

Date: 5-Mar-20	Deliverable	 ARCADIS <small>Design & Consultancy for natural and built assets</small>
Project: Life4Fish project	Arcadis	
Version: V1	Rue des Guillemins, 26 - B-4000 Liège (Belgique) ☎ + 32 (4) 349 56 00 - 📠 + 32 (4) 349 56 10 olivier.machiels@arcadis.com - www.arcadis.com	Contact name: Olivier Machiels

DOWNSTREAM FISH MIGRATION ALONG THE LOW MEUSE RIVER



Action D1

Méthodologie de traitement des données

Méthodologie de traitement des données





Révision				
Ind.	Date	Published by	Checked by	Remarks
1	07/10/19	Olivier Machiels (Arcadis)		First version



TABLE OF CONTENTS

I.	Introduction.....	4
II.	Données d'entrées	5
II.1	Etudes de dévalaison	5
II.2	Pêches de caractérisation anguilles	5
III.	Calcul des stocks d'anguilles disponibles à la dévalaison.....	7
III.1	Répartition des individus en Meuse.....	7
III.2	Calcul du nombre d'individus disponibles à la dévalaison.....	8
IV.	Calcul des taux de dévalaison	9
IV.1	Mouvement de dévalaison	9
IV.2	Présence dans le réseau.....	9
IV.3	Taux journalier de migration.....	9
IV.4	Taux horaire de migration.....	9
IV.5	Individus dévalant	10
V.	Calcul des taux d'impact des sites	11
V.1	Détermination des voies de passage	11
V.1.1	Présence	11
V.1.2	Passage.....	11
V.1.3	Voies de passage	11
V.2	Calcul des impacts par ouvrage	14
V.3	Calcul du taux de survie du site.....	14
VI.	Calcul des taux d'impact des biefs.....	15
VII.	Etablissement des indicateurs	16
VIII.	Efficacité des mesures mises en œuvre	17
VIII.1	Exutoires.....	17
VIII.2	Barrières comportementales	17
VIII.3	Modèle de turbinage.....	18



I. Introduction

Ce document servira de base méthodologique pour le traitement des données de dévalaison issues des études de terrain (action D2). Les résultats de l'action D2 servent donc de point de départ à cette note. Ces données sont traitées de manière à définir les voies et délais de passages, ainsi que les périodes de dévalaison devant servir à établir les éléments nécessaires à la modélisation globale de la zone d'études.

II. Données d'entrées

II.1 Etudes de dévalaison

Les données d'entrées sont transmises par Profish comme résultat de leurs études de terrain. Elles sont établies sous forme d'un tableau Excel reprenant pour chaque poisson injecté :

- Son ID
- Le lot auquel il appartient
- Le lieu de lâcher (repéré par sa cumulée de Meuse)
- La date et l'heure de lâcher
- Sur chacun des sites :
 - Pour la première détection amont
 - La date et l'heure
 - Le nombre de détections par ouvrage sur un délai de 30s et 1min suivant la première détection
 - Le lieu de détection établi sur base d'un critère minimum de 80% de détection à un ouvrage
 - Pour la dernière détection amont
 - La date et l'heure
 - Le nombre de détections par ouvrage sur un délai de 30s et 1min précédant la dernière détection
 - Le lieu de détection établi sur base d'un critère minimum de 80% de détection à un ouvrage
 - Pour la première détection aval
 - La date et l'heure
 - Le lieu de détection (pouvant être un site aval)
 - Pour la dernière détection sur le site
 - La date et l'heure
 - Le lieu de détection
- Pour le canal Albert
 - Pour la première détection
 - La date et l'heure
 - Le lieu de détection
 - Pour la dernière détection
 - La date et l'heure
 - Le lieu de détection

L'ensemble de ces données sont établies en faisant abstraction des données issues des hydrophones définis pour la 2D sur les sites des Grands-Malades et d'Ivoz-Ramet. L'ensemble des heures sont exprimées en UT.

II.2 Pêches de caractérisation anguilles

Les données d'entrées sont transmises par UNamur comme résultat de leurs études de terrain. Elles reprennent la caractérisation relative des stocks entre les biefs. Pour chaque bief, ainsi que pour la Meuse belge à l'amont et à l'aval de la zone d'études, elles reprennent :

- La densité d'individus
- Le taux d'individus argentés
- Le taux d'individus considérés sains (capable de mener à bien une migration complète).



Pour les principaux affluents, elles reprennent :

- Le taux d'individus argentés
- Le taux d'individus considérés sains (capable de mener à bien une migration complète).

III. Calcul des stocks d’anguilles disponibles à la dévalaison

Le calcul de répartition des individus disponibles à la dévalaison sert de donnée d’entrée de notre modèle d’analyse de la zone d’études tel que d’écrit dans la nomenclature (De Oliveira et al. 2018). Il est établi sur base des données de la littérature corrigées par les données de terrain récoltées par UNamur.

Les données de base sont issues du Belgian Management Plan for Eel (Vlietinck et al. 2007). Dans ce document est donné une distribution des stocks d’anguilles par bassin versant pour les cours d’eau non canalisés du bassin de la Meuse belge. Pour les cours d’eau canalisés (Meuse, Sambre et Canal Albert) une estimation du stock global est donnée.

Tabel 17. Répartition par bassins hydrographiques des effectifs numériques et de la biomasse de l’anguille dans les cours d’eau non canalisés du bassin de la Meuse en Wallonie pour la situation 1990-2007. Superficie colonisée: 1.566 ha (sauf Meuse, Sambre et Canal Albert).

Bassin	Superficie (ha)	Nombre	Biomasse (kg)
Ourthe-Ambève-Vesdre	-	10.637	4.124
Lesse-Lhomme	-	4.113	1.490
Semois	-	4.017	2.484
Méhaigne	-	2.264	753
Hermeton	-	1.167	188
Geule	-	748	217
Viroin	-	649	384
Berwinne	-	632	203
Ruisseau des Awirs	-	472	102
Houille	-	457	199
Affluents Sambre	-	358	188
Molignée	-	229	190
Bocq	-	214	70
Samson	-	121	32
Chiers	-	101	21
TOTAL		25.579	10.653

Tabel 18. Essai d’estimation de l’ordre de grandeur du stock d’anguille européenne dans la partie belge du bassin de la Meuse.

Milieu	Superficie (ha)	Nombre	Biomasse (t)
Meuse	1.600	113.700	22,0
Canal Albert	100	7.100	1,4
Sambre	300	1.200	0,2
Affluents en Wallonie	1.566	25.600	10,7
Grensmaas	-	-	-
Affluents Grensmaas	-	-	-
Total sauf Grensmaas	3.566	147.600	34,3

Ces valeurs doivent être interprétées pour permettre d’aboutir à la répartition des stocks disponibles à la dévalaison à chaque point d’entrée du système étudié (au niveau des 5 biefs et de leurs affluents, de la Meuse à l’amont des Grands-Malades et à l’aval de Lixhe, et du Canal Albert).

III.1 Répartition des individus en Meuse

Tout d’abord, le nombre d’individu total pour la Meuse doit être réparti sur entre les différents biefs en fonction des densités relatives de population relevées par UNamur.

On discrétisera selon 7 zones : Meuse amont (de la frontière française à Grands-Malades), Bief 1 (Grands-Malades – Andenne), Bief 2 (Andenne – Ampsin-Neuville), Bief 3 (Ampsin-Neuville – Ivoz-Ramet), Bief 4 (Ivoz-Ramet – Monsin), Bief 5 (Monsin – Lixhe), et Meuse aval (de Lixhe à la frontière Néerlandaise). Pour chacune des zones, on connaît la densité moyenne d’individu D_i (résultant des pêches réalisées au sein de chacune des zones) et la longueur de cours d’eau considérée L_i .

On définit la densité relative de chaque zone D_{ri} comme le rapport de la densité moyenne de la zone sur la somme des produits densité moyenne par longueur de cours d’eau de l’ensemble des 7 zones :



$$D_{ri} = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^7 (D_i \times L_i)}$$

Le nombre d'individus sur chacune des 7 zones est alors calculé en multipliant le nombre total d'individus en Meuse par la densité relative et la longueur de la zone concernée :

$$n_i = 113700 \times D_{ri} \times L_i$$

III.2 Calcul du nombre d'individus disponibles à la dévalaison

Pour connaître le nombre d'individus disponibles à la dévalaison, il faut corriger les stocks pour tenir compte :

- Le taux d'individus argentés τ_a
- Le taux d'individus considérés sains (capable de mener à bien une migration complète) τ_s

Ainsi pour chacun des affluents et chacune des 7 zones établies ci-avant en Meuse, le nombre d'individus sera pondéré par ces deux taux résultants des pêches réalisées par UNamur.

$$N_{in i} = n_i \times \tau_{a i} \times \tau_{s i}$$

IV. Calcul des taux de dévalaison

La caractérisation des taux de dévalaison journaliers est utile afin de vérifier le bienfondé du modèle de dévalaison à la base des règles de turbinage, mais aussi en vue du développement futur d'un modèle général de calcul des impacts saisonniers sur chaque espèce sur base des seules données hydrologiques. La première tâche est réalisée par EDF R&D au sein de l'action C3 visant à améliorer les modèles de turbinages mis en place sur l'ensemble des sites. La seconde action sera réalisée par Luminus au sein de l'action D1 visant à établir un modèle global pour la vérification des différents objectifs du projet.

A ce stade de l'étude, les données de terrain seront simplement traitées pour mettre en avant chaque mouvement correspondant à une migration vers l'aval en regard des conditions hydrologiques liées.

IV.1 Mouvement de dévalaison

Chaque première détection à l'amont ou l'aval d'un site, d'un poisson précédemment présent en amont, caractérise un mouvement vers l'aval considéré comme migratoire. On ne considèrera cependant pas les mouvements postérieurs à un mouvement de remontée complète d'un élément « bief » ou d'un élément « site ».

IV.2 Présence dans le réseau

Un poisson est considéré comme présent dans le réseau à partir du jour où il est relâché dans le réseau jusqu'au premier jour où :

- Il est détecté à l'aval de Lixhe, dans le canal Albert ou dans la prise d'eau de Tihange, OU
- Il effectue un mouvement de remontée d'un élément « bief » ou « site » (arrêt de migration – on considèrera le jour de dernière détection aval), OU
- Il est détecté pour la dernière fois par le réseau.

IV.3 Taux journalier de migration

Les taux de dévalaison sont mesurés de manière globale sur l'ensemble du réseau en fonction du nombre de poissons encore présents le long de celui-ci.

Le taux journalier de migration est établi pour chaque jour de la période de suivi comme le rapport du nombre de poissons effectuant au moins un mouvement de dévalaison au cours de la journée, sur le nombre de poissons présents dans le réseau le même jour. Il est établi en regard du débit journalier de la Meuse et du gradient de débit (par rapport à la moyenne des 5 jours précédents) mesurés à Amay.

Les données seront transmises à EDF R&D comme résultat du présent traitement. Elles sont établies sous forme d'un tableau Excel reprenant pour chaque jour :

- Le nombre de poissons dévalant
- Le nombre de poissons présent dans le réseau
- Le débit moyen mesuré à Amay
- Le gradient de débit par rapport à la moyenne des 5 jours précédents mesuré à Amay

IV.4 Taux horaire de migration

Pour chaque jour, l'influence de la photopériode sur la migration est établie en calculant les taux horaires de migration. Ces taux sont calculés à chaque heure comme le rapport du nombre de poissons effectuant au moins un mouvement de dévalaison au cours de l'heure, sur le nombre de



poissons dévalant le même jour. Ils sont établis en regard des heures de lever et de coucher du soleil.

Les données seront transmises à EDF R&D comme résultat du présent traitement. Elles sont établies sous forme d'un tableau Excel reprenant pour chaque heure :

- Le nombre de poissons dévalant
- Le nombre de poissons dévalant le même jour
- Le décalage par rapport au lever et au coucher du soleil

IV.5 Individus dévalant

Le nombre d'individus dévalant au sein de chaque bief (N_{in}) pourra alors être établi sur une base horaire comme le produit de la part du stock disponible à la dévalaison dans le bief (établie ci-avant), et des taux journaliers et horaires de migration.

V. Calcul des taux d'impact des sites

V.1 Détermination des voies de passage

Les voies de passage sont établies pour chaque poisson sur base des données de détection et des données d'ouverture des différents ouvrages.

V.1.1 Présence

Un poisson est considéré comme présent à l'amont d'un site si :

1. Il est détecté par un hydrophone de l'amont du site OU
2. Il est présent respectivement sur un site amont et un site aval

Un poisson est considéré comme présent à l'aval d'un site si :

1. Il est détecté par un hydrophone de l'aval du site OU
2. Il est présent respectivement sur un site amont et un site aval

V.1.2 Passage

Un poisson est considéré comme franchissant un site si il est présent respectivement à l'amont et à l'aval du site.

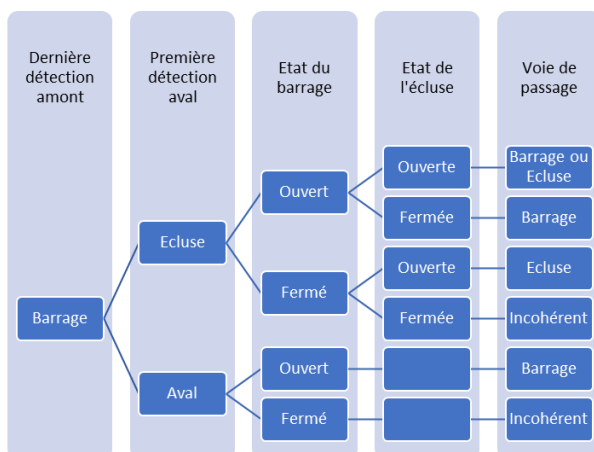
Un poisson est considéré comme non-franchissant un site si il est présent respectivement à l'amont du site et sur un site amont. Dans ce cas on considèrera que sa migration est stoppée au niveau de l'amont du site.

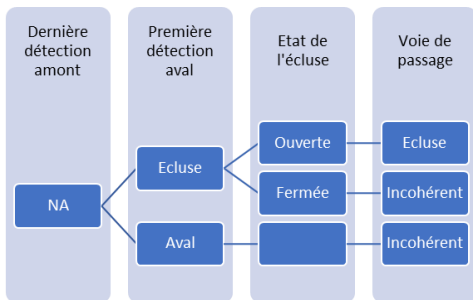
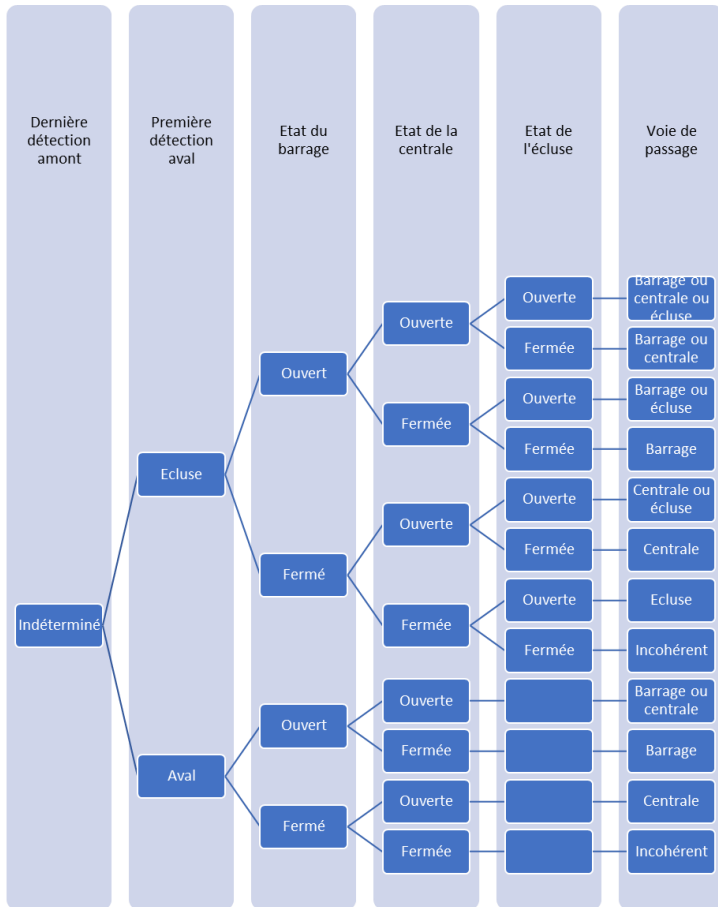
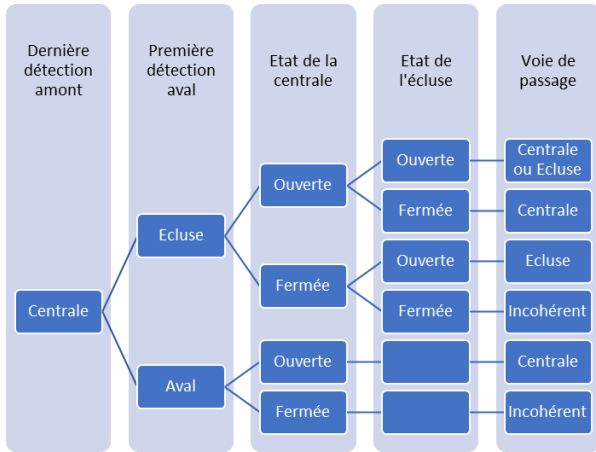
Un poisson est considéré comme franchissement indéterminé si sa dernière présence est à l'amont du site. Dans ce cas on considèrera que sa migration est stoppée au niveau du site.

V.1.3 Voies de passage

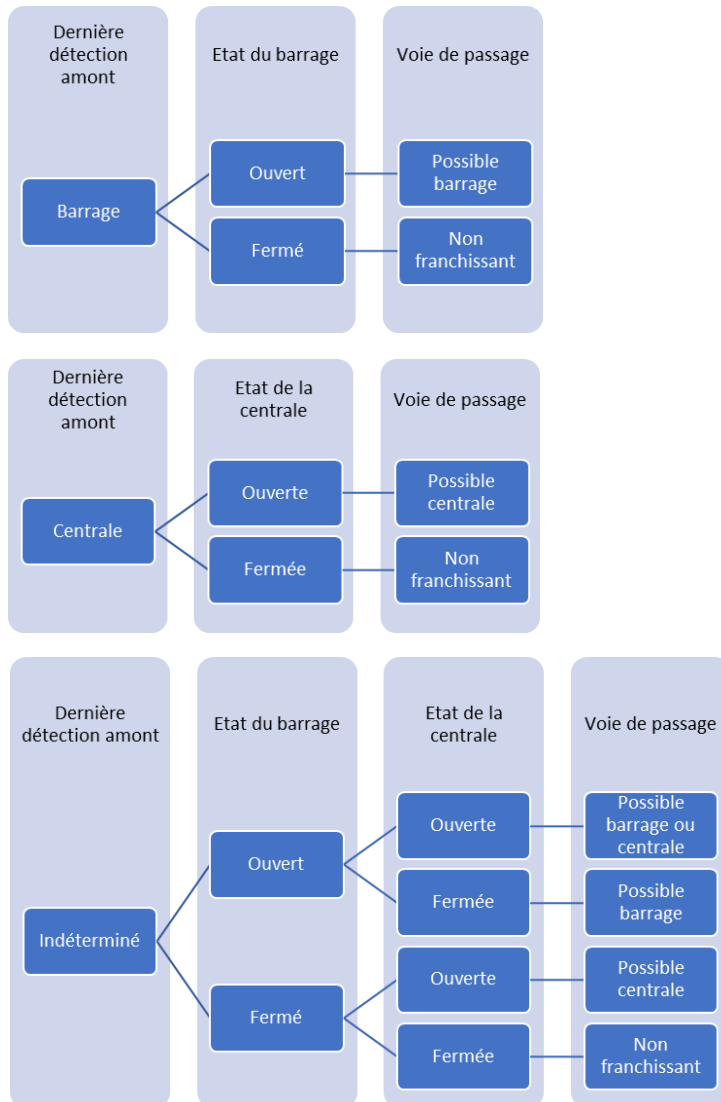
Pour qu'une voie de passage soit avérée, il faut que le poisson soit considéré comme franchissant, qu'il soit détecté à un ouvrage et que cet ouvrage soit ouvert au moment de la détection.

Pour les poissons franchissant, on a donc les schémas de traitement suivant en fonction du lieu de dernière détection amont :





Pour les poissons au franchissement indéterminé, on a les schémas de traitement suivant en fonction du lieu de dernière détection amont :



Sur cette base, les passages sont classés suivant les catégories suivantes :

- Barrage
- Centrale
- Ecluse
- Non franchissant
- Possible barrage
- Possible centrale
- Possible écluse
- Incohérent

Les 4 premières catégories correspondent directement aux données d'entrées définies dans la nomenclature (N_{in}^{dam} , N_{in}^{hpp} , N_{in}^{nl} , $N_{failure}$). Les 4 suivantes doivent donc être traitées pour rentrer dans les premières.

Sur base des observations de l'état initial, l'hypothèse est faite que les franchissements possibles sont des franchissements réels avec disparition avant d'atteindre la station aval.

Les franchissements incohérents sont des franchissements réels sans possibilité de déterminer la voie de passage. Ils seront répartis au prorata des autres franchissements observés. Ils ne seront cependant pas pris en compte dans l'établissement de lois de répartition en fonction des conditions hydrologiques.

V.2 Calcul des impacts par ouvrage

L'écluse et le barrage sont considérés comme des ouvrages à impact nul. Le nombre d'individus sortant sain est donc égal au nombre d'individus franchissant ($N_{out}^{dam} = N_{in}^{dam}$; $N_{out}^{nl} = N_{in}^{nl}$).

Seuls les individus franchissant la centrale subissent un impact. Cet impact est issu des études réalisées par injection et recapture sur les différents types de turbine par Profish et UNamur. Les valeurs pour les sites de Monsin et Ivoz-Ramet seront adaptées après réalisation des tests programmés sur le site de Monsin.

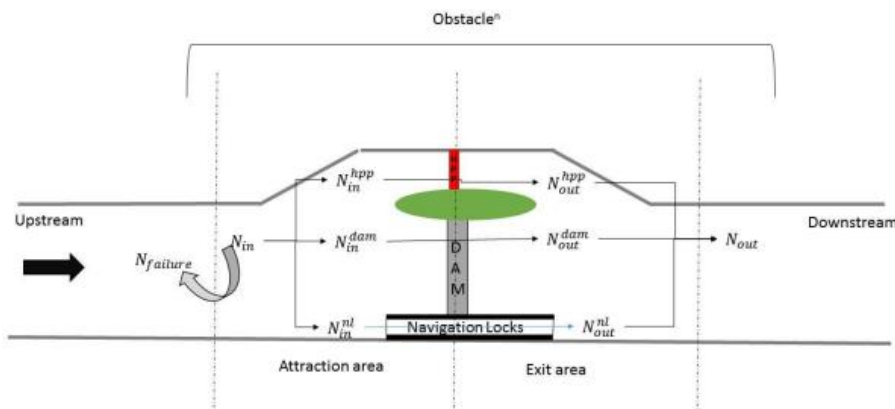
Plant		Grands-Malades	Andenne	Ampsin-Neuville	Ivoz-Ramet	Monsin	Lixhe
Salmon smolts	Direct impact	2,0%	6,7%	6,7%	10%	10%	6,7%
	Moreover impact after 72h	0,5%	0,6%	0,6%	0%	0%	0,6%
Silver eels	Direct impact	2,0%	0,7%	2,0%	0%	0%	2,0%
	Moreover impact after 72h	19,1%	10,6%	19,1%	20%	20%	19,1%

Les études menées par UNamur démontrent qu'il n'y a pas d'impact sanitaire supplémentaire à prendre en compte.

Le nombre d'individus franchissant la centrale (N_{in}^{hpp}) est donc pondéré par $1 - I^{hpp}$ pour obtenir le nombre d'individus franchissant sain (N_{out}^{hpp}).

V.3 Calcul du taux de survie du site

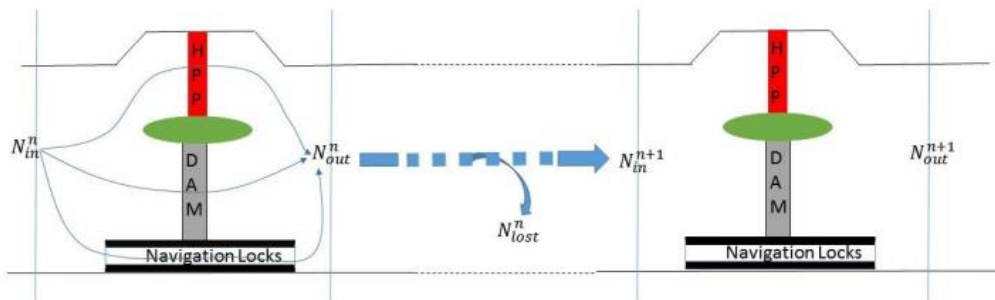
Conformément à la nomenclature, le taux de survie du site est évalué comme le rapport entre nombre d'individus sortant sains (N_{out}) sur le nombre d'individus présent à l'amont (N_{in}).



On retiendra dès lors deux impacts : le taux de non franchissant ($N_{\text{failure}}/N_{\text{in}}$) et le taux d'impact machines ($N_{\text{in}}^{\text{hpp}} \times I^{\text{hpp}}/N_{\text{in}}$).

VI. Calcul des taux d'impact des biefs

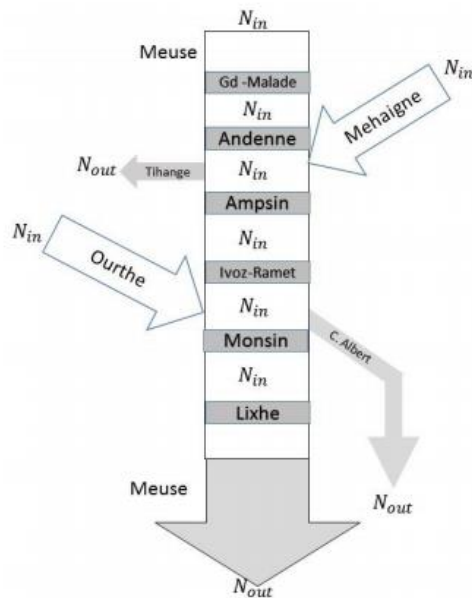
Les suivis sont effectués au niveau des sites, l'étude des biefs se fait donc par différence entre l'aval d'un site et l'amont du site suivant. Les pertes enregistrées pouvant apparaître à n'importe quel endroit du bief (limite de la présente étude). Le taux de survie du bief est donc calculé comme le rapport du nombre d'individus présent à l'amont du site aval (N_{in}^{n+1}) sur le nombre d'individus présent à l'aval du site amont issus du franchissement sain du site précédent ou de l'injection au sein du bief ($N_{\text{out}}^n + N_{\text{in}}^{\text{bief}}$).



On retiendra dès lors deux impacts : le taux de non franchissant ($(N_{\text{out}}^n + N_{\text{in}}^{\text{bief}} - N_{\text{in}}^{n+1} - N_{\text{in}}^{\text{WI}})/(N_{\text{out}}^n + N_{\text{in}}^{\text{bief}})$) et le taux d'impact des prises d'eau ($N_{\text{in}}^{\text{WI}}/(N_{\text{out}}^n + N_{\text{in}}^{\text{bief}})$).

VII. Etablissement des indicateurs

Les données de suivi sur site sont utilisées pour développer les indicateurs 1 et 2 sur le taux de mortalités des sites sur chacune des espèces. Pour ce faire, une modélisation globale de la zone d'études est nécessaire. Cette modélisation est réalisée en discrétisant la zone en éléments « site » et « bief » alignés l'un derrière l'autre tel que défini dans la nomenclature.



Les stocks d'individus dévalant (N_{in}) établis ci-avant sont alors introduits dans les éléments « bief ». On applique ensuite depuis l'amont vers l'aval les taux d'impact calculés ci-avant pour chaque élément « site » ou « bief ». Deux taux sont finalement mesurés à l'échelle globale :

- le taux de survie global mesuré comme le rapport du nombre total de poissons aboutissant à l'aval (N_{out}) sur le nombre total de poissons considérés dans le système (N_{in}).
- le taux d'impact des sites mesuré comme le rapport de la somme des poissons arrêtés au niveau d'un élément « site » sur le nombre total de poissons considérés dans le système.

Ce dernier représente les indicateurs 1 et 2 d'efficacité du projet. Le premier permet de se rendre compte de l'influence du projet sur la zone d'études.

A ce stade, le modèle global est établi de manière stationnaire sur une saison complète tenant compte de taux d'impacts globaux mesurés sur chaque site et bief. A termes, le modèle devra tenir compte de l'influence de l'hydrologie propre à chaque période. Les stocks seront dès lors introduits en fonction du débit journalier et de la photopériode, tenant compte des taux de dévalaison mesurés ci-après. Les taux d'impacts des sites et biefs seront également établis en fonction de la variation des conditions de débit et d'ouverture des ouvrages. Les taux globaux d'impacts seront alors établi en intégrant l'ensemble des impacts journaliers sur une saison complète de dévalaison.

VIII. Efficacité des mesures mises en œuvre

Il convient également de juger de l'efficacité des différentes mesures (barrières, exutoires, règles de turbinage) mises en œuvre. Ces dernières seront analysées en regard de deux taux :

- Le succès de migration calculé comme le rapport du nombre d'individus guidés de manière saine vers l'aval sur le nombre d'individus présents dans le champs d'action de la mesure produite.
- La protection calculé comme le rapport du nombre d'individus empêchés d'entrer dans la centrale sur le nombre d'individus présents dans le champs d'action de la mesure produite.

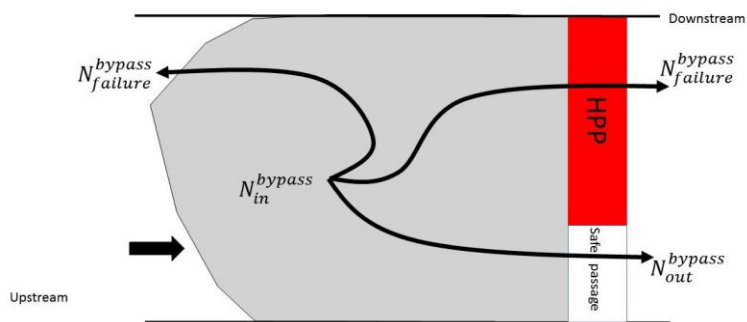
VIII.1 Exutoires

Pour les exutoires, on caractérisera la zone d'influence comme l'ensemble de la zone amont comprenant l'obstacle à éviter (mur de masque ou centrale) et l'entrée de l'exutoire (bypass ou barrage). On caractérisera ensuite 3 voies de passage possibles :

- Passage par l'exutoire (N_{out}^{exu})
- Passage par l'obstacle (N_{out}^{HPP})
- Renvoi vers l'amont ($N_{failure}$)

Le succès de migration est alors calculé comme le rapport N_{out}^{exu} / N_{in} .

Le taux de protection est calculé comme le rapport $(N_{in} - N_{out}^{HPP}) / N_{in}$.



Pour chaque poisson, la voie de passage est établie suivant le protocole précédent. La présence dans la zone d'influence amont est établie si et seulement si le poisson est détecté par un des hydrophones dédiés à cette zone.

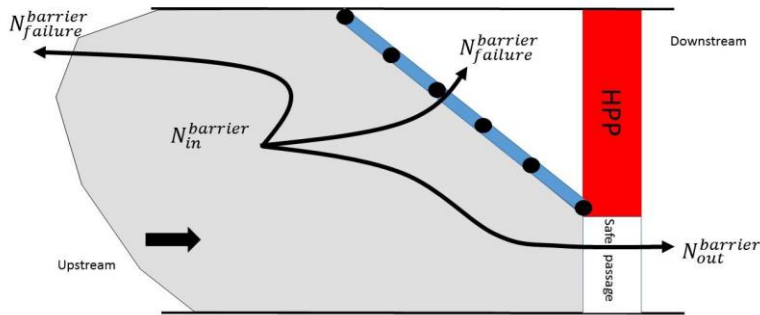
VIII.2 Barrières comportementales

Pour les barrières, on caractérisera la zone d'influence comme l'ensemble de la zone directement à l'amont de la barrière. On caractérisera ensuite 3 voies de passage possibles :

- Passage par un exutoire (N_{out}^{exu})
- Passage par la barrière ($N_{out}^{barrier}$)
- Renvoi vers l'amont ($N_{failure}$)

Le succès de migration est alors calculé comme le rapport N_{out}^{exu} / N_{in} .

Le taux de protection est calculé comme le rapport $(N_{in} - N_{out}^{barrier}) / N_{in}$.



Pour chaque poisson, la voie de passage est établie suivant le protocole précédent. La présence dans la zone d'influence amont est établie si et seulement si le poisson est détecté par un des hydrophones dédiés à cette zone. Le passage par la barrière est établi si le poisson est détecté successivement dans la zone d'influence amont de la barrière puis par un des hydrophones caractérisant l'entrée de la centrale.

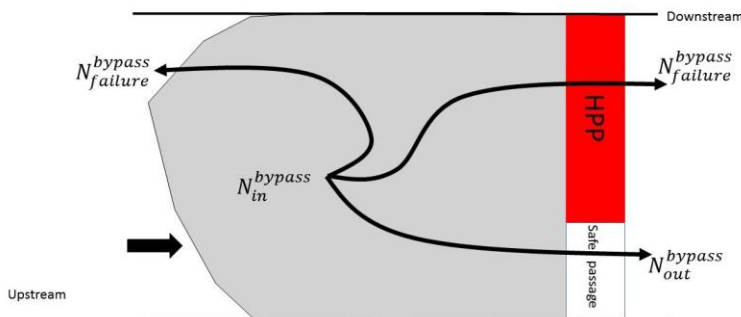
VIII.3 Modèle de turbinage

Le modèle de turbinage agissant à l'échelle du site par une redistribution des débits disponibles, son efficacité sera jugée à la même échelle. On caractérisera la zone d'influence comme l'ensemble de la zone amont du site. On caractérisera ensuite 3 voies de passage possibles :

- Passage par une voie saine (N_{out}^{safe})
- Passage par la centrale (N_{out}^{HPP})
- Renvoi vers l'amont ($N_{failure}$)

Le succès de migration est alors calculé comme le rapport N_{out}^{safe} / N_{in} .

Le taux de protection est calculé comme le rapport $(N_{in} - N_{out}^{HPP}) / N_{in}$.



Pour chaque poisson, la voie de passage et la présence amont sont établies suivant le protocole précédent.