F) / chitte (C)			X	X					

**Tableau 7 bis** Liste des espèces considérées dans le cadre de la présente méthode, territoire concerné, modes de franchissement, tailles et groupes ICE associés

	Famille	Espèce	Nom français (F) / créole (C)	Drom				Mode de franchissement	Stade et/ou taille	Groupe ICE
				Guadeloupe	Martinique	Mayotte	Réunion			
CRUSTACÉS	Atyidae	<i>Atya innocous</i>	Crevette (F) / cacador, bouc, grand bouc (C)	X	X			Nage négligeable / Marche	Tout stade	5b
		<i>Atya scabra</i>	Crevette (F) / cacador, bouc, grand bouc (C)	X	X					
		<i>Atyoida serrata</i>	Crevette bouledogue (F) (C)			X	X			
		<i>Caridina longirostris</i>	Caridine à long rostre (F) / chevaquine (C)			X				
		<i>Caridina serratirostris</i>	Caridine serratulée (F) / chevaquine, sevret tas blanc (C)			X	X			
		<i>Caridina typus</i>	Caridine type (F) / chevaquine (C)			X	X			
		<i>Jonga serrei</i>	Crevette (F) / petit bouc (C)	X						
		<i>Micratya poeyi</i>	Crevette (F) / petit bouc (C)	X	X					
		<i>Potimirim glabra</i>	Crevette (F) / petit bouc (C)	X						
		<i>Potimirim potimirim</i>	Crevette (F) / petit bouc (C)	X	X					
	Grapsidae	<i>Sesarmops impressum</i>	Crabe de rivière (C)			X		Nage négligeable / Marche	Subadulte / Adulte	5a
		<i>Varuna litterata</i>	Crabe lisible (F) / crabe de rivière (C)			X	X		Juvenile	5b
	Palaemonidae	<i>Macrobrachium acanthurus</i>	Écrevisse (F) / chevrette, bouquet cannelle (C)	X	X			Nage négligeable / Marche	Subadulte / Adulte	5a
		<i>Macrobrachium australe</i>	Chevrette australe (F) / chevrette grand bras (C)			X	X			
		<i>Macrobrachium carcinus</i>	Écrevisse (F) / ouassou, z'habitant, écrevisse, bouquet pintade (C)	X	X					
		<i>Macrobrachium crenulatum</i>	Écrevisse (F) / queue rouge, queue de madras (C)	X	X					
		<i>Macrobrachium equidens</i>	Crevette à pinces longues (F) / camaron tacheté, kanmaron (C)			X				
		<i>Macrobrachium faustinum</i>	Écrevisse (F) / alexis, gros mordant, écrevisse (C)	X	X					
		<i>Macrobrachium heterochirus</i>	Écrevisse (F) / grand bras, écrevisse (C)	X	X					
<i>Macrobrachium hirtimanus</i>		Chevrette des Mascariens (F) / écrevisse, chevrette lecroc (C) (disparue ?)				?				
<i>Macrobrachium lar</i>		Bouquet singe (F) / chevrette, camaron, kanmaron gran lebra (C)			X	X				
<i>Macrobrachium lepidactylus</i>		Écrevisse bétangue (C)			X	X				
	<i>Palaemon pandaliformis</i>	Crevette transparente (F) / bouquet potitinga (C)	X	X						
Xiphocarididae	<i>Xiphocaris elongata</i>	Crevette (F) / pissette (C)	X	X			Nage négligeable / Marche	Tout stade	5b	

**Tableau 8** Tableau récapitulatif des groupes d'espèces ICE et des modes de franchissement associés

Groupe ICE	Famille	Espèce	Principaux noms français (F) / créole (C)	Mode de franchissement	Stade et/ou taille
1a	<b>Eleotridae</b>	Toutes espèces	Butis, éléotris (F) / cabot noir, dormeur, ti-nèg, flèche (C)	Nage	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)
	<b>Gobiidae hors Sicydiinae</b>	Toutes espèces à l'exception des <i>Sicydiinae</i>	Toutes espèces à l'exception des <i>Sicydiinae</i>		
1b	<b>Eleotridae</b>	Toutes espèces	Butis, éléotris (F) / cabot noir, dormeur, ti-nèg, flèche (C)	Nage / Escalade	Juvénile (Lp < 40 mm)
	<b>Gobiidae hors Sicydiinae</b>	Toutes espèces à l'exception des <i>Sicydiinae</i>	Toutes espèces à l'exception des <i>Sicydiinae</i>		
2a	<b>Mugilidae</b>	Toutes espèces	Mulet (F) / mulet, chitte (C)	Nage / Saut	Subadulte / Adulte (Lp > 100 mm)
2b					Juvénile (Lp < 100 mm)
2c	<b>Kuhliidae</b>	Toutes espèces	Kuhlie des rochers (F) / doule de roche, carpe (C)	Nage / Saut	Subadulte / Adulte (Lp > 100 mm)
2d					Juvénile (Lp < 100 mm)
3a	<b>Anguillidae</b>	Toutes espèces	Anguille (F) / z'amab, z'anguille (C)	Nage / Reptation	Lp > 500 mm
3b					100 mm < Lp < 500 mm
3c				Nage / Reptation / Escalade	Lp < 100 mm
4a	<b>Gobiesocidae</b>	<i>Gobiesox nudus</i>	Colle-roche (F) / tétard, macouba, colle-roche (C)	Nage / Ventousage	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)
	<b>Gobiidae Sicydiinae</b>	<i>Cotylopus acutipinnis</i>	Cabot bouche ronde, bichique jeune (F) (C)		
		<i>Cotylopus rubripinnis</i>	Cotylope à nageoires rouges (F)		
		<i>Sicydium plumieri</i>	Sicydium de Plumier (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)		
4b	<b>Gobiesocidae</b>	<i>Gobiesox nudus</i>	Colle-roche (F) / tétard, macouba, colle-roche (C)	Nage / Ventousage	Juvénile (Lp < 40 mm)
	<b>Gobiidae Sicydiinae</b>	<i>Cotylopus acutipinnis</i>	Cabot bouche ronde, bichique jeune (F) (C)		
		<i>Cotylopus rubripinnis</i>	Cotylope à nageoires rouges (F)		
		<i>Sicydium plumieri</i>	Sicydium de Plumier (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)		
5a	<b>Grapsidae</b>	Toutes espèces	Crabe de rivière (F) (C)	Nage négligeable / Marche	Subadulte / Adulte
	<b>Palaemonidae</b>	Toutes espèces	Bouquet, chevrette, crevette, écrevisse (F) (C)		
5b	<b>Atyidae</b>	Toutes espèces	Bouc, caradine, chevaquine, crevette (F) (C)	Nage négligeable / Marche	Tout stade
	<b>Grapsidae</b>	Toutes espèces	Crabe de rivière (F) (C)		Juvénile
	<b>Palaemonidae</b>	Toutes espèces	Bouquet, chevrette, crevette, écrevisse (F) (C)		Juvénile
	<b>Xiphocarididae</b>	<i>Xiphocaris elongata</i>	Crevette (F) / pissette (C)		Tout stade

**Tableau 9**

Tableau récapitulatif des différents groupes d'espèces de poissons considérés dans le cadre de la présente méthode, et de leurs capacités de nage et de saut théoriques

Groupe ICE	Famille	Espèce	Principaux noms français (F) / créole (C)	Stade et/ou taille	Espèces et/ou stades sauteurs	Tirant d'eau minimum nécessaire pour la nage (h <sub>min</sub> )	V. sprint Umax associée (m/s)			Hauteur de saut associée (m)		
							Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
1a	Eleotridae	Toutes espèces	Butis, éléotris (F) / cabot noir, dormeur, ti-nèg, flèche (C)	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)	Non	0,05 m	1,50	2,25	3,00	-	-	-
	Gobiidae hors Sicydiinae	Toutes espèces à l'exception des Sicydiinae	Toutes espèces à l'exception des Sicydiinae									
1b	Eleotridae	Toutes espèces	Butis, éléotris (F) / cabot noir, dormeur, ti-nèg, flèche (C)	Juvénile (Lp < 40 mm)	Non	0,01 m	0,50	1,00	1,50	-	-	-
	Gobiidae hors Sicydiinae	Toutes espèces à l'exception des Sicydiinae	Toutes espèces à l'exception des Sicydiinae									
2a	Mugilidae	Toutes espèces	Mulet (F) / mulet, chitte (C)	Subadulte / Adulte (Lp > 100 mm)	Oui	0,05 m	3,00	4,50	6,00	0,40	0,90	1,60
2b				Juvénile (Lp < 100 mm)	Oui	0,05 m	2,00	2,50	3,00	0,20	0,30	0,40
2c	Kuhliidae	Toutes espèces	Kuhlie des rochers (F) / doule de roche, carpe (C)	Subadulte / Adulte (Lp > 100 mm)	Oui	0,10 m	2,50	4,25	6,00	0,30	0,90	1,60
2d				Juvénile (Lp < 100 mm)	Oui	0,05 m	1,00	1,75	2,50	0,10	0,20	0,30
3a	Anguillidae	Toutes espèces	Anguille (F) / z'amab, z'anguille (C)	Lp > 500 mm	Non	0,05 m	< 2,00			-	-	-
3b				100 mm < Lp < 500 mm	Non	0,02 m	< 1,50			-	-	-
3c				Lp < 100 mm	Non	-	< 0,50			-	-	-
4a	Gobiesocidae	<i>Gobiesox nudus</i>	Colle-roche (F) / têtard, macouba, colle-roche (C)	Subadulte / Adulte (Lp > 40 mm)	Non	0,05 m	2,00	3,25	4,50	-	-	-
	Gobiidae Sicydiinae	<i>Cotylopus acutipinnis</i>	Cabot bouche ronde, bichique jeune (F) (C)									
		<i>Cotylopus rubripinnis</i>	Cotylope à nageoires rouges (F)									
		<i>Sicydium plumieri</i>	Sicydium de Plumier (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)									
	<i>Sicydium punctatum</i>	Sicydium ponctué (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)										
	<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	Cabot bouche ronde, bichique (jeune) (F) (C)										
4b	Gobiesocidae	<i>Gobiesox nudus</i>	Colle-roche (F) / têtard, macouba, colle-roche (C)	Juvénile (Lp < 40 mm)	Non	0,01 m	0,50	1,00	1,50	-	-	-
	Gobiidae Sicydiinae	<i>Cotylopus acutipinnis</i>	Cabot bouche ronde, bichique jeune (F) (C)									
		<i>Cotylopus rubripinnis</i>	Cotylope à nageoires rouges (F)									
		<i>Sicydium plumieri</i>	Sicydium de Plumier (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)									
	<i>Sicydium punctatum</i>	Sicydium ponctué (F) / colle-roche, loche, titiri (juvénile) (C)										
	<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	Cabot bouche ronde, bichique (jeune) (F) (C)										



## Rappels des définitions des classes de franchissabilité

L'objectif de la méthode ICE est de permettre aux opérateurs de déterminer l'impact potentiel d'une barrière sur la circulation des espèces en utilisant des critères simples, reposant sur la mise en œuvre de moyens humains et matériels légers.

Cette méthode repose sur la confrontation de la géométrie de l'ouvrage et des conditions hydrauliques à son niveau avec les capacités de franchissement des espèces de poissons et macro-crustacés considérées.

Bien que la démarche proposée dans ce guide se veuille la plus logique et la plus rigoureuse possible, elle demeure simplificatrice étant donnés :

- l'état des connaissances sur les capacités de franchissement de certaines espèces ;
- la variabilité des capacités de nage au sein d'une espèce ou d'un groupe d'espèces donné ;
- la complexité géométrique de certains obstacles (pouvant induire une grande hétérogénéité de conditions hydrauliques pour un débit donné) ;
- ainsi que la variabilité des conditions hydrologiques et thermiques en période de migration.

Dans ce contexte, et **comme pour la méthode proposée en France métropolitaine**, il est apparu préférable de raisonner en **cinq classes de franchissabilité**.

**Tout d'abord quatre classes avec indices (0 ; 0,33 ; 0,66 et 1) ont été associées à un code couleur** afin de faciliter la mise en œuvre de la méthodologie et sa compréhension.

Puis, **une classe indéterminée (NC) supplémentaire**, sans indice associé, représente les cas où une expertise plus poussée s'avère nécessaire pour évaluer l'indice de franchissabilité (ouvrages complexes...). Cette classe peut être utilisée dans l'attente d'une éventuelle expertise spécifique ultérieure.

**A**ttention. Les quatre classes de franchissabilité (0 ; 0,33 ; 0,66 et 1) ne doivent en aucun cas être assimilées à des valeurs numériques et des taux de franchissement. Ces chiffres représentent d'avantage la nécessité d'actions de restauration au niveau de l'ouvrage.

La définition des classes de franchissabilité est donnée ci-après. Les critères et la démarche permettant de déterminer les classes de franchissabilité pour chaque type d'obstacle et groupe d'espèces seront détaillés ultérieurement.



### **Barrière totale (Classe ICE = 0) ●**

La barrière est infranchissable pour les individus appartenant aux espèces / stades du groupe considéré et constitue un obstacle total à leur migration.

Il est toutefois possible que, dans des conditions exceptionnelles, l'obstacle se révèle momentanément franchissable pour une fraction de la ou des populations.

### **Barrière partielle à impact majeur (Classe ICE = 0,33) ●**

La barrière représente un obstacle majeur à la migration des individus appartenant aux espèces / stades du groupe considéré.

L'obstacle est infranchissable une grande partie du temps ou pour une proportion très significative de la ou des populations. Le franchissement de l'obstacle à la montaison n'est possible que durant une partie limitée de la période de migration et pour une proportion limitée de la ou des populations du groupe considéré. L'obstacle peut provoquer des retards de migration préjudiciables au bon déroulement du cycle biologique des espèces concernées.

### **Barrière partielle à impact significatif (Classe ICE = 0,66) ●**

La barrière représente un obstacle significatif à la migration des individus appartenant aux espèces / stades du groupe considéré.

Le franchissement de l'obstacle à la montaison est possible une grande partie du temps et pour la majeure partie de la ou des populations. L'obstacle est néanmoins susceptible de provoquer des retards de migration non négligeables.

L'obstacle reste néanmoins infranchissable une partie de la période de migration pour une fraction significative de la ou des populations du groupe considéré.

### **Barrière franchissable à impact limité (Classe ICE = 1) ●**

La barrière ne représente pas un obstacle significatif à la migration des individus appartenant aux espèces / stades du groupe considéré.

La plus grande partie de la ou des populations est capable de la franchir dans un laps de temps court et sans dommage. Toutefois, cela ne signifie pas que la barrière n'occasionne absolument aucun retard de migration ou que tous les individus du groupe considéré la franchissent sans dommage.

### **Barrière à impact indéterminé (Classe ICE = NC) ●**

La franchissabilité de l'ouvrage n'est pas appréciable avec les seules données ICE. L'évaluation de l'impact nécessite des investigations complémentaires ou une analyse plus poussée.

**N.B.** Ce principe de notation peut être appliqué également au diagnostic à la dévalaison. Cependant, comme évoqué au chapitre décrivant les principes de la méthode ICE, dans le cadre de la démarche et au regard de la complexité des mécanismes de dévalaison, il a été décidé de ne pas définir de critères destinés à appréhender la franchissabilité des ouvrages à la dévalaison. Une expertise dédiée, menée par des techniciens spécialisés, s'impose alors.

