

Références

An underwater scene with a teal background. A large shark is swimming towards the right, its body curved. To the left, a long eel swims downwards. In the bottom left corner, a crab is visible. The water is clear with some bubbles and light reflections.

158 ■ Principaux sigles et abréviations

161 ■ Bibliographie

168 ■ Table des illustrations

172 ■ Liste des tableaux

174 ■ Remerciements



Principaux sigles & abréviations

■ **a, b, c** : hauteur (**a**), longueur (**b**) et diagonale (**c**) d'un redan (exprimées en m). La valeur de **c** est égale à $\sqrt{a^2+b^2}$. Les valeurs **a_{max}** et **c_{max}** correspondent à la hauteur et la diagonale maximale qu'un redan ne doit pas dépasser pour être franchissable par le poisson à condition que l'écoulement soit de surface (*skimming flow*). Les valeurs **a_{max}** et **c_{max}** dépendent de la longueur du poisson.

a_{max} : Valeur de hauteur maximale d'un redan toléré pour qu'il puisse être franchissable. Cette valeur doit être inférieure à 0,5 Lp.

c_{max} : Valeur de diagonale maximale d'un redan tolérée pour qu'il puisse être franchissable. Cette valeur doit être inférieure à 0,7 Lp.

■ **α** : angle d'incidence du jet, qui correspond à la pente du coursier d'un seuil (exprimé en degré).

■ **β** : angle d'incidence de saut d'un poisson (exprimé en degré).

■ **DH** : hauteur d'une chute (exprimée en m), qui correspond à la différence entre les niveaux d'eau amont (**Z_{amont}**) et aval (**Z_{aval}**) de la chute.

DH_{max} : correspond à une hauteur de chute théorique maximale franchissable associée à des poissons de longueur **Lp_{max}**.

DH_{min} : correspond à une hauteur de chute théorique maximale franchissable associée à des poissons de longueur **Lp_{min}**.

DH_{moy} : correspond à une hauteur de chute théorique maximale franchissable associée à des poissons de longueur **Lp_{moy}**.

DH_{extrême} : correspond (pour les seuils verticaux, seuils à parement incliné ou passages en sousverse) à une hauteur de chute totalement infranchissable pour une espèce ou un groupe d'espèces donné(e) et pour laquelle l'analyse ICE n'est pas nécessaire. Cette valeur correspond à la hauteur de chute **DH_{max}** ajoutée d'une revanche de l'ordre de 0,5 à 1 m suivant les espèces. Dès lors que la chute créée par l'obstacle est supérieure à **DH_{extrême}**, l'ouvrage est inévitablement une barrière totale.

■ **g** : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²).

■ **h** : tirant d'eau d'un écoulement (exprimé en m).

h_{min} : tirant d'eau minimal extrême (ou épaisseur de la lame d'eau minimale) pour permettre la nage d'un poisson. Cette valeur est fonction de la morphologie et de la taille des individus. Dans le cadre de la méthode, une valeur de **h_{min}** est proposée par espèce ou groupe d'espèces. Elle correspond globalement à 1,5 fois la hauteur moyenne de corps (**hp_{moy}**) de l'espèce ou groupe d'espèces considéré(e). Cette valeur est utilisée notamment dans le diagnostic de franchissabilité des seuils à parement incliné.

h_{min enroch} : tirant d'eau minimal extrême (ou épaisseur de la lame d'eau minimale) pour permettre la nage d'un poisson et assurer un écoulement cohérent sur des seuils en enrochements. Cette valeur est



fonction de la morphologie des individus et de la pente du coursier. Dans le cadre de la méthode, une valeur de h_{\min} enroch est proposée par espèce ou groupe d'espèces. Cette valeur est utilisée notamment dans le diagnostic de franchissabilité des seuils en enrochements.

■ **hp** : hauteur du corps des poissons (exprimée en m). Cette valeur est fonction de la morphologie des individus et correspond à un facteur de forme (**k**) multiplié par la longueur du poisson.

hp_{min} : hauteur de corps minimale d'une espèce ou d'un stade donné. Cette hauteur correspond à un individu de longueur **Lp_{min}**.

hp_{max} : hauteur maximale d'une espèce ou d'un stade donnée. Cette hauteur correspond à un individu de longueur **Lp_{max}**.

hp_{moy} : hauteur correspondant à la moyenne entre **hp_{min}** et **hp_{max}**. Cette hauteur correspond à un individu de longueur **Lp_{moy}**.

■ **H** : charge d'eau sur un déversoir, une échancrure ou une vanne (exprimée en m).

H_{amont} : cette variable correspond à la charge sur une vanne en charge. Ce critère est utilisé dans le cas d'un diagnostic ICE sur des écoulements sous vannes ou orifices en charge présentant des écoulements dénoyés par l'aval.

H_{min} : charge minimale extrême sur un obstacle pour permettre le passage d'une espèce. Cette charge correspondant à **Z_{amont} - Z_{seuil}** est fonction de la morphologie et la taille des individus. Une valeur de **H_{min}** est proposée pour chacune des espèces ou groupe d'espèces sauteuses. Ce critère est notamment utilisé dans le diagnostic de franchissabilité d'une chute verticale.

■ **Hf** : profondeur d'eau de la fosse en pied d'un obstacle (exprimée en m).

Hf_{min} : profondeur de fosse minimale nécessaire au poisson pour franchir un obstacle. Elle est fonction de la hauteur de chute et de l'angle d'incidence α du jet. Cette valeur est utilisée pour le diagnostic de franchissabilité d'une chute verticale ou quasi-verticale ou pour le diagnostic de franchissabilité des seuils à parement incliné.

■ **k** : facteur de forme d'un poisson (adimensionnel). Cette valeur est fonction de la morphologie des individus. Il correspond à la hauteur du poisson (**hp**) divisée par sa longueur (**Lp**).

■ **L** : longueur d'un ouvrage à franchir (exprimée en m). Ce critère est utilisé pour le diagnostic de franchissabilité de passages routiers ou ferroviaires ou dans le cas d'un diagnostic spécifique pour l'anguille lorsque l'ouvrage présente une voie de reptation.

Lp : longueur totale d'un poisson (exprimée en m).

Lp_{min} : longueur (taille) minimale d'une espèce ou d'un stade biologique du groupe considéré dans le cadre de la méthode ICE.

Lp_{max} : longueur (taille) maximale d'une espèce ou d'un stade biologique du groupe considéré dans le cadre de la méthode ICE.

Lp_{moy} : longueur (taille) correspondant à la moyenne entre **Lp_{min}** et **Lp_{max}** d'une espèce ou d'un stade biologique du groupe considéré dans le cadre de la méthode ICE.

■ **n** : coefficient de Manning (adimensionnel). Ce coefficient est représentatif de la rugosité du fond et des berges.

■ **OV** : ouverture d'un organe mobile (exprimée en m).

OV_{min} : ouverture minimale extrême d'un organe mobile, nécessaire pour assurer le passage de l'espèce piscicole considérée. Dans le cadre de la méthode, une valeur de **OV_{min}** est proposée par espèces ou groupe d'espèces. Cette valeur est utilisée dans le diagnostic de franchissabilité des organes mobiles (écoulement en sousverse).

- **P_{aer}** : puissance musculaire maximale (exprimée en watts) correspondant à la glycolyse aérobie. Elle est proportionnelle à la vitesse limite (supérieure) de croisière **U_{cr}** avant le passage en anaérobie.
- **P_{ana}** : puissance musculaire maximale (exprimée en watts) correspondant à la glycolyse anaérobie. Elle est proportionnelle à la vitesse maximale **U_{max}**.
- **q** : débit unitaire, soit le débit par mètre de largeur (exprimé en m³/s/m ou m²/s).
- **t** ou **t_u** : temps (ou endurance, exprimé en s) pendant lequel le poisson peut nager à une vitesse **U**. L'endurance d'un poisson **t_{Umax}** à sa vitesse de sprint **U_{max}** est généralement comprise entre 10 et 20 secondes.
- **U** : vitesse de nage d'un poisson (exprimée en m/s).
 - U_{max}** correspond à la vitesse de sprint ou vitesse maximale de nage d'un poisson.
 - U_{cr}** correspond à sa vitesse de croisière, c'est à dire à une vitesse pouvant être maintenue pendant des heures.
- **V** : vitesse d'un écoulement donné (exprimée en m/s).
- **X_{max}** : longueur de saut théorique (exprimée en m) d'un poisson, calculée à partir de sa vitesse de sprint **U_{max}** et de l'angle d'incidence **β** du saut.
- **Y_{max}** : hauteur de saut théorique (exprimée en m) d'un poisson, calculée à partir de sa vitesse de sprint **U_{max}** et de l'angle d'incidence **β** du saut. En pratique, pour le diagnostic ICE, on rajoute une partie de la longueur du poisson à cette valeur théorique.
- **Z_{amont}** : cote de la ligne d'eau en amont d'un obstacle (exprimée en m ou mNGF).
- **Z_{aval}** : cote de la ligne d'eau en aval d'un obstacle (exprimée en m ou mNGF).
- **Z_{seuil}** : cote d'un seuil (exprimée en m ou mNGF).





Bibliographie

- Aboussouan A. (1969). Note sur les « bichiques » de l'île de La Réunion. Revue des Travaux de la Station Marine d'Endoume 9: 25-31.
- Antea, Ocea Consult', Hydrétudes, Ecogea (2011). Évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de la réunion. Rapports pour la DEAL Service Eau et Biodiversité.
- Arda (2012). Observation des Flux Migratoires de poissons et de macro-crustacés diadromes de la Réunion. Rapport Final. Soutien FEDER, Région Réunion et DEAL Réunion.
- Balon E.K., Bruton M.N. (1994). Fishes of the Tatinga River, Comoros, with comments on freshwater amphidromy in the goby *Sicyopterus lagocephalus*. Ichthyological Exploration of Freshwaters 5: 25-40.
- Baudoin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremski W., Steinbach P., Voegtli B. (2014). Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. Onema. 200 pages.
- Bauer R.T. (2011). Amphidromy and migrations of freshwater shrimps. II. Delivery of hatching larvae to the sea, return juvenile upstream migration, and human impacts. New Frontiers in Crustacean Biology: 157-168.
- Bauer R.T. (2013). Amphidromy in shrimps: a life cycle between rivers and the sea. Latin American Journal of Aquatic Research 41: 633-650.
- Bauer R.T., Delahoussaye J. (2008). Life History Migrations of the Amphidromous River Shrimp *Macrobrachium Ohione* from a Continental Large River System. Journal of Crustacean Biology 28: 622-632.
- Beach M.H. (1984). Fish pass design. Criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fishes in rivers. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, Fisheries Research Technical Report 78, 45p.
- Bell K. (1997). Complex recruitment dynamics with Doppler-like effects caused by shifts and cycles in age-at-recruitment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54: 1668-1681.
- Bell K. (1999). An overview of goby-fry fisheries. Naga, the ICLARM quarterly 22: 30-36.
- Bell K. (2009). What Comes Down Must Go Up : The Migration Cycle of Juvenile-Return Anadromous Taxa. American Fisheries Society Symposium 69: 321-341.
- Bell K., Brown J.A. (1995). Active salinity choice and enhanced swimming endurance in 0 to 8-d-old larvae of diadromous gobies, including *Sicydium punctatum* (Pisces), in Dominica, West Indies. Marine Biology 121: 409-417.
- Bell M.C., (1986). Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 290 p.
- Bell M.C., Delacy A.C. (1972). A compendium on the survival of fish passing through spillways and conduits. Fish. Eng. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 121p.
- Blanco J.F., Scatena F.N. (2007). The spatial arrangement of *neritina virginea* (*gastropoda: neritidae*) during upstream migration in a split-channel reach. River Research and Applications 23: 235-245.
- Blaxter J.H.S., Dixon W. (1959). Observations on the swimming speeds of fish. Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer 24(3) : 472-479.
- Blob R.W., Rai R., Julius M.L., Schoenfuss H.L. (2006). Functional diversity in extreme environments: effects of locomotor style and substrate texture on the waterfall-climbing performance of Hawaiian gobiid fishes. Journal of Zoology 268: 315-324.
- Burgun V., Chanseau M., Kreutzenberger K., Marty V., Pénil C., Tual M., Voegtli B. (2015). ICE. Informations sur la continuité écologique. Protocole de terrain pour l'acquisition des données. Onema. Collection Guides et Protocoles, 84p.



- Castro-Santos T. (2006). Modeling the effect of varying swim speeds on fish passage through velocity barriers. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 1230-1237.
- Chanseau M., Croze O., Larinier M. (1999). Impact des aménagements sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) sur le gave de Pau (France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*: 211-237.
- Clough S.C., Lee-Elliott I.H., Turnpenny A.W.H., Holden S.D.J., Hinks C. (2002). Swimming speeds in fish: Phase 2. R & D Technical Report W2-026/TR3, Environment Agency.
- Clough S.C., Turnpenny A.W.H. (2001). Swimming speeds in fish: Phase 1. R & D Technical Report W2-026/TR1, Environment Agency, Bristol, 94 pp.
- Courret D., Larinier M. (2008). Guide pour la conception de prises d'eau « ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydroélectriques. Rapport ADEME - GHAAPPE. 60p +annexes.
- Covich A.P., Crowl T.A., Hein C.L., Townsend M.J., McDowell W.H. (2009). Predator-prey interactions in river networks: Comparing shrimp spatial refugia in two drainage basins. *Freshwater Biology* 54: 450-465.
- Cruz (1987). Reproductive biology and feeding habits of Cuyamel, *Joturus pichardi*, and Tepemechín, *Agonostomus monticola* (Pisces; *Mugilidae*) from Río Plátano, Mosquitia, Honduras. *Bulletin of Marine Science* 40: 63-72.
- Delacroix P., Champeau A. (1992). Ponte en eau douce de *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas) poisson *Gobiidae* amphibionte des rivières de la Réunion. *Hydroécologie Appliquée* 1: 49-63.
- DCE (2000). Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
- DWA, (2006). Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen [Monitoring of effectiveness of fish upstream migration facilities], DWA-Themen, p. 35, 41, 42, 45, 112-118.
- Egis Environnement - Hydrosphère (2007-2008). Étude de l'impact des modifications des conditions d'éclairage des cours d'eau franchis par des infrastructures de transport sur la circulation piscicole. Rapport pour le ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables. Rapports phase 1 et 2.
- Ellien C., Werner U., Keith P. (2014). Morphological changes during the transition from freshwater to sea water in an amphidromous goby, *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas 1770) (*Teleostei*). *Ecology of Freshwater Fish* 25: 48-59.
- European Environment Agency (2011). Landscape fragmentation in Europe; Joint EEA-FOEN report, 87 p. ISBN: 978-92-9213-215-6.
- FAO and DVWK (2002). Fish Passes - Design, Dimensions and Monitoring (English version of DVWK, 1996).
- Fahlbusch F.E. (1994). Scour in Rock Riverbeds Downstream of Large Dams. *Hydropower & Dams* 1(4): 30-32.
- Feutry P., Castelin M., Grondin H., Cruaud C., Couloux A., Keith P. (2012a). First record of *Kuhlia sauvagii* Regan, 1913 (Perciformes) in Mayotte and Réunion islands, Western Indian Ocean. *Cybiurn* 1913: 493-494.
- Feutry P., Castelin M., Ovenden J.R., Dettai A., Robinet T., Cruaud C., Keith P. (2013). Evolution of diadromy in fish: insights from a tropical genus (*Kuhlia* species). *The American naturalist* 181: 52-63.
- Feutry P., Tabouret H., Maeda K., Pécheyran C., Keith P. (2012b). Diadromous life cycle and behavioural plasticity in freshwater and estuarine *Kuhliidae* species (*Teleostei*) revealed by otolith microchemistry. *Aquatic Biology* 15: 195-204.
- Feutry P., Valade P., Ovenden J.R., Lopez P.J., Keith P. (2012c). Pelagic larval duration of two diadromous species of *Kuhliidae* (*Teleostei: Percoidae*) from Indo-Pacific insular systems. *Marine and Freshwater Research* 63: 397-402.
- Fièvet E. (1998). Distribution et capacités d'expansion des crevettes d'eau douce de la région Caraïbe : exemple des genres *Macrobrachium* et *Atya* (*Crustacea: Caridea*). *Biogeographica* 74: 1-22.
- Fièvet E., Bonnet-Arnaud P., Menard C., Tachet H. (1998). Étude de la migration amont des crevettes d'eau douce au niveau des obstacles artificiels, implications pour les dispositifs de franchissement. Rapport DIREN Guadeloupe, Parc National de la Guadeloupe et ESA CNRS 5023 Université Lyon 1. Convention d'étude.
- Fièvet E., Le Guennec B. (1998). Migration de masse de *Sicydium* spp. (*Gobiidae*) dans les rivières de Guadeloupe : implications pour le schéma hydraulique des mini centrales hydroélectriques "au fil de l'eau." *Cybiurn* 22: 293-296.
- Fièvet E. (1999a). Daylight Migration of Freshwater Shrimp (*Decapoda: Caridea*) over a Weir during Water Release from the Impoundment. *Crustaceana* 72: 351-356.



- Fièvet E. (1999b). An experimental survey of freshwater shrimp upstream migration in an impounded stream of Guadeloupe Island, Lesser Antilles. *Archiv für Hydrobiologie* 144: 339-355.
- Fièvet E. (2000). Passage facilities for diadromous freshwater shrimps (*Decapoda: Caridea*) in the Bananier River, Guadeloupe, West Indies. *Regulated Rivers: Research and Management* 16: 101-112.
- Fièvet E., Doledec S., Lim P. (2001). Distribution of migratory fishes and shrimps along multivariate gradients in tropical island streams. *Journal of Fish Biology* 59: 390-402.
- Fièvet E., Roux A., Redaud L., Sérandour J.M. (2000). Conception des dispositifs de franchissements pour la faune amphidrome (crevettes et poissons) des cours d'eau antillais : une revue. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 357/358: 241-256.
- Fritz Ö., Larsson K. (1996). Betydelsen av skoglig kontinuitet för rödlistade lavar. En studie av halländsk bokskog. [The significance of long forest continuity to red-listed lichens. A study of beech forest in the province of Halland, SW Sweden.] *Svensk Botanisk Tidskrift* 90: 241-262.
- Gomes P., Larinier M. (2008). Etude sur la mortalité des anguilles suite à leur passage au travers des turbines Kaplan. Etablissement de formules prédictives. Rapport GHAAPPE RA 08.01, 43 p. + annexes.
- Hamano T., Yoshimi K., Hayashi K.-I., Kakimoto H., Shokita S. (1995). Experiments on fishways for freshwater amphidromous shrimps. *Nippon Suisan Gakkaishi* 61: 171-178.
- Hoarau P. (2005). Dynamique structurale des populations de « bichiques » (*Sicyopterus lagocephalus*), Gobiidés amphidromes des rivières de La Réunion. Thèse de doctorat, Université de La Réunion, 264 p.
- Hoarau P., Treilhes C., Valade P. (2018). Reproductive biology and recruitment in an amphidromous prawn *Macrobrachium australe* in Reunion Island. *Invertebrate Biology* 137(3): 231-239.
- Hogan A., Nicholson J. (1987). Sperm motility of sooty grunter, *Hephaestus fuliginosus* (Macleay), and jungle perch, *Kuhlia rupestris* (Lacépède), in different salinities. *Marine and Freshwater Research* 38 (4): 523-528.
- Hutchison M., Lee P., Norris A., Nixon D., Shorten D., Borchert T., Wang S., Chilcott K., Palmer P., Marsden T., Carton G., Kowitz L. (2016). Developing jungle perch fingerling production to improve fishing opportunities. Fisheries Research and Development Corporation, project n° 2012/2013.
- Keith P. (2003). Biology and ecology of amphidromous *Gobiidae* of the Indo-Pacific and the Caribbean regions. *Journal of Fish Biology* 63: 831-847.
- Keith P., Marquet G., Valade P., Bosc P., Vigneux E. (2006). Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, collection Patrimoines Naturels: 65, 250 p.
- Keith P., Vigneux E., Bosc P. (1999). Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de la Réunion. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, collection Patrimoines Naturels: 39, 136 p.
- Lagarde R. (2016). Dynamiques de dévalaison des larves de *Sicydiinae* de la rivière Langevin - impact de l'aménagement hydroélectrique. Rapport Hydrô-Réunion, 36 p.
- Lagarde R. (2018). Phénologies, mécanismes et perturbations anthropiques des dynamiques de migration dulçaquicoles des espèces amphidromes : cas des *Sicydiinae* de La Réunion. Thèse de doctorat, Université de La Réunion, 300p.
- Lagarde R., Faivre L., Grondin H., Courret D. (2016). Etude des capacités de franchissement des poissons et macro-crustacés amphihalins de La Réunion. Rapport d'activité HydroRéunion 2015.
- Lagarde R., Teichert N., Boussarie G., Grondin H., Valade P. (2015). Upstream migration of amphidromous gobies of La Réunion Island: implication for management. *Fisheries Management and Ecology* 22: 437-449.
- Larinier M. (2002). Biological factors to be taken into account in the design of fishways, the concept of obstructions to upstream migration. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture Suppl.* 364: 28-38.
- Larinier M. (2008). Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia* 609: 97-108.
- Larinier M., Dartiguelongue J. (1989). La circulation des poissons migrateurs : le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*: 1-87.
- Larinier M., Porcher J.P., Travade F., Gosset C. (1994). Passe à poissons. Expertise. Conception des ouvrages de franchissement. Conseil Supérieur de la Pêche, Paris, collection Mise au point. 285 p. + annexes.
- Larinier M., Chorda J., Ferlin O. (1995). Le franchissement des seuils en enrochements par les poissons migrateurs. Etude expérimentale. Rapport Ghaappe 95/05 - Hydre 161, 25p.
- Larinier M., Courret D., Gomes P. (2006). Guide technique pour la conception des passes naturelles. GHAAPPE-CNR-AEAG. Rapport GHAAPPE RA.06.05-V1. 48 p. + annexes.



- Larinier M., Travade F. (1999). La dévalaison des migrateurs : problèmes et dispositifs. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 353-354: 181-210.
- Larinier M., Travade F. (2002). The design of fishways for shad. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture Suppl. 364: 135-146.
- Larinier M., Travade F. (2002). Downstream migration: problems and facilities. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture Suppl. 364: 181-207.
- Larinier M., Travade F. (2006). French experience in downstream migration devices. In: Free passage for Aquatic Fauna in rivers and other water bodies. International DWA-Symposium on water resources management. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: 91-99. ISBN 978-3-939057-19-2.
- Lauritzen D.V., Hertel F., Gordon M.S. (2005). A kinematic examination of wild sockeye salmon jumping up natural waterfalls. Journal of Fish Biology 67: 1010-1020.
- Lauritzen D.V., Hertel F.S., Jordan L.K., Gordon M.S. (2010). Salmon jumping: behaviour, kinematics and optimal conditions, with possible implications for fish passageway design. Bioinspiration and Biomimetics 5, doi: 10.1088/1748-3182/5/3/035006.
- Legault A. (1986). Comportement d'escalade de l'anguille et colonisation du bassin versant de la Sèvre Niortaise. Les publications de l'ENSA de Rennes n°3, 41p.
- Legault A. (1987). L'anguille dans le bassin de la Sèvre Niortaise. Biologie, écologie, exploitation. Les publications de l'ENSA de Rennes n°6, 305p.
- Legault A. (1992). Etude de quelques facteurs de sélectivité de passes à anguilles. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 325: 83-91.
- LEMA (2006). LOI n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques. Page 53. Journal Officiel de la République Française.
- Lewis A.D., Hogan A.E. (1987). The enigmatic jungle perch - recent research provides some answers. SPC Fisheries Newsletter 40: 22-31.
- Lim P., Meunier J.-F., Keith P., Noël P.-Y. (2002). Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de la Martinique. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, collection Patrimoines Naturels: 51.
- Lucas M.C., Baras E. (2001). Migration of Freshwater Fishes. Oxford: Blackwell Science, 420 p.
- Maeda K., Yamasaki N., Kondo M., Tachihara K. (2008). Reproductive biology and early development of two species of sleeper, *Eleotris acanthopoma* and *Eleotris fusca* (Teleostei: Eleotridae). Pacific Science 62 (3): 327-340.
- Maeda K., Yamasaki N., Tachihara K. (2007). Size and age at recruitment and spawning season of sleeper, genus *Eleotris* (Teleostei: Eleotridae) on Okinawa Island, southern Japan. Raffles Bulletin of Zoology Suppl. 14: 199-207.
- March J.G., Benstead J.P., Pringle C.M., Scatena F.N. (2003). Damming tropical island streams: problems, solutions, and alternatives. BioScience 53: 1069.
- Marcy B.C., Fletcher D.E., Martin F.D., Paller M.H., Reichert M.J.M. (2005). Fishes of the Middle Savannah River basin: with emphasis on the Savannah River site. The University of Georgia Press, Athens, GA., 462 p.
- Marsden T. (2016). Developing jungle perch fingerling production to improve fishing opportunities. St Helens Creek Restocking Sampling. Australian Fish Passage Services for Department of Agriculture Fisheries and Forestry, Queensland, Australia, Rapport préparé par les Services des passes à poissons Australien (AFPS) pour le Département de l'Agriculture, des Pêches et de la Forêt (DAFF), 15 p.
- Mc Dowall R.M. (1988). Diadromy in Fishes : Migrations between Freshwater and Marine Environments. Croom Helm, London.
- Mc Dowall R.M. (2007). On amphidromy, a distinct form of diadromy in aquatic organisms. Fish and Fisheries 8: 1-13.
- Mc Dowall R.M. (2010). Why be amphidromous: Expatrial dispersal and the place of source and sink population dynamics? Reviews in Fish Biology and Fisheries 20: 87-100.
- Mc Leave (1980). Swimming performance of European eel elvers. Journal of Fish Biology 16: 445-452.
- Meixler M.S., Bain M.B., Walter M.T. (2009). Predicting barrier passage and habitat suitability for migratory fish species. Ecological Modelling 220: 2782-2791.
- Mennesson M., Keith P. (2017). Evidence of two species currently under the name of *Eleotris fusca* (Gobioidei: Eleotridae) in the Indian Ocean. Cybium 41:213-220.
- Merrick, J. R., Schmida, G. E. (1984). Australian Freshwater Fishes: Biology and Management. Griffith Press Limited, South Australia.



- Monti D., Keith P., Vigneux E. (2010). Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de la Guadeloupe. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, collection Patrimoines Naturels: 69.
- Morandi B., Rivière-Honegger A., Cottet M. (2015). Étude en sciences humaines et sociales sur l'eau et les milieux aquatiques en Martinique. Les représentations et les pratiques associées aux cours d'eau. Étude n°043-12-2014. Rapport CNRS, CIRAD, ODE Martinique, ONEMA, 218 p. + annexes.
- Myers G.S. (1949). Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia* 1949: 89.
- Nordén, B., Appelqvist, T. (2001). Conceptual problems of ecological continuity and its bioindicator. *Biodiversity and Conservation* 10: 779-791.
- Ocea Consult' (2014a). Suivi des réseaux de contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau de surface de l'île de Mayotte - Volet Poissons et macro-crustacés. Programme de l'année 2014. Rapport de synthèse pour le compte du BRGM-Mayotte.
- Ocea Consult' (2014b). Accompagnement pour l'élaboration d'un projet d'arrêt de pêche en eau douce sur les cours d'eau de Mayotte. Rapport pour le compte de la DEAL 976. 60 p.
- Ocea Consult' (2014c). Suivi 2013 des éléments biologiques " poissons et macro-crustacés " des rivières du bassin Réunion. Rapport final pour le compte de l'Office de l'Eau de La Réunion, 232 p.
- Ocea et Antea (2013). Expertise écologique et hydrologique de l'impact de la prise EDF du Bras Patience - Réunion. Rapport pour le Groupement Hydraulique EDF, La Réunion. 12 pages
- Ohlson M., Tryterud E. (1999). Long-term spruce forest continuity - A challenge for a sustainable Scandinavian forestry. *Forest Ecology and Management* 124: 27-34.
- Økland B., Bakke A., Hågvar S., Kvamme T. (1996). What factors influence the diversity of saproxylic beetles? A multi-scaled study from a spruce forest in southern Norway. *Biodiversity and Conservation* 5: 75-100.
- Olivier J.-M., Mérigoux S., Forcellini M., Grondin H., Mathieu C., Péru N., Richarson M., Sagnes P., Usseglio-Polatera P., Valade P. (2012). Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macro-crustacés et des invertébrés benthiques. Rapport final Univ Lyon I CNRS ENTPE - LEHNA, ARDA, Europe FEDER, Office de l'eau Réunion, 506 p.
- Olivier T.J. (2013). Amphidromous life History of the Caridean shrimp *Macrobrachium ohione* (Decapoda: Palaemonidae) from the Mississippi River system. Ph.D. dissertation, University of Louisiana, 169 p.
- Olivier T.J., Handy K.Q., Bauer R.T. (2013). Effects of river control structures on the juvenile migration of *Macrobrachium ohione*. *Freshwater Biology* 58: 1603-1613.
- Ovidio M., Phillipart J.-C. (2002). The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. *Hydrobiologia* 483: 55-69.
- Phillip D.A.T. (1993). Reproduction and feeding of the mountain mullet, *Agonostomus monticola*, in Trinidad, West Indies. *Environmental Biology of Fishes* 37(1): 47-55.
- Powers P., Osborn J. (1985). Analysis of barriers to upstream fish migration. U.S. Dept. of Energy, Bonneville Power Adm., Div. of Fish and Wildlife, Final Project Report, 120 p.
- Préfet de la Martinique (2014). Arrêté préfectoral n°2014307-0011 reconduisant l'arrêté N° 09-03540 du 25 septembre 2009 et l'arrêté N° 2013301-0020 du 28 octobre 2013 portant interdiction de la pêche et de la commercialisation des poissons et crustacés pêchés dans les rivières situées sur le territoire de la Martinique. Page 2.
- Préfet de La Réunion (2008a). Arrêté n°1742 du 15 juillet 2008 réglementant la pêche maritime professionnelle dans les eaux du département de La Réunion. Page 22.
- Préfet de La Réunion (2008b). Arrêté n°1743 du 15 juillet 2008 réglementant l'exercice de la pêche maritime de loisir dans les eaux du département de La Réunion. Page 12.
- Pusey B.J., Kennard M., Arthington A. (2004). *Freshwater Fishes of North-Eastern Australia*. CSIRO Publishing, 700 p.
- Pyron M., Covich A.P. (2003). Migration patterns, densities, and growth of *Neritina punctulata* snails in Rio Espiritu an Rio Mameyes, Northeastern Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* 39: 338-347.
- Réveillac E. (2008). Histoires de vie larvaire et dispersion des *Anguillidae* : vers une approche bio-évolutive. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 232 p.
- Rice E., Kadavy K.C., Robinson K.M. (1998). Roughness of loose rock riprap on steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering* 124: 179-185.



- Robert M. (2015). Analyse des capacités de franchissement des espèces de poissons et de macro-crustacés des cours d'eau des DOM insulaires pour le diagnostic de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité écologique et le dimensionnement des ouvrages de franchissement. Rapport du Parc National de Guadeloupe pour l'Onema et l'Université des Antilles, 33p.
- Robinet T., Feunteun E. (2002). First observation of shortfinned *Anguilla bicolor bicolor* and longfinned *Anguilla marmorata* silver eels in the Reunion island. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: 87-95.
- Robinet T., Lecomte-Finiger R., Escoubeyrou K., Feunteun E. (2003). Tropical eels *Anguilla* spp. recruiting to Réunion Island in the Indian Ocean: taxonomy, patterns of recruitment and early life histories. Marine Ecology Progress Series 259: 263-272.
- Rose F (1974). The epiphytes of oak. In: Morris MG and Perring FH (eds) The British Oak. Its History and Natural History. EW Classey, Faringdon, pp 250-273.
- Ruggles C.P. (1980). A review of the downstream migration of atlantic salmon. Freshwater and Anadromous Div. Ressource Branch Dept. of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia, Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci. 953, 39p.
- Ruggles C.P., Murray D.G. (1983). A review of fish response to spillways . Freshwater and Anadromous Div. Ressource Branch Dept. of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia, Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci. 1172, 30p.
- Schoenfuss H.L., Blob R.W. (2003). Kinematics of waterfall climbing in Hawaiian freshwater fishes (*Gobiidae*): vertical propulsion at the aquatic-terrestrial interface. Journal of Zoology 261: 191-205.
- Schübel A. (1998). Pêcheurs de bichiques de La Réunion. Rapport final d'études en Sciences Sociales à l'Université de La Réunion, réalisé à IDEA Consultants, en partenariat avec l'ARDA, le CSP et la DIREN 974, 314p.
- Sethi S.N., Ram N., Venkatesan V. (2012). Length-weight relationship of *Macrobrachium lar* (Fabricius, 1798), an endemic freshwater prawn in streams and ponds of Andaman and Nicobar Islands. Indian Journal of Fisheries 59: 157-161.
- Sethi S.N., Ram N., Venkatesan V. (2014). Reproductive biology of *Macrobrachium lar* (fabricius, 1798) in Andaman Islands. Indian Journal of Marine Sciences 43: 1-8.
- Smith W.E., Kwak T.J. (2014a). A capture-recapture model of amphidromous fish dispersal. Journal of Fish Biology 84: 897-912.
- Smith W.E., Kwak T.J. (2014b). Otolith microchemistry of tropical diadromous fishes: spatial and migratory dynamics. Journal of Fish Biology 84: 913-28.
- Sörenson I. (1951). An investigation of some factors affecting the upstream migration of the eel. Institute of Freshwater Research, Drottningholm, Report 32: 126-132.
- Stuart T.A. (1962). The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. Freshwater and Salmon Fisheries Research 28: 1-46.
- Sugeha H.Y., Aoyama J., Tsukamoto K. (2006). Downstream migration of tropical anguillid silver eels from lake Poso, Central Sulawesi, Indonesia. Limnotek 13(1): 18-25.
- Tabouret H. (2012). Les poissons migrateurs amphihalins des départements d'outre-mer : état des lieux. Partie 1 : synthèse générale sur les DOM insulaires. Rapport final ONEMA-MNHN, 276p.
- Tabouret H. (2013). Les poissons migrateurs amphihalins des départements d'outre-mer : état des lieux. Partie 2 : Quels outils de gestion ? Expérience internationale et propositions. Rapport final ONEMA-MNHN, 82p.
- Teichert N. (2012). Variabilité des traits d'histoire de vie chez les *Gobiidae* (*Sicydiinae*) amphidromes de l'île de la Réunion : *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas, 1770) et *Cotylopus acutipinnis* (Guichenot, 1863). Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 342 p.
- Teichert N., Keith P., Valade P., Richarson M., Metzger M., Gaudin P. (2013). Breeding pattern and nest guarding in *Sicyopterus lagocephalus*, a widespread amphidromous *Gobiidae*. Journal of Ethology 31: 239-247.
- Teichert N., Valade P., Grondin H., Trichet E., Sardenne F., Gaudin P. (2016). Pelagic larval traits of the amphidromous goby *Sicyopterus lagocephalus* display seasonal variations related to temperature in La Réunion Island. Ecology of Freshwater Fish 25: 234-247.
- Thinus Z., Guillot F. (2016). Impact à la dévalaison de l'anguille des centrales hydroélectrique de grande capacité de l'aval de La Seine. Rapport de synthèse CEREMA Normandie Centre, 63p.



- Thorstad E.B., Fiske P., Aarestrup K., Hvidsten N.A., Harsaker K., Heggberget T.G., Okland F. (2005). Upstream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers. In Spedicato M.T., Lembo G., Marmulla G. (eds) Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003, pp 111-121.
- Valade P., Lord C., Grondin H., Bosc P., Taillebois L., Lida M., Tsukamoto K., Keith P. (2009). Early life history and description of larval stages of an amphidromous goby, *Sicyopterus lagocephalus* (Gobioidae: Sicydiinae). *Cybium* 33: 309-319.
- Valade P., Roger E., Grondin H., Bosc P., Larinier M., et Voegtli B. (2004). Etude du franchissement des ouvrages de captage d'eau (Transfert Est-Ouest) par les larves de bouche-rondes (bichiques) lors de la dévalaison. Rapport ARDA-ONEMA-SIEE pour le compte du Département de La Réunion, 63p.
- Veronese A. (1937). Erosion of a bed downstream from an outlet, Colorado A & M College, Fort Collins, United States.
- Videler J.J. (1993). Fish Swimming. Chapman & Hall, 206p.
- Voegtli B. (2014). Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectrique lors de la migration de dévalaison des smolts de saumon atlantique. Bassin du Gave d'Oloron. Rapport de synthèse pour la DDTM 64.
- Voegtli B. (2010a). Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectriques lors de la migration de dévalaison des smolts de saumon atlantique. Bassin de la Nive. Rapport DDTM 64 - Ecogea, 52 p. + annexes.
- Voegtli B. (2010b). Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectriques lors de la migration de dévalaison des anguilles argentées. Bassin de la Nive. Rapport DDTM 64 - Ecogea, 46 p. + annexes.
- Voegtli B., Larinier M. (2000). Etude sur les capacités de franchissement des civelles et anguillettes. Site hydroélectrique de Tuillères sur la Dordogne (24) et Barrage estuarien d'Arzal sur la Vilaine (56). Rapport Ghaappe RA00.05/ Migado G15-00-RT, 69p. + annexes.
- Voegtli B., Larinier M. (2008). Définition d'une stratégie de restauration de l'axe migration pour l'anguille. Cours d'eau du Gave de Pau. Rapport Midival-Ecogea-Ghaappe RA08.02, 42 p. + annexes.
- Voegtli B., Larinier M., Bosc P. (2002). Étude sur les capacités de franchissement des cabots bouche-rondes (*Sicyopterus lagocephalus*, Pallas, 1770) en vue de la conception de dispositifs adaptés aux prises d'eau du transfert Salazie (Ile de La Réunion). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: 109-120.
- Wardle C.S. (1980). Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. In Environmental Physiology of Fishes, Plenum Press, 723 p.: 519-531.
- Wouthuyzen S., Aoyama J., Sugeha H.Y., Miller M.J., Kuroki M., Minegishi Y., Suharti S.R., Tsukamoto K. (2009). Seasonality of spawning by tropical anguillid eels around Sulawesi Island, Indonesia. *Naturwissenschaften* 96: 153-158.
- Yamasaki N., Kondo M., Maeda K., Tachihara K. (2011). Reproductive biology of three amphidromous gobies, *Sicyopterus japonicus*, *Awaous melanocephalus*, and *Stenogobius sp.*, on Okinawa Island. *Cybium* 35: 345-359.
- Yasuda Y., Ohtsu I. (1999). Flow resistance of skimming flow in stepped channels. Proceedings of the 28th IAHR Congress, Graz, Austria, Session B14, 6 p.
- Zhou Y. (1982). The swimming speed of fish in towed gears, a reexamination of the principles. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland, Working Paper No. 4, 55p.
- Zydlewski J., Wilkie M.P. (2012). Freshwater to Seawater Transitions in Migratory Fishes. *Fish Physiology* 32: 253-326.



Table des illustrations

- 14 **Figure 1.** Cycle migratoire d'un migrateur amphidrome (cas des Gobiidae). Modifié d'après Tabouret, 2012.
- 17 **Figure 2.** Cycle migratoire d'un migrateur amphihalal catadrome.
- 20 **Figure 3.** Exemples de chutes naturelles.
- 20 **Figure 4.** Exemples d'assecs à La Réunion, possiblement naturels, mais amplifiés par des prélèvements d'eau en amont.
- 23 **Figure 5.** Exemples de seuils ou barrages présents sur les cours d'eau des départements insulaires ultramarins.
- 23 **Figure 6.** Exemple d'un seuil constitué d'organes mobiles.
- 24 **Figure 7.** Exemples de passages à gué s'apparentant à des seuils.
- 25 **Figure 8.** Exemples de passages routiers.
- 26 **Figure 9.** Exemples d'aménagements pour pratiquer la pêche aux *Gobiidae* à La Réunion.
- 27 **Figure 10.** Exemples de passages à franchir au niveau de déversoirs ou de chutes naturelles.
- 29 **Figure 11.** Exemples de prises d'eau liées à différents usages.
- 30 **Figure 12.** Exemples de ralentissement des écoulements provoqué par certains ouvrages, pouvant impacter la dévalaison suite à une décantation des individus dévalants.
- 36 **Figure 13.** Schéma représentant le tirant d'eau minimum (h_{\min}) considéré comme nécessaire pour qu'un poisson puisse nager convenablement. Adapté de Baudoin *et al.*, 2014.
- 37 **Figure 14.** Juvéniles de mulets (*Agonostomus*) tentant de franchir par saut le passage à gué de Ravine Chaude (Grande Rivière à Goyaves, Guadeloupe).
- 38 **Figure 15.** Trajectoires théoriques de saut pour un saumon de 0,8 m de longueur en fonction de la température de l'eau et de l'angle d'incidence avec l'horizontale au début du saut. D'après Larinier *et al.*, 2002 et modifié par Baudoin *et al.*, 2014.
- 39 **Figure 16.** Charge minimale (H_{\min}) sur un obstacle, permettant une bonne réception et la reprise d'une nage efficace suite à un franchissement par saut (h_{\min} représente le tirant d'eau minimum nécessaire pour la nage, présenté en Figure 13). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 40 **Figure 17.** Exemples de fosses en aval d'ouvrages.
- 41 **Figure 18.** Ordre de grandeur de la profondeur minimum de fosse d'appel ($H_{f_{\min}}$) nécessaire pour permettre au poisson de franchir un obstacle (par saut ou par nage) dans des conditions satisfaisantes. D'après Baudoin *et al.*, 2014.



- 43 **Figure 19.** Anguilles en reptation.
- 43 **Figure 20.** Les capacités de ventousage des *Sicydiinae*.
- 44 **Figure 21.** Capacités de marche des macro-crustacés.
- 49 **Figure 22.** Exemples de localisation de profils en long à réaliser pour caractériser un ouvrage.
- 49 **Figure 23.** Exemple de profil en long réalisé sur un ouvrage simple. Modifié d'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 50 **Figure 24.** Exemples d'ouvrages à différentes conditions de débit.
- 54 **Figure 25.** 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.
- 56 **Figure 26.** Espèces du premier groupe.
- 57 **Figure 27.** Espèces du deuxième groupe.
- 60 **Figure 28.** Les trois stades d'anguilles définissant le troisième groupe.
- 61 **Figure 29.** Espèces du quatrième groupe.
- 62 **Figure 30.** Espèces du cinquième groupe.
- 73 **Figure 31.** Différentes configurations d'obstacles de types « seuil » ou « barrage ».
- 76 **Figure 32.** Types de jets et conditions de franchissement par la nage au niveau d'un obstacle vertical ou quasi-vertical (pente > 150 %). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 81 **Figure 33.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité piscicole ICE par nage ou saut au niveau d'un obstacle vertical ou quasi-vertical (pente > 150 %).
- 83 **Figure 34.** Évolution des conditions d'écoulement le long d'un coursier de seuil incliné. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 83 **Figure 35.** Extrait graphique d'une modélisation hydraulique effectuée sous HEC RAS. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 84 **Figure 36.** Représentation graphique montrant la relation entre la vitesse d'écoulement, la chute et la distance à la crête en fonction du débit unitaire (125 l/s/m à 1 000 l/s/m) pour une pente donnée (12 %, 25 % et 50 %) et une rugosité donnée du coursier (coefficient de Manning $n = 0,015$). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 85 **Figure 37.** Relation entre la chute franchissable par la nage par un poisson, sa vitesse maximale de nage et son endurance (pente = 25 %, rugosité $n = 0,020$, débit unitaire $q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 86 **Figure 38.** Évolution des chutes franchissables par la nage par un poisson en fonction de sa vitesse maximale de nage (U_{max}) et de son endurance (t), pour un coursier donné (pente 25 %, rugosité $n = 0,020$). Les trois abaques correspondent à 3 débits unitaires différents ($q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s/m}$, $q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$ et $q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s/m}$). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 87 **Figure 39.** Évolution des chutes franchissables par la nage par un poisson en fonction de sa vitesse maximale de nage (U_{max}) et de son endurance (t), pour un débit unitaire donné ($q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$). Les trois abaques correspondent à des coursiers de différentes pentes (12 %, 25 % et 50 %) présentant une rugosité constante ($n = 0,020$). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 88 **Figure 40.** Évolution des chutes franchissables par la nage par un poisson en fonction de sa vitesse maximale de nage (U_{max}) et de son endurance (t), pour un débit unitaire donné ($q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$) et un coursier de pente constante (12 %). Les trois abaques correspondent à des coursiers de rugosités variables ($n = 0,010$, $n = 0,020$ et $n = 0,030$). D'après Baudoin *et al.*, 2014.

- 89 **Figure 41.** Évolution des chutes franchissables en fonction de la vitesse maximale de nage du poisson (U_{max}) en considérant une endurance comprise entre 10 et 20 s, quels que soient les autres paramètres (pente du coursier, rugosité du coursier, débit unitaire). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 90 **Figure 42.** Exemples de redans au niveau de seuils inclinés.
- 91 **Figure 43.** Écoulement en nappes plongeantes (ressauts) et écoulement de surface au niveau de seuils présentant des redans. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 91 **Figure 44.** Transition entre un écoulement avec ressaut et un écoulement de surface en fonction du débit unitaire et des caractéristiques du redan. D'après Yasuda et Ohtsu (1999) et modifié par Baudoin *et al.*, 2014.
- 92 **Figure 45.** Conditions nécessaires pour qu'un redan soit franchissable. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 92 **Figure 46.** Schéma de principe d'un seuil incliné avec chute aval. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 93 **Figure 47.** Écoulement sur un parement incliné présentant une chute aval.
- 97 **Figure 48.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité piscicole ICE par nage ou saut au niveau d'un seuil à parement incliné (pente ≤ 150 %).
- 98 **Figure 49.** Exemples de seuils en enrochements dans les départements insulaires d'outre-mer.
- 99 **Figure 50.** Exemple de profils de vitesses sur une rampe en enrochements jointifs ($D_{65} = 0,85$ m) présentant une pente de 10 %. D'après Larinier *et al.* (2006).
- 100 **Figure 51.** Qualité d'écoulements entre enrochements.
- 103 **Figure 52.** Seuil en enrochements avec redan.
- 109 **Figure 53.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité piscicole ICE par nage au niveau d'un seuil en enrochements.
- 110 **Figure 54.** Écoulements au-dessus d'organes mobiles.
- 111 **Figure 55.** Schémas de vannes en charge et non en charge. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 111 **Figure 56.** Paramètres permettant de caractériser un écoulement sous vanne en régime dénoyé. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 112 **Figure 57.** Paramètres permettant de caractériser un écoulement sous vanne en régime noyé. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 116 **Figure 58.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité piscicole ICE d'écoulements sous organes mobiles ou par des orifices de fond.
- 117 **Figure 59.** Exemples de différents types d'ouvrages. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 118 **Figure 60.** Exemples de fortes vitesses au niveau de passages busés.
- 118 **Figure 61.** Exemple de faibles tirants d'eau au niveau d'un radier sous un pont routier.
- 119 **Figure 62.** Exemples de chutes en aval d'ouvrages routiers.
- 119 **Figure 63.** Exemple de mise en vitesses en amont d'un passage busé.
- 120 **Figure 64.** Exemples de problèmes pouvant survenir suite à un mauvais calage longitudinal d'un ouvrage de franchissement routier ou ferroviaire.
- 120 **Figure 65.** Exemples d'ouvrages fortement comblés en amont par des embâcles.
- 121 **Figure 66.** Exemples d'ouvrages induisant un changement de luminosité plus ou moins progressif voire brusque.
- 123 **Figure 67.** Évolution de la distance parcourue en fonction de la vitesse de l'écoulement pour les groupes d'espèces n°1 et 2.



- 124 **Figure 68.** Évolution de la distance parcourue en fonction de la vitesse de l'écoulement pour les groupes d'espèces n°3 et 4.
- 125 **Figure 69.** Schéma de principe d'un ouvrage routier présentant une chute aval. D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 127 **Figure 70.** Diverses configurations d'écoulement dans les buses et méthodologies employées pour estimer leur franchissabilité par la nage.
- 133 **Figure 71.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité piscicole ICE au niveau d'un ouvrage routier ou d'un passage busé.
- 135 **Figure 72.** Exemples d'ouvrages complexes pouvant être décomposés en une succession d'ouvrages « simples ».
- 135 **Figure 73.** Exemple d'ouvrage complexe ne pouvant pas être décomposé en plusieurs ouvrages « simples ».
- 138 **Figure 74.** Exemples de chutes naturelles créant des zones potentielles de repos (anfractuosités) et assurant une certaine franchissabilité pour les civelles.
- 139 **Figure 75.** Exemples de voies de reptation potentielles à analyser pour l'anguille (matérialisées par les tirets rouges). Ces voies sont également des voies potentielles de ventousage pour les *Sicydiinae* ou les post-larves et juvéniles de petites espèces benthiques et des voies de marche pour les macro-crustacés.
- 140 **Figure 76.** Décomposition du poids d'une anguille en deux composantes : une composante favorable au maintien du poisson contre la paroi (en jaune) et une composante défavorable (en rouge). D'après Baudoin *et al.*, 2014.
- 142 **Figure 77.** Anguille européenne : civelle et anguille (*A. anguilla*), et Anguille du Mozambique (*A. mossambica*).
- 145 **Figure 78.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité ICE pour le franchissement par reptation chez les anguilles.
- 151 **Figure 79.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité ICE pour le franchissement par ventousage et escalade chez les *Sicydiinae* ou les post-larves et juvéniles de petites espèces benthiques.
- 156 **Figure 80.** Arbre décisionnel permettant de définir les classes de franchissabilité ICE pour le franchissement par la marche chez les macro-crustacés.



Liste des tableaux

- 15 **Tableau 1.** Liste des poissons amphidromes des différents Drom insulaires et caractéristiques des stades migratoires
- 16 **Tableau 2.** Liste des crustacés décapodes amphidromes des différents Drom insulaires et caractéristiques des stades migratoires
- 17 **Tableau 3.** Liste des poissons catadromes des différents Drom insulaires et caractéristiques des stades migratoires
- 18 **Tableau 4.** Liste des poissons vicariants et sporadiques des différents Drom insulaires et caractéristiques des stades migratoires
- 35 **Tableau 5.** Critères de taille retenus pour les différentes espèces considérées
- 38 **Tableau 6.** Évolution théorique de la hauteur de saut d'un poisson d'une longueur donnée et de sa vitesse initiale U_{\max} en fonction de l'angle d'incidence du saut et de la fraction de la longueur L_p du poisson rajoutée à la hauteur théorique Y_{\max} de saut
- 64-65 **Tableau 7. et 7bis.** Liste des espèces considérées dans le cadre de la présente méthode, territoire concerné, modes de franchissement, tailles et groupes ICE associés
- 66 **Tableau 8.** Tableau récapitulatif des groupes d'espèces ICE et des modes de franchissement associés
- 67 **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
- 77 **Tableau 10.** Ordre de grandeur de la profondeur minimale de fosse ($H_{f_{\min}}$) nécessaire pour permettre au poisson de franchir un obstacle à parement vertical ($> 150 \%$), en fonction de la hauteur de chute (DH). D'après Baudoin *et al.*, 2014
- 78 **Tableau 11.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité piscicole, par nage ou saut, de seuils verticaux ou quasi verticaux (pente $> 150 \%$)
- 93 **Tableau 12.** Détermination de la classe de franchissabilité ICE globale d'un ouvrage combinant un seuil à parement incliné et une chute aval. D'après Baudoin *et al.*, 2014
- 93 **Tableau 13.** Ordre de grandeur de la profondeur de fosse minimale ($H_{f_{\min}}$) nécessaire pour permettre au poisson de franchir par la nage un obstacle à parement incliné (pente $\leq 150 \%$)
- 94 **Tableau 14.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité de seuils à parement incliné (pente $\leq 150 \%$)



- 101 **Tableau 15.** Tirant d'eau minimal ($h_{\min \text{ enroch}}$) permettant le franchissement des seuils en enrochements par la nage, en fonction de la pente moyenne du seuil. Modifié d'après Baudoin *et al.*, 2014
- 104 **Tableau 16.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité des seuils en enrochements (pour des pentes moyennes de seuil $\leq 9\%$)
- 106 **Tableau 17.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité des seuils en enrochements (pour des pentes moyennes de seuil $> 9\%$)
- 114 **Tableau 18.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité d'écoulements sous organes mobiles ou par des orifices de fond
- 126 **Tableau 19.** Détermination de la classe de franchissabilité ICE globale d'un ouvrage de franchissement routier présentant une chute aval. D'après Baudoin *et al.*, 2014
- 128 **Tableau 20.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité des ouvrages routiers ou passages busés par la nage, en fonction de leur pente et de leur longueur
- 130 **Tableau 21.** Synthèse des valeurs seuils permettant de définir les classes de franchissabilité des ouvrages routiers ou passages busés par la nage en fonction de leur longueur et des vitesses d'écoulement dans l'ouvrage
- 136 **Tableau 22.** Détermination de la classe de franchissabilité ICE globale d'un ouvrage complexe constitué par une série de 2 ouvrages « simples »
- 141 **Tableau 23.** Ordre de grandeur des paramètres favorables ($\cos 'a'$) et défavorable ($\sin 'a'$) au franchissement par reptation de l'anguille, en fonction de la pente de l'obstacle. D'après Baudoin *et al.*, 2014
- 143 **Tableau 24.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une zone de reptation pour le sous-groupe 3a (anguilles de longueur > 500 mm) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 143 **Tableau 25.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une zone de reptation pour le sous-groupe 3b (anguilles de longueur comprise entre 100 et 500 mm) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 143 **Tableau 26.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une zone de reptation pour le sous-groupe 3c (civelles de longueur < 100 mm) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 149 **Tableau 27.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une voie d'escalade pour le sous-groupe 1b (post-larves et juvéniles de petites espèces benthiques, c'est-à-dire *Eleotridae* et *Gobiidae* hors *Sicydiinae*) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 149 **Tableau 28.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une voie de ventousage pour le sous-groupe 4a (sub-adultes et adultes de *Gobiidae Sicydiinae*) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 149 **Tableau 29.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une voie de ventousage pour le sous-groupe 4b (post-larves et juvéniles de *Gobiidae Sicydiinae*) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 154 **Tableau 30.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une voie de marche pour le sous-groupe 5a (*Grapsidae* et *Palaemonidae* adultes et subadultes) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage
- 154 **Tableau 31.** Classes de franchissabilité d'ouvrages présentant une voie de marche pour le sous-groupe 5b (*Atyidae*, *Xiphocarididae* ainsi que les juvéniles de *Grapsidae* et *Palaemonidae*) en fonction de la pente et de la longueur de la voie de passage