



MORTALITE CUMULEE
DES SAUMONS ET DES ANGUILLES
DANS LES TURBINES DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE
Mise à jour 2016



*Cédric Briand , Marion Legrand , Pierre-Marie Chapon, Laurent Beaulaton,
Gaëlle Germis, Marie-Andrée Arago, Timothée Besse,
Laura De Canet, Pierre Steinbach*

Mai 2016



MORTALITE CUMULEE DES SAUMONS ET DES ANGUILLES DANS LES TURBINES DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE

Auteurs

Cédric Briand	(EPTB-Vilaine)
Marion Legrand	(Loire Grands Migrateurs)
Pierre-Marie Chapon	(ONEMA-INRA)
Laurent Beaulaton	(ONEMA-INRA)
Gaëlle Germis	(Bretagne Grands Migrateurs)
Marie-Andrée Arago	(ONEMA)
Timothée Besse	(Loire Grands Migrateurs)
Laura De Canet	(Loire Grands Migrateurs)
Pierre Steinbach	(ONEMA)

FÉVRIER 2015 RÉVISION MAI 2016

VERSION 0.3.2

MISE À JOUR ONEMA-LOGRAMI-IAV POUR LE BASSIN DE LA LOIRE



Résumé

L'effet des barrages sur la mortalité en dévalaison est simulé à l'aide de modèles de répartition et de mortalité dans les ouvrages hydroélectriques à l'échelle de Loire-Bretagne (155 000 Km²). Les productions de smolts sont évaluées par la modélisation des surfaces d'équivalent radiers rapides, à 2 055 ha sur la Loire et 1 131 ha en Bretagne. Ces surfaces ne représentent que 24% et 39% des surfaces productives accessibles dans les conditions historiques. Deux modèles séparés pour la Loire et la Bretagne donnent ensuite les productivités des habitats de juvéniles de saumons. Le croisement des modèles de productivité et des surfaces d'habitat permet d'obtenir une modélisation des productions de smolts à l'échelle de chaque tronçon hydrographique. Les productions de smolts des deux zones sont équivalentes à 100 000 smolts par an, du fait d'une productivité plus faible de la Loire. Un travail similaire est effectué pour simuler les productions d'anguilles dans les conditions actuelles et dans les conditions sans ouvrage à l'aide du modèle EDA. Les productions actuelles d'anguilles sont évaluées à 306 700, 314 900 et 124 400 anguilles argentées pour les côtières Bretons, la Loire et les côtières Vendéens respectivement.

Les calculs de mortalité sont appliqués à 402 des 749 ouvrages de la zone, initialement recensés comme ayant un usage énergie et hydroélectricité. Les mortalités sont d'abord calculées au niveau de chaque turbine pour 598 turbines, dont 142 et 162 identifiées comme Kaplan et Francis respectivement. Ce calcul est basé soit sur les caractéristiques de la turbine (diamètre, vitesse de rotation, hauteur de chute...), soit par extrapolation à partir des mortalités moyennes des turbines de même type, soit enfin lorsque l'information est manquante (cas de 276 turbines) à partir de la moyenne des mortalités des turbines du bassin. Ces turbines sont pour l'essentiel situées sur le haut du bassin de la Loire, où l'enjeu est moins fort. Pour les ouvrages équipés de grilles fines (<2,5cm), les turbines ichtyocompatibles et les turbines qui ne sont plus en fonctionnement, on applique une mortalité nulle. Pour les turbines de type Pelton, la mortalité appliquée est de 100%.

Chez les smolts, les taux moyens de mortalité dans les turbines s'établissent à 17% dans les Kaplan, 20% dans les Francis et une mortalité moyenne de 20% est appliquée aux autres turbines (45%) pour lesquelles les mortalités ne peuvent pas être calculées à partir des caractéristiques des turbines.

Chez les anguilles, les calculs prennent en compte la structure en taille des anguilles dévalantes. Les mortalités moyennes dans les turbines s'établissent à 48.1%, 89.7% et 73.7% dans les turbines Kaplan, Francis et indéterminées respectivement, soit 36% des cas où le recueil des caractéristiques techniques est suffisant pour permettre un calcul à partir des formules de mortalité.

Les mortalités dans les ouvrages sont ensuite établies à partir des débits nominaux des turbines et de la part de débit s'échappant au niveau des déversoirs de décharge de l'ouvrage. Ce modèle prend en compte pour chaque espèce des scénarios de dévalaison pour 5 classes de débits, calculés à partir de 31 stations hydrologiques de référence, et transposés au niveau de chaque ouvrage. La part des poissons transitant par les différentes turbines de chaque ouvrage est calculée à partir des données de débit d'équipement.

Un chaînage est ensuite réalisé pour calculer la mortalité cumulée dans les ouvrages se situant sur le parcours de dévalaison des poissons partant de n'importe quel point du réseau. Les moyennes des taux de mortalité par segments hydrographiques sont calculées à 28.4, 1.7 chez les smolts en Loire et en Bretagne, et à 3.0, 3.3 et 2.0 chez l'anguille en Loire, Bretagne et Vendée respectivement.

Le croisement des données de mortalité et de production pour chaque espèce donne les niveaux de mortalité pour différents scénarios.

Pour les saumons, les mortalités sont évaluées à N=28 121 (soit 28%) de la production de smolts en Loire, et N=1 636 (soit 2%) en Bretagne.

Pour l'anguille, les mortalités sont évaluées à N=9 449 (soit 3.0%) de la production d'anguilles argentées en Loire, N=9 418 (soit 3.3%) en Bretagne et N=2 490 (soit 2.0%) en Vendée.

Une simulation des effectifs présents si le libre franchissement à la montée des poissons migrateurs était rétablie est également effectuée. Dans ce scénario, les mortalités s'établissent à 42.4% (Loire) et 4.0% (Bretagne) chez les smolts et à 9.1% (Loire) et 4.0% (Bretagne) et 2.5% (Vendée) chez les anguilles argentées.

Les résultats obtenus en terme de production et de mortalité sont discutés, en prenant en compte les atouts et faiblesses des modèles utilisés, les possibles biais et d'échantillonnage et de complétude des données, et les perspectives d'amélioration du modèle. Il apparaît notamment que le modèle est plus sensible à la position géographique des individus dévalants qu'aux mortalités estimées dans les turbines. En l'état les résultats sont jugés comme suffisamment robustes pour permettre une priorisation des actions au niveau du bassin Loire Bretagne, et donner une première estimation du niveau de mortalité subi par l'anguille et le saumon à l'échelle du territoire de l'agence de l'eau.

Mots clés : Saumon, Salmo salar anguille, Anguilla anguilla, conservation, dévalaison, smolts, anguille argentée, modèle de production, turbines, mortalité.

Abstract

Cumulated mortalities of salmon and eel in the turbines of the Loire-Brittany basin.

The effect of dams on mortality during downstream migration was simulated using distribution and mortality models in the whole Loire-Brittany water district (155 000 Km²). Smolt production was evaluated firstly by the modeling of juvenile habitats at 2 055 ha on the Loire and 1 131 ha in Brittany. These areas represent only 24% and 39% of the productive habitats that would be available without upstream migration obstruction. Secondly, two independent models were then developed for the Loire and Brittany to describe the productivity of juvenile salmon habitats. The combination of productivity and habitat surfaces models was then used to model the smolt production of the different river stretches. A similar overall production of about 100 000 smolts per year was found in the Loire and Britany, and this was the result of a lower productivity of the Loire. A similar work was conducted to predict the eel productions in the current conditions and with a transparent upstream migration using the EDA model. The current production of eels was evaluated at 306 700, 314 900 and 124 400 silver eels for Brittany, the Loire and Vendée coastal streams respectively.

Mortality calculations were applied to 402 of 749 hydropower dams in the area, initially identified as producing hydroelectricity. The mortalities was first calculated at each 598 turbines, of which 142 and 162 were identified as Kaplan and Francis turbines respectively. This calculation was based on either the characteristics of the turbine (diameter, rotation speed, height ...) or by extrapolation from the average mortality of the same type turbines, or finally when information was missing (as in 276 turbines) from the average mortality of the turbines of the basin. The latter undescribed turbines were mostly located on the top of the Loire basin where the issue of downstream migration is less important. For dams equipped with fine grids (<2.5cm), ichtyocompatibles turbines and turbines that are not in operation, no mortality was applied. For Pelton turbines, the mortality applied was 100 %.

In smolts, the average mortality in turbines was estimated at 17.3% in Kaplan, 19.7% in Francis and an average mortality of 20.1% was applied to other turbines (45%) for which mortality can not be calculated from the characteristics of turbines.

In eels, the calculations take into account the size structure of downstream migrating eels. The average mortality in turbines was 48.1% 89.7% and 73.7% in Kaplan, Francis and unknown type respectively. The collection of technical data was sufficient to allow a calculation from mortality formulas in 36% of cases.

Mortalities at the dam level were then derived from the nominal flow of each turbine and from the flow of the spill. The model uses 5 classes of flow as a reference for each species, and flow levels are calculated from 31 reference hydrological stations whose flow were then transposed to each dam. The share of the fish going through the turbines or through the spill is calculated from the equipment flow (flow passing through the turbines at full power), and from the regulation of flow in the turbines in low flow conditions.

The river network was finally chained to calculate cumulated mortalities at dams for all the possible path of downstream migrants. The average mortality rate by river segments was calculated as 28.4, 1.7 for smolts in the Loire and in Brittany and as 3.0, 3.3 and 2.0 for eels in Loire, Brittany and Vendée rivers respectively.

The combination of production data and mortality for each species gives mortality levels for different scenarios.

For salmon, the number of kills was evaluated as N=28 121 (ie 28%) of the Loire's smolt production, and N=1 636 (ie 2%) in Brittany.

For eel, the number of kills was evaluated as N=9 449 (ie 3.0%) of the silver eel production in the Loire, N=9 418 (ie 3.3%) in Brittany and N=2 490 (ie 2.0%) in Vendée.

A simulation of the number that would be present if free passage for the upstream migratory fish was restored was also performed. In this scenario, mortalities amounted to 42.4% (Loire) and 4.0% (Brittany) for smolts and to 9.1% (Loire) and 4.0% (Brittany) and 2.5% (Vendée) in silver eels.

The results of production and mortality are discussed, taking into account the strengths and weaknesses of the models used, the possible bias and sampling and completeness of data, and prospects for improving the models. It appears that the model is particularly more sensitive to the geographic position of downstream migrants than to the mortality evaluated in turbines. In the current state, the results are deemed sufficiently robust to allow prioritization of actions at the Loire Brittany basin level, and give a first estimate of the level of mortality suffered by the eel and salmon at the district level.

Keywords : Salmon, eel, conservation, migration, smolt, silver eel, production model, turbines, mortality

Nous remercions les Fédérations Départementales pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique bretonnes pour la mise à disposition des données de cartographie d'habitats à saumons et d'indices d'abondance de juvéniles de saumons. Cette étude a été réalisée en collaboration entre l'IAV, LOGRAMI, l'ONEMA, BGM et l'INRA. Elle se base sur un travail préliminaire (sea hope) développé en collaboration avec le Pôle éco-hydraulique de Toulouse et l'IRSTEA (Jouanin et al., 2011). L'ensemble des données concernant les caractéristiques des turbines a été compilé grâce au travail de terrain des services départementaux de l'ONEMA. Dans le cadre d'une première version de l'étude par Laura De Canet, stagiaire à LOGRAMI, l'adaptation des routines de Sea Hope et le développement des bases de données ont fait l'objet d'un financement de l'IAV dans le cadre de la convention ONEMA-IAV.

I	Rapport principal	19
1	Introduction	21
2	Matériel et méthodes	23
2.1	Cycle biologique des deux espèces	23
2.1.1	Le saumon atlantique (<i>Salmo salar</i> , Linnaeus 1958)	23
2.1.2	L'anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i> , Linnaeus 1958)	24
2.2	Zone d'étude	25
2.2.1	Le bassin versant de la Loire	25
2.2.2	Les fleuves bretons	26
2.3	Le réseau hydrographique théorique	27
2.4	Calcul des productions de smolts	27
2.4.1	Répartitions actuelle et sans barrages	27
2.4.2	Modélisation des surfaces productives	30
2.4.3	Productivité des habitats de juvéniles de saumons	31
2.4.4	Productions de smolts des cours d'eau	34
2.5	Calcul des productions d'anguille argentées	34
2.6	Recensement des données ouvrages	35
2.7	Calculs des mortalités dans les ouvrages hydroélectriques	36
2.7.1	Mortalité par turbine chez les smolts	36
2.7.2	Mortalité par turbine chez les anguilles	39
2.7.3	Hypothèses supplémentaires en cas de données manquantes	39
2.7.4	Nombre d'individus entraînés vers les turbines	41
2.7.5	Calcul des débits de dévalaison	42
2.7.6	Calcul de la mortalité à l'échelle du bassin versant	42
3	Résultats	47
3.1	Productions de smolts	47
3.1.1	Répartitions actuelle et historique	47
3.1.2	Modélisation des surfaces productives	47
3.1.3	Calcul des productivités moyennes	47
3.1.4	Production des cours d'eau	50
3.2	Productions d'anguilles argentées	55
3.2.1	Ajustement du modèle EDA	55
3.2.2	Résultats en nombre d'anguilles argentées	55
3.3	Prédiction des mortalités lors du passage dans les turbines des ouvrages hydro- électriques	55
3.3.1	Mortalité par type de turbine	55
3.4	Calculs des mortalités dans les ouvrages	58
3.4.1	Saumon	58
3.4.2	Anguille	69
3.4.3	Comparaison des impacts entre bassins	83

4	Discussion	85
4.1	Estimation des surfaces d'habitat	85
4.1.1	Détermination des surfaces actuelles et accessibles sans les baragges . . .	85
4.1.2	Construction du modèle à partir des données d'expertise de terrain . . .	86
4.1.3	Biais et robustesse du modèle	87
4.1.4	Validation du modèle sur la Vienne	88
4.2	Productivité des habitats de juvéniles chez les smolts	88
4.2.1	Effet du débit au moment de la réalisation des indices d'abondance sur les résultats obtenus	88
4.2.2	Cas particulier de l'Allier pour le traitement des données chronologique d'indices d'abondance	89
4.2.3	Deux modèles séparés de productivité en Bretagne et en Loire	89
4.2.4	Les densités nulles ont été écartées du jeu de données	90
4.3	Production en smolts par bassins	90
4.3.1	Comparaison des modèles de production moyenne et modélisée.	90
4.3.2	Conversion indice d'abondance - smolts	92
4.3.3	Stratégie d'échantillonnage en Loire	92
4.3.4	Cas de l'Aulne	92
4.4	Production d'anguilles argentées	93
4.5	Calcul de la mortalité dans les turbines	94
4.5.1	Modèles de prédiction utilisés dans cette étude	94
4.5.2	Cohérence de prédictions plus larges dans les turbines Francis que dans les turbines Kaplan	96
4.5.3	Mortalité dans les turbines Ossberger	99
4.5.4	Mortalité dans les turbines Pelton	99
4.5.5	Conclusion pour les modèles de mortalité	99
4.6	Calcul de la mortalité dans les ouvrages	99
4.6.1	Dévalaison en fonction des débits chez les smolts	100
4.6.2	Dévalaison en fonction des débits chez les anguilles argentées	100
4.6.3	Structure en taille des anguilles	102
4.7	Comparaison à d'autres simulations à l'échelle de bassins	102
4.8	Impact des pertes d'habitats	107
4.9	Impact des mortalités sur les populations de poissons	107
5	Perspectives	109
5.1	Autres stades	109
5.2	Autres migrateurs	109
5.3	Autres impacts à la dévalaison	109
5.4	Autres bassins	110
5.5	Données	110
5.6	Evaluation des mesures de gestion	111
5.7	Améliorations du modèle	111
6	Glossaire	123
II	Annexes	127
A	Calcul des surfaces d'équivalent radier rapides	129
A.1	Construction du jeu de données ERR	129
A.2	Ajustement des modèles	132
A.3	Prédictions de surfaces ERR	138

TABLE DES MATIÈRES

B	Prédiction des densités de smolts en Bretagne	145
B.1	Relation smolts - tacons 0 ⁺	145
B.2	Ajustement du modèle	145
B.3	Prédiction	149
C	Prédiction des densités de smolts sur la Loire	153
C.1	Calcul des productions de smolts à partir des données d'indice d'abondance de tacons 0 ⁺	153
C.2	Ajustement du modèle	153
C.3	Prédiction	156
D	Productions d'anguilles	161
E	Débits et débits classés	165
E.1	Bassins et stations pour les débits	165
E.2	Les débits classés - résultats	169
F	Mortalité de smolts - production moyenne	171
G	Mortalité de smolts - libre circulation montaison	177
H	Mortalité d'anguilles	183
I	Modèles supplémentaires turbines francis	201
J	Détail des données de turbines	205
K	Détail des données de débit par ouvrage	219
L	Classes de taille des anguilles par ouvrage	227
M	Détail des mortalités d'anguilles par sous-bassin	237
M.1	Le loir	237
M.2	La Sarthe	237
M.3	La Mayenne	240
M.4	La Vilaine	242
M.5	Le Blavet	244
N	Détail des mortalités de smolts par sous-bassin	247
N.1	L'Allier	247
N.2	La Loire Amont	251
N.3	Le Cher	255
N.4	La Vienne	257
N.5	Le Blavet	260

1.1	Tendance des stocks d'anguilles et de saumons	21
1.2	Prédictions des densités d'anguilles en France (Jouanin et al., 2012)	22
2.1	Cycle biologique du saumon	23
2.2	Répartition du saumon atlantique dans le monde	24
2.3	Répartition du saumon atlantique en France.	24
2.4	Cycle biologique de l'anguille	24
2.5	Le bassin versant de la Loire	25
2.6	Débarquements civelles 2008.	25
2.7	Les cours d'eau bretons	26
2.8	Diagramme du modèle de production saumon	28
2.9	Surfaces d'habitat cartographiées	30
2.10	Stations de pêches électriques sur la Loire	32
2.11	Stations de pêches électriques en Bretagne	32
2.12	Diagramme du modèle de production anguille	35
2.13	Diagramme du modèle de mortalité dans les turbines	37
2.14	Exemple de turbines classiques	38
2.15	Exemples de turbines ichtyocompatibles.	40
2.16	Diagramme du modèle de mortalité à l'échelle de l'ouvrage	41
2.17	Diagramme du modèle de mortalité dans les bassins	43
2.18	Calcul de cumul d'ouvrages	43
2.19	Calcul des mortalités cumulées le long d'un axe	44
3.1	Surfaces d'habitat cartographiées	47
3.2	Ratio des surfaces d' ERR	48
3.3	Productions de smolts, comparaison des scénarioss	51
3.4	Prédictions du modèle delta-gamma sur le réseau RHT	55
3.5	Mortalité et type de turbine.	57
3.6	Mortalité et production de smolts dans le bassin de la Loire	58
3.7	Nombre de smolts produits et tués dans les turbines du bassin de la Loire pour trois scénarios.	59
3.8	Classement des ouvrages en fonction des mortalités potentielles de smolts sur la Loire $N\ddagger$	61
3.9	Classement des ouvrages en fonction de leurs mortalités réelles de smolts sur la Loire $N\ddagger$	62
3.10	Taux de mortalité des smolts en Bretagne	64
3.11	Production de smolts et mortalité dans les turbines en Bretagne	65
3.12	Classement des mortalités saumon Bretagne	66
3.13	Taux de mortalité des anguilles en Loire	69
3.14	Production et mortalité des anguilles argentées sur le bassin de la Loire	70
3.15	Taux de mortalité des anguilles en Bretagne	74
3.16	Production d'anguilles argentées et mortalité dans les ouvrages de Bretagne	75
3.17	Taux de mortalité des anguilles Vendée	76
3.18	Nombre d'anguilles argentées dévalant par tronçon et nombre mort dans les turbines en Vendée	77
3.19	Taux de mortalité des anguilles en Loire	79

3.20	Nombre d’anguilles argentées dévalant par tronçon et nombre mort dans les turbines	80
3.21	Classement des ouvrages en fonction des mortalités réelles d’anguilles sur la Loire N^{\dagger}	81
3.22	Classement des ouvrages en fonction des mortalités réelles d’anguilles en Bretagne N^{\dagger}	82
3.23	Nombre de d’anguilles produites sur les bassins et mortes dans les turbines, scénario de transparence à la montée	83
4.1	Coupe d’une Francis	97
4.2	Coupe d’une Kaplan	98
4.3	Taux de mortalité des smolts et production amont sur les ouvrages sur la Loire N^{\dagger}	103
4.4	Taux de mortalité et production amont de smolts sur les ouvrages en Bretagne N^{\dagger}	104
4.5	Taux de mortalité des anguilles et production amont sur les ouvrages sur la Loire N^{\dagger}	105
4.6	Taux de mortalité et production amont d’anguilles sur les ouvrages en Bretagne N^{\dagger}	106
A.1	Distribution des variables pour le calcul ERR	129
A.2	Etiage pendant les inventaires	130
A.3	Corrélation débit-altitude	131
A.4	Diagnostic du modèle A.2	135
A.5	Résidus du modèle A.4 en Bretagne	135
A.6	Résidus du modèle A.4 sur la Loire	136
A.7	Prédictions des surfaces d’ERR (variable transformée) en fonction du log du module.	136
A.8	Prédictions des surfaces d’ERR en fonction du module	137
A.9	Prédictions des surfaces d’ERR (variable transformée) en fonction de la racine de la pente	137
A.10	Prédiction des surfaces d’ERR en fonction de la pente	138
A.11	Ratio des surfaces d’ ERR, cartes pour Loire et Bretagne	143
A.12	Diagramme en cercles concentriques des surfaces d’ERR prédites par le modèle	144
B.1	Sorties de validation du modèle GAM pour les densités en Bretagne	146
B.2	Ajustement de la fonction de lissage $s(x,y)$ du modèle B.3 en Bretagne	147
B.3	Ajustement de la fonction de lissage $s(x,y)$ du modèle B.3 en Bretagne, données hors Aulne	147
B.4	Réponse du modèle GAM B.2 en Bretagne	149
B.5	Prédictions de densité de smolts en Bretagne	152
C.1	Sorties de validation du modèle GAM pour les densités sur le bassin de la Loire	155
C.2	Relation altitude densite de smolts sur le bassin de la Loire	155
C.3	Réponse du modèle C.3 sur le bassin de la Loire en fonction de la largeur et du substrat.	156
C.4	Prédictions de densité de smolts sur le bassin de la Loire	159
E.1	Stations hydrométriques et zones d’influence	165
I.1	Relation N H Francis	202
I.2	Relation D H Francis	202
I.3	Application de la formule Francis aux anguilles	203
M.1	Taux de mortalité des anguilles bv Loir	237

TABLE DES FIGURES

M.2	Nombre d'anguilles argentées dévalantes par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Loir	237
M.3	Taux de mortalité des anguilles bv Sarthe	238
M.4	Nombre d'anguilles argentées dévalantes par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Sarthe	239
M.5	Taux de mortalité des anguilles bv Mayenne	240
M.6	Nombre d'anguilles argentées dévalantes par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Mayenne	241
M.7	Taux de mortalité des anguilles bv Vilaine	242
M.8	Nombre d'anguilles argentées dévalantes par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Vilaine	243
M.9	Taux de mortalité des anguilles bv Blavet	244
M.10	Nombre d'anguilles argentées dévalantes par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Blavet	245
N.1	Taux de mortalité des smolts bv Allier	248
N.2	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Allier	249
N.3	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Allier	250
N.4	Taux de mortalité des smolts bv Loire Amont	252
N.5	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Loire amont	253
N.6	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Loire amont	254
N.7	Taux de mortalité des smolts bv Cher	255
N.8	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Cher	256
N.9	Taux de mortalité des smolts bv Vienne	257
N.10	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Vienne	258
N.11	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Vienne	259
N.12	Taux de mortalité des smolts bv Blavet	260
N.13	Nombre de smolts dévalants par tronçon et nombre mort dans les turbines bv Blavet	261

3.1	Surfaces d'ERR en Loire	49
3.2	Surfaces d'ERR en Bretagne	49
3.3	Densité de smolts, estimations par bootstrap	52
3.4	Production de smolts sur le bassin de la Loire	53
3.5	Production de smolts en Bretagne	54
3.6	Détails concernant le calcul des mortalités dans les turbines en Bretagne	56
3.7	Détails concernant le calcul des mortalités dans les turbines en Loire	57
3.8	Mortalité par ouvrage pour une production modélisée actuelle en Loire	67
3.9	Mortalité par ouvrage pour une production modélisée actuelle en Bretagne	68
3.10	Mortalité par ouvrage en Loire pour l'anguille	71
3.11	Mortalité en Bretagne pour l'anguille	78
A.1	Test des variables utilisées dans le glm.	132
A.2	ANOVA pour la comparaison des modèles	133
A.3	Modèle mixte ERR fixe	133
A.4	Modèle mixte ERR aléatoire	134
A.5	Surfaces d'ERR en Bretagne	138
A.6	Surfaces d'ERR sur le bassin de la Loire	140
B.1	ANOVA pour la comparaison des modèles-densité smolt Bretagne	146
B.2	Modèle B.3, densité en Bretagne	148
B.3	Densités de smolts en Bretagne	149
C.1	ANOVA pour la comparaison des modèles	153
C.2	Modèle mixte ERR fixe	154
C.3	Modèle mixte ERR aléatoire	154
C.4	Densités de smolts en Bretagne	156
D.1	Productions en milliers d'anguilles argentées par cours d'eau en Bretagne estimée par le modèle EDA2.0	161
D.2	Productions en milliers d'anguilles argentées par cours d'eau sur la Loire estimée par le modèle EDA2.0	162
D.3	Productions en milliers d'anguilles argentées par cours d'eau en Vendée estimée par le modèle EDA2.0	163
E.1	Stations hydrométriques	166
E.2	Stations hydrométriques	167
E.3	Comparaison du module de la banque hydro et du RHT.	168
E.4	Coefficients de débits classés	169
F.1	Mortalité par ouvrage pour une production moyenne en Loire	172
F.2	Mortalité par ouvrage pour une production moyenne en Bretagne	173
F.3	Mortalité par ouvrage pour une production modélisée actuelle en Loire	174
F.4	Mortalité par ouvrage pour une production modélisée actuelle en Loire	175
G.1	Mortalité par ouvrage pour une production modélisée sans barrage en Loire	177
G.2	Mortalité par ouvrage pour une production modélisée sans barrage en Bretagne	182

LISTE DES TABLEAUX

H.1	Mortalité par ouvrage en Loire pour l'anguille	183
H.2	Mortalité par ouvrage en Loire pour l'anguille scénario sans barrage	190
H.3	Mortalité par ouvrage en Bretagne pour l'anguille	197
H.4	Mortalité par ouvrage en Bretagne pour l'anguille scénario sans barrage	199
J.1	Détail des données de turbines par sous-bassin	205
K.1	Détail des données d'ouvrage par sous-bassin	219
L.1	Structure taille - distance mer	227
L.2	Classe de distance à la mer des ouvrage	228

I RAPPORT PRINCIPAL



Plus d'un tiers des espèces de poissons d'eau douce d'Europe sont menacées par l'activité humaine (pollution, pêche, turbidité, colmatage, etc.). Dans plus de 40% des cas, les ouvrages faisant obstacle à l'écoulement (barrages, seuils, etc.) constituent la première cause de perturbation écologique (Croze, 2008a). Parmi les espèces menacées, les poissons migrateurs sont particulièrement affectés, notamment en raison de l'effet cumulatif des différents ouvrages rencontrés tout au long de leurs déplacements dans les cours d'eau. La restauration de la continuité écologique le long de leurs axes de migration est donc nécessaire à leur survie.

Le saumon atlantique (*Salmo salar*) est inscrit à l'Annexe II et V de la directive habitat, à l'Annexe III de la convention de Berne, et est classé vulnérable par l'UICN. Cette espèce est protégée au niveau national.

La raréfaction de l'espèce (Figure 1.1) est essentiellement due à :

- L'accroissement des obstacles sur les trajets migratoires empêchant l'accès aux zones de reproduction, retardant la migration à la montaison comme à la dévalaison, augmentant la mortalité par prédation et passage dans les turbines.
- La dégradation générale du milieu tout particulièrement les frayères : pollution, extraction de granulats, asphyxies des œufs par les dépôts de limon.
- Une pression de pêche trop importante (Vion, 2005)

Sur le bassin de la Loire, cette espèce emblématique se comptait par dizaines de milliers au XIX^{ème} siècle, mais ne présente plus aujourd'hui qu'un nombre de géniteurs insuffisants pour assurer la pérennité de la population. Les efforts d'amélioration de la libre circulation, se sont à ce jour principalement concentrés sur la montaison, tandis que les dispositifs existants pour améliorer la dévalaison (grilles, exutoires fonctionnels, etc.), sont très rares et insuffisants sur la plupart des ouvrages (Cohendet, 1993).

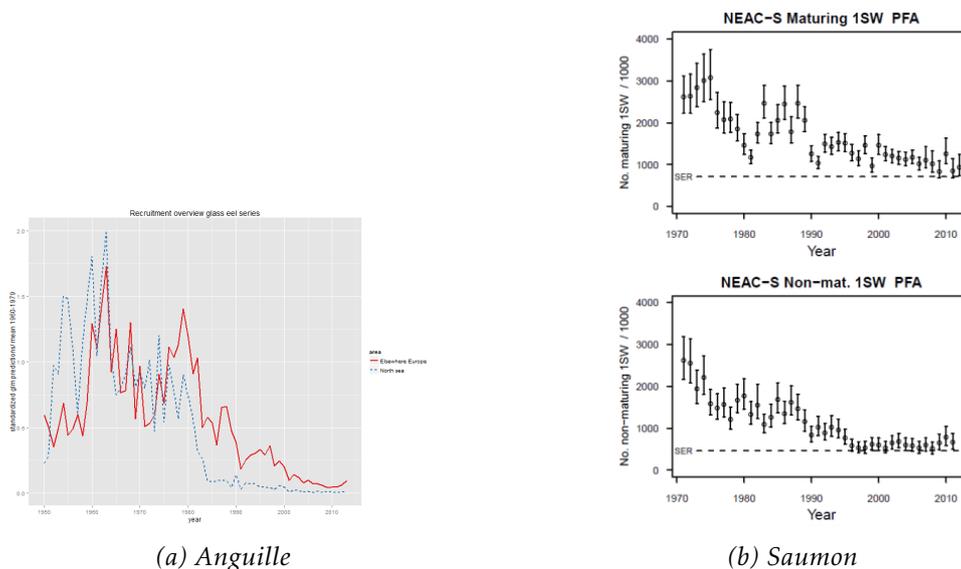


FIGURE 1.1 – Tendances des stocks d'anguille (arrivées de civelles pour la zone de la mer du nord et le reste de l'Europe) et de saumon (estimation des recrutements côtiers) pour les géniteurs de 1 hiver de mer (maturing-1SW), et les non-géniteurs de 1 hiver de mer (non-Mat-1SW), pour le stock Atlantique sud (NEAC-s) (ICES, 2013, WGNAS_2013).

Depuis les années 1980, les arrivées de civelles d'anguilles européennes (*Anguilla anguilla*)

ont diminué de 95% pour atteindre un minimum en 2009. Le règlement européen 1100/2007 institue des mesures visant la reconstitution du stock d'anguille européenne et fixe comme objectif d'assurer un taux d'échappement d'au moins 40% de la biomasse d'anguilles argentées [...] d'un stock n'ayant subi aucune influence anthropique. L'atteinte des objectifs de gestion fixés par le règlement est évaluée sur la base du nombre de géniteurs partant des territoires des états membres, mais également sur les taux de mortalité subis par le stock d'anguille au cours de sa vie continentale. L'estimation, à l'échelle des unités de gestion anguille Bretagne et Loire, de l'impact des ouvrages hydroélectriques sur le stock, et des mesures mises en place pour y remédier, sont un des éléments essentiels au rapportage du plan de gestion de la France.

Les ouvrages provoquent des mortalités non négligeables lors de la **dévalaison**, notamment en raison de la hauteur de chute des ouvrages, de l'entraînement des poissons dans les prises d'eau ou encore de la désorientation et du retard de migration causés par l'effet retenue, qui augmentent le risque de prédation (Croze, 2008a). Concernant plus précisément les turbines, les saumons et anguilles subissent des blessures directes infligées par le contact avec les parties fixes, ou la roue de la turbine (Larinier et Dartiguelongue, 1989; Larinier et Travade, 2002). De plus, les effets de cisaillement dans le sillage de la roue (Neitzel et al., 2004), les baisses brutales de pression (Duncan et Carlson, 2011) provoquent également des blessures et des mortalités lors du passage dans la turbine (Gomes et Larinier, 2008; Larinier et Dartiguelongue, 1989; Larinier et Travade, 2002).

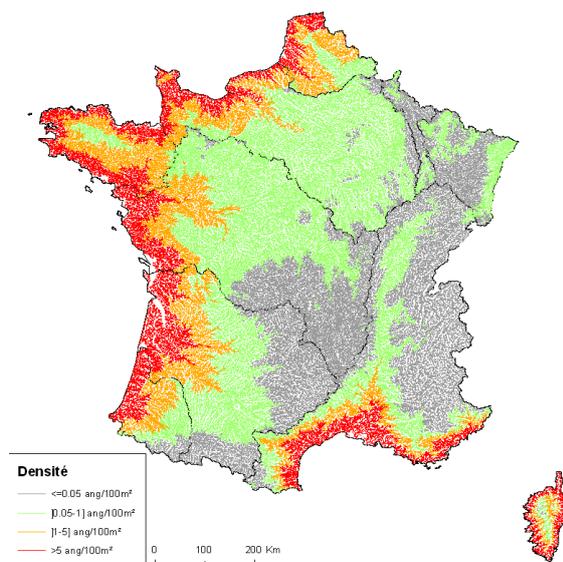


FIGURE 1.2 – Prédiction des densités d'anguilles en France (Jouanin et al., 2012)

L'objectif de ce rapport est de fournir une approche de modélisation pour la quantification de l'impact des ouvrages à la **dévalaison** à grande échelle sur le territoire du bassin Loire Bretagne. Lors du calcul de la mortalité à l'échelle d'axes de migration, la répartition des poissons à l'échelle du bassin est plus importante que l'étude très précise à l'échelle de chaque ouvrage des taux de mortalité (McCleave, 2001). Une partie du travail consiste donc à exploiter, ou produire des modèles de répartition des espèces sur le bassin. Pour le saumon, des scénarios de production sont étudiés suivant les caractéristiques du réseau hydrographique. Pour l'anguille une démarche similaire est réalisée, et les estimations du modèle EDA (Jouanin et al., 2012) sont utilisées pour prédire la production actuelle et la production potentielle sans **barrages**.

Ces données sont ensuite couplées aux estimations de mortalité au niveau des ouvrages hydroélectriques. Ces dernières sont basées sur les données concernant les turbines : type de turbine, **débit turbiné Q_t** , vitesse de rotation, hauteur de chute, etc. L'estimation des mortalités dans les turbines permettra de sectoriser les traitements d'obstacles offrant les gains biologiques les plus intéressants pour la conservation de l'anguille et du saumon. L'incertitude concernant les résultats obtenus et les conséquences seront discutées.

2.1 Cycle biologique des deux espèces

2.1.1 Le saumon atlantique (*Salmo salar*, Linnaeus 1958)

Le saumon est un poisson **diadrome** dont la reproduction a lieu dans les zones courantes des rivières de novembre à décembre. La femelle creuse un ou plusieurs nids (**frayère**), dépose les ovules directement fécondés par le mâle, puis les recouvre ensuite de cailloux. Elle pond environ 2000 œufs par kg de poids corporel (Pujat, 2012). L'incubation dure environ 3 mois, et les alevins quittent la **frayère** environ un mois après l'éclosion, à la recherche de leurs nourritures (larves d'insectes aquatiques principalement). Les juvéniles appelés alevins, puis **tacons**, passent un à deux ans en rivière (exceptionnellement trois) avant de devenir des **smolts**, c'est-à-dire des saumons juvéniles au moment de leur pré-adaptation physiologique et physique à la vie en milieu marin.

Les **smolts**, rassemblés en bancs, dévalent ensuite les cours d'eau de mars à mai pour rejoindre le large (Croze, 2008a). Le séjour en mer dure 1 à 3 ans et constitue la phase d'engraissement avant la migration de retour vers les eaux continentales dont ils proviennent (phénomène de homing lié à la mémoire olfactive) pour se reproduire. La majorité des saumons ne survivront pas à la reproduction ayant épuisé toutes leurs réserves énergétiques durant la longue phase de migration **anadrome** (Mesnier et al., 2011).

La reproduction se fait sur une **frayère**, zone peu profonde (15 à 120 cm) avec un substrat grossier (gravier, galet). Un courant rapide de 0.30 à 1 m/s évite le dépôt des particules fines - le colmatage- et assure de ce fait une bonne percolation de l'oxygène à travers le substrat. En effet, la survie des œufs de saumons est tributaire de caractéristiques physico-chimiques. Les œufs sont très sensibles à l'hypoxie et demandent une concentration d'oxygène supérieure à 5mg/L. La température doit être adéquate (<10°C avec 8°C en optimum), le pH de l'eau stable (minimum de 5,4) et les concentrations en contaminants chimiques très faibles pour éviter les perturbations physiologiques (Vion, 2005).

Ainsi l'aire de répartition du Saumon est déterminée à la fois par les conditions de température et d'oxygène dissous des habitats de reproduction, par la qualité des habitats des juvéniles, mais aussi par les circuits de migration permettant de les atteindre.

En mer, les concentrations en saumon les plus importantes sont observées dans l'ouest du

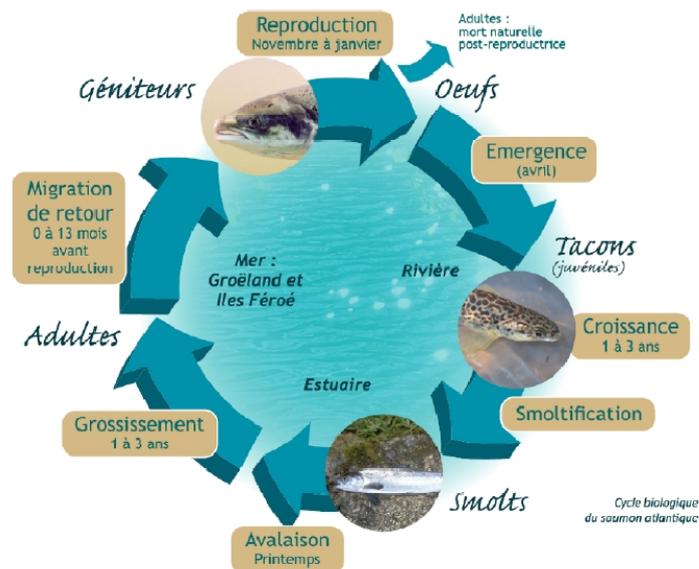


FIGURE 2.1 – Cycle biologique du saumon atlantique (Source : LOGRAMI/P.Saule, Photos : J-M Bach et A.Senecal LOGRAMI, A. Richard ONEMA).



FIGURE 2.2 – Répartition du saumon atlantique dans le monde (source : BGM-IMAGIC).

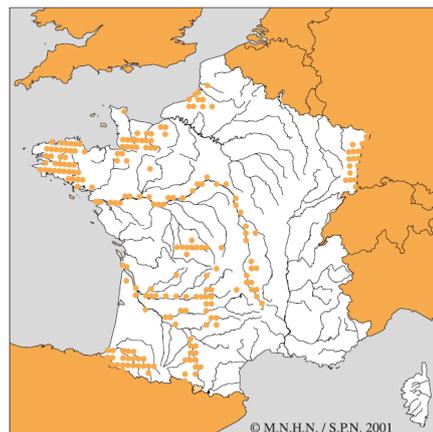


FIGURE 2.3 – Répartition du saumon atlantique en France.

Grønland, en mer du Labrador, au voisinage des Iles Féroé, en mer de Norvège et dans la mer Baltique (Croze, 2008a; Vion, 2005, Figure 2.2).

Originaire de tout le bassin de l'Atlantique Nord, le saumon a disparu ou fortement régressé dans les bassins français (Rhin, Dordogne, Garonne, Seine, ...). En France, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, il est présent principalement dans la Loire et l'Allier, l'Adour, les ruisseaux des Gaves en Béarn, le fleuve de la Nivelle au Pays Basque et plusieurs rivières bretonnes et normandes (UICN, 2010) (Figure 2.3).

2.1.2 L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, Linnaeus 1958)

Comme les saumons, les anguilles sont des poissons amphihalins.

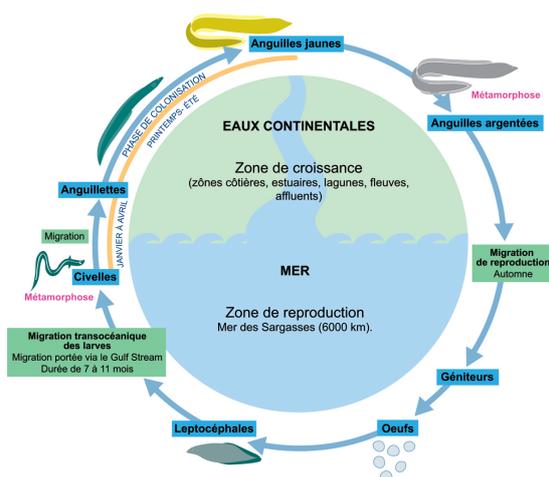


FIGURE 2.4 – Cycle biologique de l'anguille européenne (source : <http://www.planrhone.fr>).

La reproduction des anguilles a lieu dans la mer des Sargasses (Schmidt, 1922; Miller et al., 2014) au niveau d'un front thermique, la zone frontale subtropicale. Les leptocéphales (larves) d'anguilles européennes, utilisent le courant des antilles pour remonter le long des côtes américaines, puis traversent l'Atlantique poussées par les courants du Gulf Stream et de la dérive nord Atlantique.

Les larves leptocéphales vont ensuite se transformer en civelles lors de leur atteinte du talus continental (Tesch, 1980; Schmidt, 1909). C'est la phase civelle qui va, en utilisant les courants de marée, coloniser les espaces côtiers, les estuaires, et éventuellement lorsque les conditions sont favorables, réaliser une courte pénétration en eau douce.

Elles se transforment ensuite en anguilles jaunes, et cette phase va réaliser la colonisation du milieu continental à plus faible rythme (Naismith et Knights, 1988; Feunteun et al., 2003) (Figure 2.4). Cette colonisation est ralentie par les barrages (White et Knights, 1997; Briand et al., 2006). La distribution des anguilles est

naturellement concentrée sur l’aval des bassins (Ibbotson et al., 2002). A partir d’une taille de 30 cm, les anguilles se sédentarisent et restent pour la majeure partie fidèles à un territoire de vie limité dans l’espace (Laffaille et al., 2005; Tesch et Thorpe, 2003). A l’atteinte d’une certaine taille (Svedäng et al., 1996) les anguilles vont se métamorphoser en *anguilles argentées* (Durif et al., 2006). Les mâles d’anguilles argentées mûrent à une taille et à un âge plus faible que les femelles (Tesch et Thorpe, 2003). La migration de *dévalaison* se fait de nuit, à la suite d’une maturation interne (Fontaine, 1994) régulée par des facteurs externes comme la température ou la photopériode (Hansen et al., 1995). Le déclenchement de la migration est essentiellement lié à des augmentations de débits de la rivière, et cette dernière peut s’effectuer en plusieurs temps (Durif et Elie, 2008) jusqu’à l’atteinte de l’estuaire, où l’anguille va débiter sa migration marine (Tesch, 1994; Westerberg et al., 2014).

2.2 Zone d’étude

2.2.1 Le bassin versant de la Loire

Le bassin de la Loire (Carte 2.5) est le plus grand bassin entièrement compris dans le territoire français métropolitain avec une surface de 117 054 km², soit un cinquième du territoire métropolitain.

Il est historiquement remarquable par sa production de saumons (Bachelier, 1963). Ainsi, au XIX^{ème} siècle la population d’adultes remontant l’estuaire de la Loire se situait entre 50 000 et 100 000 individus (Cohendet, 1993). La capacité de production du bassin est due au Massif Central qui recouvre l’ensemble du sud-est du bassin (bassins de la Vienne, Cher, Allier et Loire amont) et offre de bonnes conditions de pente, granulométrie, régime hydraulique pour la mise en place de *frayères* (Figure 2.5).

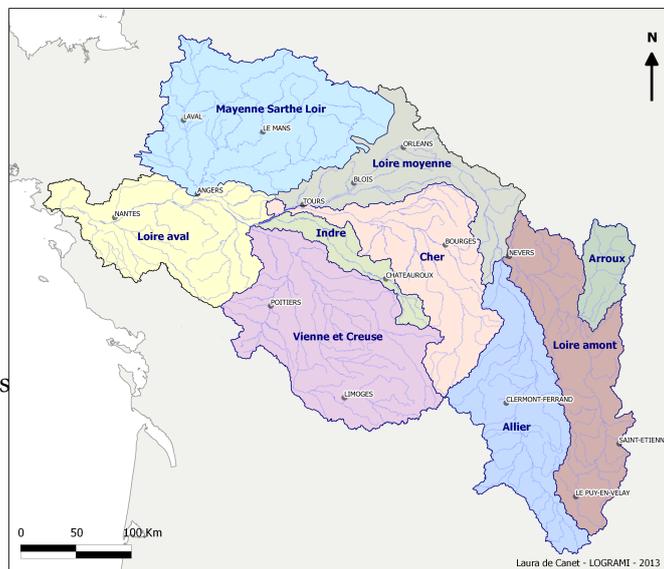


FIGURE 2.5 – Le bassin versant de la Loire et ses principaux sous-bassins.

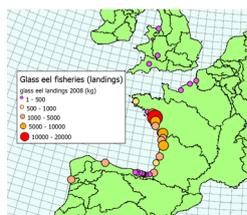


FIGURE 2.6 – Débarquements civelles 2008.

A l’inverse le sud du massif armoricain (bassins Loire moyenne et aval, Mayenne, Sarthe et Loir) ne présente pas de potentialité de production pour les salmonidés, car les pentes sont plus faibles et les débits plus modérés (Steinbach, 2001).

La Loire dispose avec la Vendée et la Vilaine des plus fortes arrivées de civelles en Europe (Figure 2.6). En allant vers l’amont des bassins, l’anguille se raréfie et la probabilité de présence diminue rapidement pour atteindre des valeurs inférieures à 50% sur la Loire moyenne et le Cher. Les probabilités de présence de l’anguille sur la Loire amont et l’Allier sont de moins de 30% (Lasne et Laffaille, 2007; Canal et al., 2013). La tendance jusqu’en 2012 était à une diminution de l’abondance, cette tendance reste la même jusqu’en 2013 (Briand 2014, non publié) mais les abondances de

juvéniles ont tendance à ré-augmenter sur l'aval du bassin (Canal et al., 2013) (Figure 3.4a).

2.2.2 Les fleuves bretons

Les bassins bretons d'une superficie de 29 500 km² s'étendent sur 3 régions et 8 départements et couvrent intégralement les départements du Morbihan, de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (Carte 2.7). La plupart des cours d'eau colonisés par le saumon est située en Bretagne. Le réseau des rivières à saumons y est dense avec plus de 30 cours d'eau classés dont 23 qui sont régulièrement fréquentés par le saumon. L'essentiel de ces cours d'eau se trouve à l'ouest d'une ligne Vannes-St Brieuc. En moyenne, chaque année, entre 9 000 et 10 000 saumons adultes remontent les cours d'eau bretons (Arago, 2014, com. pers). La surface de production totale en Bretagne est estimée à 3 millions de m² d'ERR (Germis, 2014, com. pers.).

Les abondances de civelles diminuent en Bretagne à mesure que l'on s'éloigne vers l'est. On retrouve comme sur la Loire une diminution d'abondance vers l'amont des cours d'eau mais les probabilités de présence sont beaucoup plus fortes et dépassent 50% sur l'essentiel de la Bretagne.



FIGURE 2.7 – Les cours d'eau bretons.

2.3 Le réseau hydrographique théorique

Le réseau hydrographique théorique (RHT) de Pella et al. (2012) est un réseau national coulant et orienté qui se rapproche du référentiel de la BD Carthage. Il a été développé dans le but de palier certaines des lacunes révélées par ce dernier. Le caractère artificiel d'une partie de la BD Carthage (portions court-circuitées, canaux, réseau de drainage, réseaux en tresses...) ainsi que la complexité des écoulements à chenaux multiples ne permettent pas de modéliser l'écoulement dans le réseau. Le RHT a été développé à partir de la BD Alti (IGN), permettant d'identifier les bassins versants et de simuler les écoulements avec une meilleure précision. Des attributs topographiques, hydrologiques et climatiques ont été calculés et intégrés dans un système d'information géographique. Le RHT dispose donc d'attributs comme la largeur, le module ou la pente de chaque tronçon, et présente l'avantage d'être structuré suivant la topologie du bassin, c'est à dire identifier l'ensemble des tronçons hydrographiques dans le sens d'écoulement jusqu'à la mer, ou l'ensemble des tronçons situés en amont d'un point donné du bassin versant¹. Ce réseau est donc d'une importance centrale pour la modélisation des productions d'anguilles, des productions de saumon, et pour le calcul des mortalités sur le réseau hydrographique.

2.4 Calcul des productions de smolts

Pour le saumon, trois scénarios de productions de smolts ont été utilisés.

La **production moyenne** correspond à une moyenne par bassin des données de production observées par pêche électrique. Cette donnée intègre les problèmes d'accessibilité et de productivité des frayères, mais aussi les opérations de repeuplement effectuées sur le bassin de la Loire. Elle correspond à la meilleure estimation de la répartition actuelle connue. Il est possible que certains affluents fréquentés épisodiquement par le saumon n'aient pas été inclus.

La **production modélisée actuelle** correspond au calcul par modélisation du nombre de smolts produits pour l'ensemble des habitats de croissance de juvéniles situés dans l'aire de répartition actuelle du saumon.

La **production modélisée sans barrage** correspond au calcul par modélisation du nombre de smolts produits sur l'ensemble des habitats colonisés historiquement, ce qui correspond aussi à simuler une transparence migratoire totale à la montaison.

Fournir trois scénarios permet de donner un éclairage différent aux résultats actuels de mortalités trouvés sur les bassins. L'utilisation d'un scénario de **production moyenne**, conduit à trouver des mortalités très faibles voire nulles sur certains bassins, qui ne reflètent que des problèmes d'accessibilité. L'utilisation de la **production modélisée sans barrage** permet de prédire les productions sur ces zones. Mais la comparaison à la situation actuelle doit se faire sur un modèle équivalent, d'où l'intérêt d'un modèle donnant la **production modélisée actuelle**. Dans tous les cas les surfaces d'équivalent radier rapide ne sont pas connues partout, et la production sur le bassin de la Loire résulte toujours d'une modélisation. L'utilisation de deux modèles **production moyenne** et **production modélisée actuelle** permet aussi de vérifier les résultats de la modélisation.

2.4.1 Répartitions actuelle et sans barrages

La répartition actuelle des surfaces productives - correspondant aux scénarios **production moyenne** et **production modélisée actuelle**- est basée sur l'analyse de l'ensemble des connais-

1. En pratique nous avons stocké le chemin de chaque tronçon à la mer sous forme arborescente (*ltree*) dans la base postgres, puis déterminé le bassin versant amont comme une fonction recherchant l'ensemble des parcours à la mer contenant un tronçon donné.

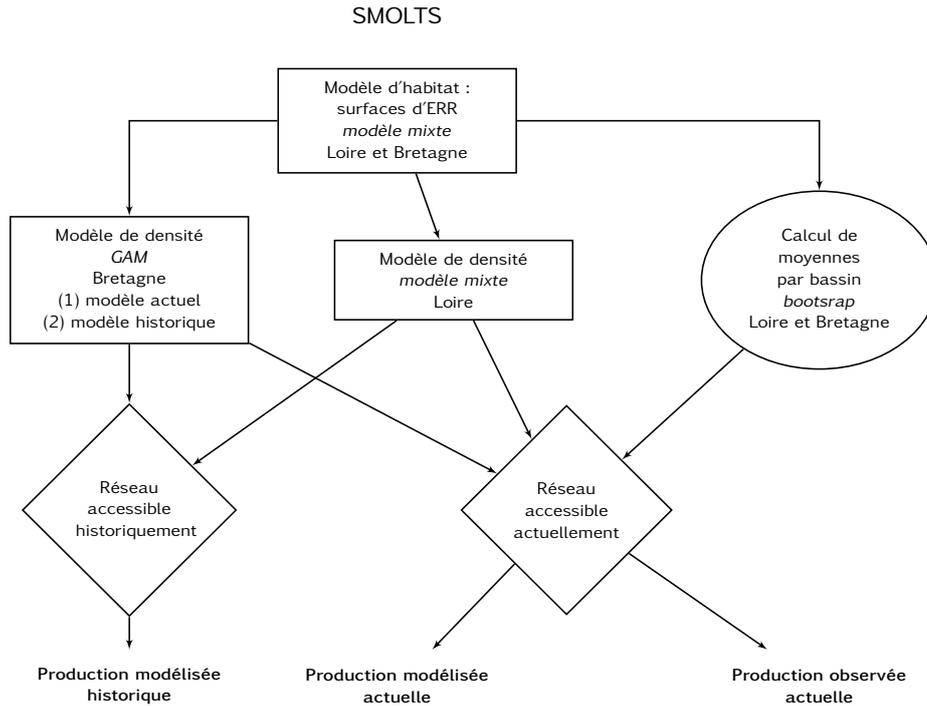


FIGURE 2.8 – Diagramme de la modélisation des productions de saumons.

sances actuellement disponibles sur l’aire de répartition du saumon (pêches électriques, indices d’abondances, rapports sur les capacités d’accueil des sous-bassins versant, etc.), dans l’aire aujourd’hui accessible pour le saumon. L’expertise prend en compte la problématique des grands ouvrages bloquant l’accès aux habitats.

En Bretagne, une enquête réalisée en 2005 par l’ONEMA et les fédérations de pêche a permis d’établir une carte des cours d’eau bretons fréquentés par le saumon. Une actualisation a été effectuée en 2013 pour prendre en compte des observations plus récentes. Cette région dispose donc d’une carte relativement précise de l’aire de colonisation actuelle de l’espèce. Celle-ci identifie non seulement les cours principaux, mais aussi les affluents et sous-affluents de taille parfois réduite (largeur inférieure ou égale à 3 mètres). Il est néanmoins possible, notamment dans le bassin versant de la Loire, que des cours d’eau fréquentés épisodiquement par le saumon aient été écartés, faute de données disponibles.

Pour déterminer le potentiel de production en smolts dans le scénario **production modélisée sans barrage**, nous avons dans un premier temps recherché à lister les cours d’eau qui étaient, à l’origine, accessibles aux géniteurs (absence d’obstacle naturel) et possédaient des caractéristiques hydro-morphologiques autorisant la présence d’habitats favorables à l’espèce pour la reproduction et la croissance des juvéniles. Cette liste a été établie à partir des données disponibles sur l’aire de répartition actuelle de l’espèce et en s’appuyant sur la bibliographie existante concernant sa répartition historique. Nous avons complété cette liste avec des cours d’eau pour lesquels aucune donnée de présence n’existe mais qui, connectés aux précédents, possèdent des caractéristiques d’habitats (granulométrie, pente, débit ...) qui suggèrent une fréquentation historique très probable.

Ainsi, la distribution des surfaces d’habitats des juvéniles de saumons utilisée pour calculer les **productions modélisées sans barrage** est basée sur le recueil des connaissances historiques et une expertise des zones potentielles de production sur la base du substrat et de la largeur

des cours d'eau. La documentation de référence généralement admise dans le bassin de la Loire est celle rassemblée par [Bachelier \(1963\)](#). Dans cet article, en se basant notamment sur des données d'une enquête effectuée en 1888-1889 par l'administration des Eaux et Forêt, il a pu faire une estimation des surfaces de production avant la révolution française, soit préalablement aux travaux d'aménagement (canalisation, barrages) qui ont, à partir du début du XVIII^{ème} siècle, considérablement réduit l'accès aux frayères du haut bassin. L'auteur considère que les meilleures zones de production de tacons se situent principalement des limites extrêmes de remontées signalées lors de l'enquête suscitée jusqu'au moment où la pente moyenne du cours d'eau devient inférieure à 2 pour mille (ce qui pour l'Allier correspond à une limite aval se situant vers Brioude). Elles se localisent pour l'essentiel sur les terrains anciens (granite) et parfois volcaniques du Massif Central (et du Morvan pour l'Arroux). [Bachelier \(1963\)](#) précise, néanmoins, que la zone de production peut, en cas de conditions estivales favorables, se prolonger plus en aval sur des terrains sédimentaires (par exemple jusqu'à Cournon pour l'Allier). Il souligne toutefois que pour ces secteurs aval, la productivité est beaucoup plus limitée et surtout très aléatoire en lien avec les conditions climatiques. Il indiquait également que « *rien n'empêche les saumons de remonter dans des ruisseaux de quelques mètres de largeur pour frayer* », comme cela peut d'ailleurs être observé en Bretagne.

L'aire de répartition du saumon proposée par [Bachelier \(1963\)](#) correspond à celle d'une année sèche, soit les conditions les plus restrictives, alors que les scénarios étudiés visent des conditions de reproduction moyennes. Les zones de répartition des frayères de [Bachelier \(1963\)](#) ont donc été étendues en s'appuyant sur un ensemble de documents qui traitent plus précisément les différents sous-bassins ([Minster et Bomassi, 1999](#); [Bach et al., 2011b](#); [Cosyns et al., 2012](#); [Mazeau, 2006](#); [Pujat, 2012](#)) et sur une enquête auprès des AAPPMA. Un certain nombre d'affluents et sous affluents ont été inclus au regard de la géologie (massif ancien) et des caractéristiques hydro-morphologiques liées, dès lors que leur largeur pouvait atteindre 5 mètres (rang de [strahler](#) du RHT > 2 et/ou largeur du RHT > 5 mètres). Plus en aval, des tronçons de cours d'eau situés en zones à substrat ont été également retenus, pour pouvoir intégrer des zones où le saumon est actuellement présent, notamment du fait d'obstruction à la migration vers l'amont.

En Bretagne, le travail s'est principalement appuyé sur le rapport établi par [Thibault \(1996\)](#). A partir de données collectées auprès des archives nationales de la Marine (enquêtes de LEMASSON DU PARC entre 1726 et 1732) et des Ponts et Chaussées (enquête nationale de 1888 et 1890) l'auteur établit deux cartes de la fréquentation historique des cours d'eau bretons par le saumon atlantique, l'une au début du XVIII^{ème} siècle et l'autre fin XIX^{ème}. C'est la première qui nous a le plus intéressé car elle présentait une situation précédant les premiers grands aménagements réalisés par l'homme dans cette région et plus particulièrement les travaux de canalisation (Canal de Nantes à Brest) de la première moitié du XVIII^{ème}. Cette carte, établit essentiellement à partir des données de pêcheries situées sur la partie aval d'un certain nombre de cours d'eau, présente néanmoins plusieurs limites :

- elle ne prend pas en compte des fleuves de moindre importance où le saumon était vraisemblablement présent mais sur lesquels il n'existait pas de pêcherie et donc pas de donnée (populations réduites)²,
- elle ne précise pas les limites amont de colonisation,
- elle ignore les affluents alors que selon toute vraisemblance, au regard des données actuelles, ceux-ci abritaient également des zones de frayères.

Nous avons complété la carte avec d'autres informations historiques glanées ici et là dans

2. Cette carte permet néanmoins d'étendre les zones de production historique aux bassins amont du Blavet et de l'Oust, où le saumon n'est plus présent aujourd'hui en lien avec les aménagements de ces deux cours d'eau

la bibliographie et dans les résultats d'une enquête réalisée plus récemment (1923) par les services des Eaux et Forêt. Cela nous a permis d'identifier d'autres cours d'eau historiquement fréquentés non cités par Thibault (1996), comme par exemple les petits fleuves côtiers tels que la Rance, l'Arguenon, la Penfeld, . . . , ou bien des affluents de plus grands cours d'eau tels que l'Arz et le Lié sur le bassin de l'Oust.



FIGURE 2.9 – Répartition des surfaces d'habitat de juvéniles cartographiées en Loire et en Bretagne.

Nous avons enfin pris en compte des cours d'eau non mentionnés dans la bibliographie, mais dont les caractéristiques naturelles laissent supposer qu'en l'absence d'obstacle d'origine anthropique ils pouvaient potentiellement accueillir l'espèce. Cela nous a amené à prendre en compte des affluents et sous-affluents, ainsi que de petits fleuves côtiers, dès lors que leur taille nous apparaissait suffisante (ordre de drainage > 2 sur BDCarthage® et/ou largeur supérieure à 3 mètres dans le RHT). Pour certains cours d'eau, la présence d'obstacles naturels infranchissables nous a néanmoins amené à limiter la zone potentielle de production en amont³. Finalement, la majeure partie des bassins hydrographiques bretons se trouve concernée, exception faite de la partie orientale du bassin

de la Vilaine, où les caractéristiques hydrologiques (faibles débits notamment en étiage) et morphologiques (pente faible) ne sont pas favorables à la présence du saumon. Si l'on exclue la Rance, l'Arguenon, et le bas bassin de l'Oust, l'essentiel de la zone de production est, comme cela est généralement admis, localisée à l'ouest d'une ligne rejoignant St-Brieuc à Vannes. Le Couesnon de son côté est à rattacher à l'ensemble des petits cours d'eau à saumon tributaires de la baie du Mont St-Michel et principalement localisés en Basse-Normandie.

2.4.2 Modélisation des surfaces productives

Les surfaces productives de juvéniles sont calculées à partir de la surface d'Equivalent Radiers Rapides (ERR) (Prévost et Porcher, 1996). En Loire, des coefficients de pondération de la production de juvéniles sont appliqués en fonction des faciès d'écoulement avec la formule 2.1 (Minster et Bomassi, 1999; Baran, 2000).

$$S = S_{rap} + S_{clo} + S_{rab} + S_{rad} + \frac{S_{pla}}{5} \quad (2.1)$$

avec S_{rap} =surface de rapide, S_{clo} =surface de chenal lotique, S_{rad} =surface de radier, S_{rab} =surface de radier à blocs, S_{pla} = surface de plat lotique.

Suivant cette formule, les faciès d'écoulement lenticques ne produisent pas de juvéniles, et les plats lotiques ont une productivité plus faible que celle des radiers ou rapides. De ce fait, un facteur $\frac{1}{5}$ leur est attribué.

Les densités automnales observées sur les rivières du Scorff, de l'Oir et du Trieux montrent un rapport des densités étant en moyenne de l'ordre de 1 sur les plats à 5 pour les radiers/rapides

3. comme par exemple le chaos de Saint-Herbot sur l'Ellez, celui de Toul Goulic sur le Blavet ou la chute des Ponts Neufs sur le Gouëssant

(Prevost et Bagliniere, 1993; Prévost et Porcher, 1996, Baglinière, données non publiées). Sur les cours d'eau bretons, la surface de production ou surface équivalent radier/rapide (Serr) est ainsi calculée d'une manière plus simple (formule 2.2) :

$$S = S_{rad} + S_{rap} + \frac{S_{pla}}{5} \quad (2.2)$$

Toutes les descriptions de **faciès d'écoulement** disponibles à l'échelle de la Bretagne et de la Loire ont été compilées (Figure 2.9). En Bretagne, le total des cours d'eau cartographiés représente 87% des surfaces potentielles accessibles par le saumon sur les 23 rivières à saumons de Bretagne. Sur la Loire les **faciès d'écoulement** ont été décrits sur l'Allier, l'Arroux et quelques affluents, ainsi que sur la Gartempe.

Les surfaces d'ERR ont été projetées sur le réseau RHT, et un modèle commun a été ajusté pour décrire le $\text{ratio} = \frac{\text{Surface ERR}}{\text{Surface totale}}$ (Annexe A). Multiplié par la surface des tronçons RHT, le ratio permet de calculer les surfaces productives sur l'ensemble des **tronçons hydrographiques** correspondant à la surface de répartition actuelle ou historique du saumon. Un **modèle mixte** a été ajusté, avec comme variable dépendante le **ratio**. Plusieurs variables explicatives correspondant aux paramètres physiques des **tronçons hydrographiques** du RHT ont été testées : l'altitude, la distance à la source, la pente, le **module**, la largeur, le rang de strahler, la surface du bassin versant, etc.

Une analyse des corrélations entre variables explicatives a été effectuée pour limiter la colinéarité des variables incluses dans le modèle. Une variable permettant de décrire les conditions hydrauliques au moment de l'inventaire est ajoutée au modèle. Les détails concernant le modèle et son ajustement sont donnés en Annexe A.

2.4.3 Productivité des habitats de juvéniles de saumons

2.4.3.1 Les données d'indice d'abondance

Les indices d'abondance de **tacons** correspondent à la capture d'un nombre de poissons en 5 minutes avec 4 personnes en utilisant un matériel de pêche électrique portatif (martin pêcheur) délivrant un courant crénelé. Ils sont collectés par LOGRAMI, l'ONEMA, l'INRA (sur le Scorff), et les Fédérations Départementales pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique en Bretagne, dans le cadre des plans de gestion spécifiques. Les données utilisées pour le calcul des moyennes correspondent pour la majeure partie des cours d'eau aux 5 années 2008-2012. Pour cette période, le nombre de stations de pêche correspond à 383, avec 253 stations en Bretagne (Figure 2.11) et 130 stations sur la Loire (Figure 2.10).

En Loire, le stock est soutenu par des opérations de repeuplement, alors que les données recueillies en Bretagne reflètent une situation naturelle. Cette situation a conduit à analyser séparément les données d'indice d'abondance sur les deux territoires. En particulier, sur le bassin versant de la Loire, la stratégie de repeuplement n'est pas restée toujours la même sur Allier. De 2002 à 2006, les meilleurs habitats en amont de Langeac ont été utilisés pour le déversement, y compris à l'amont du **barrage** de Poutès. A partir de 2007, les déversements ont été effectués sur des habitats considérés comme moins favorables sur l'Allier en aval de Langeac, et les habitats de l'amont ont été réservés pour la reproduction naturelle, sur un secteur qui reste difficilement accessible.

L'utilisation, comme en Bretagne, des données de 2008 à 2012 aurait eu comme conséquence de sous estimer les productivités des meilleures zones, et de surestimer les productivités des habitats déversés en aval de Langeac. Pour cette raison, en amont de Langeac, des données comparables sont utilisées pour couvrir l'ensemble du secteur amont, c'est à dire des données de déversement de 2002 à 2006. L'année 2007 n'est pas utilisée car c'est une année de

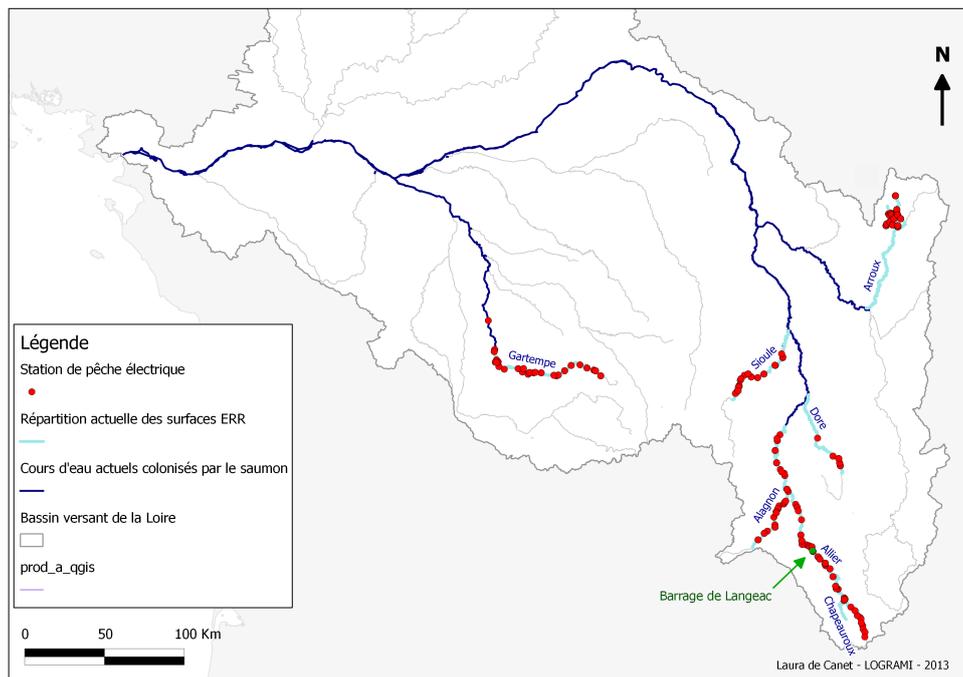


FIGURE 2.10 – Répartition des stations de pêches utilisées pour calculer la production moyenne sur la Loire.

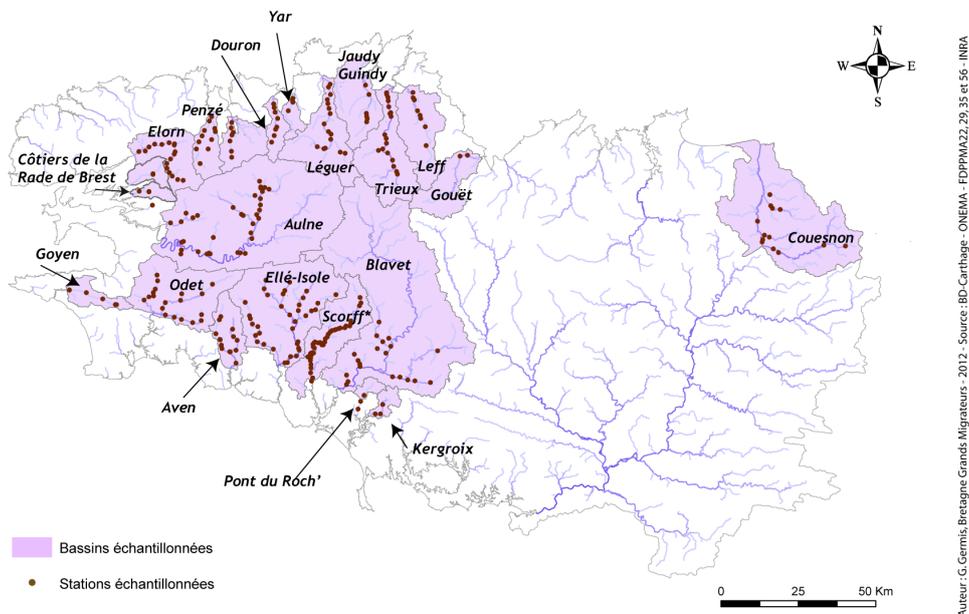


FIGURE 2.11 – Répartition des stations de pêches indices d'abondances utilisées pour calculer la production moyenne de smolts en Bretagne.

transition dans la stratégie de repeuplement. Le calage du modèle est donc effectué en utilisant toujours les mêmes conditions de production, *i.e.* les indices d'abondances en situation de déversement sur les différents secteurs.

2.4.3.2 Productions de smolts

Pour calculer les mortalités dans les turbines, il faut connaître le nombre de **smolts** qui vont dévaler depuis les différentes zones de production du bassin. La production de smolts est estimée à partir des abondances de **tacons 0+** par une régression linéaire (équation 2.3) calée sur des données collectées de pêches complètes et d'indices d'abondances sur l'ensemble du massif armoricain (Prevost et Nihouarn, 1999).

$$\text{Densité(ind/100m}^2\text{)} = 0.358 \times (\text{Indice d'abondance(tacons0}^+\text{/5min)}) \quad (2.3)$$

Les mêmes coefficients ont été utilisés sur les deux bassins. En effet, une étude similaire sur le bassin de la Loire a montré que les coefficients directeurs de la régression étaient respectivement de 0.353 pour l'Allier (CSP, non publié) et 0.333 pour la Gartempe (CSP, non publié), c'est à dire suffisamment proches de la relation établie en Bretagne pour appliquer le même coefficient sur l'ensemble des données.

La conversion des abondances **tacons 0+** en **smolts** est basée sur une hypothèse de taux de mortalité de 60% (com. pers. J.L. Baglinière, Oir, 1985-2008). La production en **smolts** des cours d'eau correspond donc à la relation 2.4 :

$$\text{Production smolts} = S_{err} \frac{\times 0.4 \times 0.358 \times (\text{Indice d'abondance(tacons0}^+\text{/5min)})}{100} \quad (2.4)$$

2.4.3.3 Production de smolt par bootstrap

Les moyennes de production de **smolts** par 100m² et leurs intervalles de confiance à 95 % ont été calculées par une procédure de **bootstrap** (Efron et Tibshirani, 1994) avec 1000 tirages.

2.4.3.4 Modélisation de la production de smolts

Le calage d'un modèle commun pour les données de Loire et de Bretagne s'est avéré difficile, compte tenu des différences entre stratégies de déversement (pas d'effet annuel commun à attendre) et de l'hétérogénéité spatiale de certaines variables comme l'altitude ou la distance à la mer.

En Bretagne, la couverture géographique des données d'indices d'abondance a conduit à ajuster un modèle qui permette de mettre en évidence des variations géographiques des abondances, allant parfois au delà de l'effet bassin. En effet, certaines variables comme le substrat géologique ou la pente sont communes à certaines zones en Bretagne et les densités de tacons présentent une structuration géographique assez cohérente. Ainsi, sur la côte sud, les densités diminuent vers l'est (fin des monts d'Arrée). En Finistère, les densités sont importantes à l'exception du bassin de l'Aulne où les densités sont très faibles du fait de la forte artificialisation du cours d'eau et de son bassin. Sur la côte nord de la Bretagne, on retrouve le même patron de diminution vers l'est que sur la côte sud. La densité est forte sur la Penzé, puis des densités moyennes diminuent vers le Leguer, le Trieux et le Leff. Plus loin, la seule référence en terme d'indices d'abondance est le bassin du Couesnon, où les densités sont faibles, et comme au sud, cette situation reflète probablement des contraintes géographiques sur le stock.

Bien que cette description globale souffre d'exceptions géographiques avec certains bassins à truites de mer comme le Yar où les densités sont beaucoup plus faibles, elle permet d'ajuster

un modèle dans lequel on intègre une composante de variation spatiale.

Sur la Loire, les données sont beaucoup plus éparées, et ne permettent pas d'assurer une modélisation continue. Un modèle plus simple a été ajusté, avec une partie fixe et une partie aléatoire pour décrire la structure de variance entre les bassins.

Dans les deux cas, les données utilisées pour construire le modèle proviennent de données continues. La tentative de calage d'un modèle structuré sur des données discrètes (modèle binomial négatif augmenté en zéro) a donné globalement d'assez mauvais résultats. Le modèle a donc été calé avec des procédures de régression adaptées aux données continues. La normalisation des **résidus** a conduit à transformer les densités avec des transformations puissance (Loire) et log (Bretagne). Les données d'abondance nulles ont été écartées de la régression sur les deux territoires. La justification de ce choix, outre les contraintes de modélisation, est que le modèle de densité est utilisé pour prédire l'abondance. C'est le modèle de surface d'habitat, qui combiné à l'expertise des zones d'habitat actuelles et historiques, est utilisé pour décrire la structuration spatiale de la population. Ce choix pourra toutefois avoir introduit des biais de sous estimation des effectifs qui seront analysés en discussion.

2.4.4 Productions de smolts des cours d'eau

La production des cours d'eau correspond à la productivité des cours d'eau multipliée par la surface d'habitats modélisée. La **production modélisée actuelle** correspond à la production modélisée multipliée par la surface de frayères modélisée.

2.5 Calcul des productions d'anguille argentées

Les productions d'**anguilles argentées** sont prédites à l'aide du modèle **EDA**. La version 2.1 du modèle, comme les modèles d'estimations d'habitat et de productivité du saumon, est basée sur le **RHT** (Pella et al., 2012) et sur des résultats de pêches électriques collectées sur l'ensemble du territoire français métropolitain.

Les pêches électriques ont été extraites de la Banque de Données Milieux Aquatiques et Poissons de l'ONEMA (BDMAP - version du 21-10-2011) avec 23 312 opérations de pêche, collectées sur 9 004 stations d'échantillonnage de 1966 à 2009. Les données ont été limitées aux opérations de pêches électriques, à deux passages par secteurs avec une méthode de prospection complète à pied. Les stations de pêche dont la longueur excède 3000 mètres, et les stations influencées par des transferts de civelles, ont été écartées du jeu de données. La densité correspond aux densités estimées par la méthode de Carle et Strub et divisées par la surface prospectée.

Les densités d'anguilles jaunes observées lors de pêches électriques ont été reliées à différents paramètres ou variables explicatives. Les variables explicatives proviennent, soit d'informations associées aux tronçons dans les réseaux hydrographiques (RHT), soit de données disponibles à une large échelle comme les pressions anthropiques ou l'occupation du sol.

Le modèle intègre en particulier les données sur les obstacles du Référentiel National des Obstacles à l'Écoulement (**ROE** version publique d'avril 2011) de l'ONEMA. 49 328 obstacles ont pu être projetés sur le réseau hydrographique RHT soit 91% des obstacles de la base **ROE**. A partir de ces derniers, le nombre d'obstacles cumulés à l'aval de chaque tronçon jusqu'à la mer a été utilisé comme prédicteur des abondances d'anguilles jaunes.

Pour prédire les densités d’anguilles jaunes au cours du temps en fonction de caractéristiques environnementales, une approche par modèle delta-gamma a été retenue (Stefánsson, 1996). Cette approche permet d’expliquer une large proportion de la variabilité de données d’abondance principalement quand il y a une surreprésentation des valeurs nulles. Le modèle EDA combine :

- un modèle de présence-absence (modèle Δ) pour déterminer la probabilité d’une densité non nulle,
- un modèle de densité (modèle Γ) pour déterminer le niveau des densités non nulles.

La multiplication des ces deux modèles (modèle $\Delta\Gamma$) permet ensuite de calculer la densité d’anguilles dans un tronçon. A chaque fois, des modèles additifs généralisés GAM, (Hastie et Tibshirani, 1990), ont été utilisés. Le modèle Δ utilise une distribution binomiale et un lien logit. Le modèle Γ , utilise une distribution gamma et un lien logarithme. Dans notre cas, les GAM ont été calculés avec les bibliothèques « GAM » (Hastie, 2008) en utilisant une spline cubique. Pour le modèle Δ comme pour le modèle Γ , la sélection du meilleur modèle est basée sur le critère d’information d’Akaike (AIC) (Akaike, 1973).

Les variables sélectionnées lors du calage du modèle Δ et du modèle Γ sont les mêmes. Seule la surface échantillonnée a été rajoutée dans le modèle Δ .

- l’année,
- le mois,
- l’UGA,
- l’altitude moyenne (m),
- la distance à la mer (km),
- la température de juillet moyenne (°C),
- le nombre d’ouvrages cumulés à l’aval,
- le pourcentage d’urbanisation du sous bassin (calculé à partir des données de Corinne Land Cover).

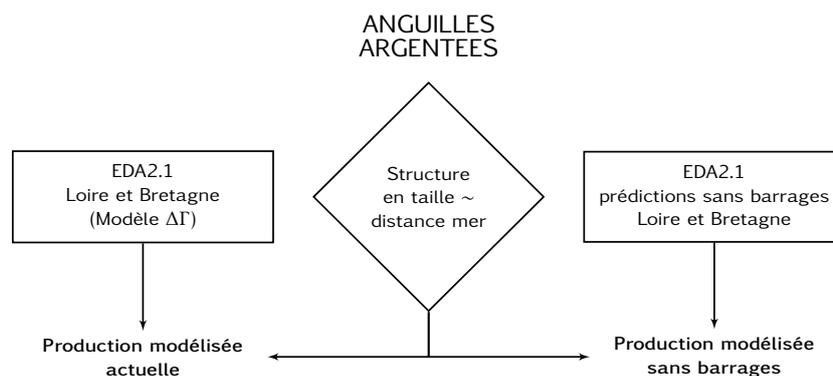


FIGURE 2.12 – Diagramme des principales étapes du modèle de calcul des productions en anguilles.

A partir des données d’anguilles jaunes, les productions d’anguilles argentées sont prédites en faisant l’hypothèse qu’une population d’anguilles jaunes produit annuellement 5% de son effectif en anguilles argentées.

2.6 Recensement des données ouvrages

Un Référentiel National des Obstacles à l’Ecoulement ROE a été créé (pilote par l’ONEMA) pour répondre au besoin d’échange de données qui se multiplie dans le cadre de la Directive

Cadre Européenne sur l'eau (2000/60/CE) et plus récemment avec le lancement du plan d'action national pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau (13 novembre 2009) et la révision du classement des cours d'eau (10 juillet 2012 pour le bassin Loire Bretagne). Ce référentiel est le produit à la fois de la centralisation des données existantes et des données issues de nouveaux inventaires. Le ROE recense actuellement environ 23 000 seuils dans le bassin de Loire, dont 749 ouvrages identifiés avec un usage "énergie et hydro-électricité"⁴. Les services départementaux de l'ONEMA ont récupéré les caractéristiques des ouvrages hydroélectriques. Ces données sont conformes au protocole d'acquisition de l'ICE (Informations sur la continuité écologique) en cours de mise en place pour évaluer l'impact des ouvrages sur la continuité écologique. Nous avons complété cette enquête avec d'autres sources de données, par exemple, les redevances de l'Agence de l'eau qui ont permis l'identification des ouvrages ayant un usage hydroélectrique, et la connaissance des débits turbinés a conduit à affecter des caractéristiques probables de puissance lorsque la donnée faisait défaut.

2.7 Calculs des mortalités dans les ouvrages hydroélectriques

La mortalité au niveau des ouvrages varie en fonction de la prise d'eau, de l'importance du débit turbiné Q_t , des types de turbines et de leurs caractéristiques. Les turbines les plus fréquentes en Bretagne et sur le bassin de la Loire sont de types Francis et Kaplan (Annexe G).

2.7.1 Mortalité par turbine chez les smolts

La mortalité induite sur les smolts par ces turbines est très variable suivant les caractéristiques des turbines (diamètre, rotation, vitesse, etc.). Plus la taille du poisson est grande, la turbine petite et le débit turbiné Q_t élevé ou la vitesse de rotation grande, plus la mortalité sera importante. En effet, la hauteur de chute augmente, entre autre, la vitesse de rotation et par conséquent les risques de blessures contre les parois, les pales ou les aubes de la turbine. Ainsi, les taux de mortalité varient entre 5 à 90% pour les Francis et 5 à 20% pour les Kaplan (Larinier et Travade, 2002). La principale variable expliquant la mortalité est la hauteur de chute qui détermine la vitesse relative du poisson vis à vis de la turbine, et les gradients de vitesse à l'intérieur de la roue.

Pour les turbines Kaplan et Francis nous avons utilisé des régressions déterminées respectivement par Larinier et Travade (2002) et Larinier et Dartiguelongue (1989) pour calculer des pourcentages de mortalité par type de turbine (équations 2.5 et 2.6). Dans les deux cas, le diamètre à mi-roue (Kaplan) ou à mi-aube (Francis) doit être déterminé pour pouvoir appliquer les formules d'estimation de la mortalité.

Dans le cas des Kaplan, une régression linéaire sur le nombre de pales est utilisée pour déter-

4. Le recensement complet des ouvrages hydroélectriques en service à l'échelle du bassin et la connaissance de leurs caractéristiques d'équipement a fait l'objet d'un effort particulier d'acquisition de données en 2013 et 2014 et doit se poursuivre en 2015 pour améliorer la qualité des résultats de la modélisation

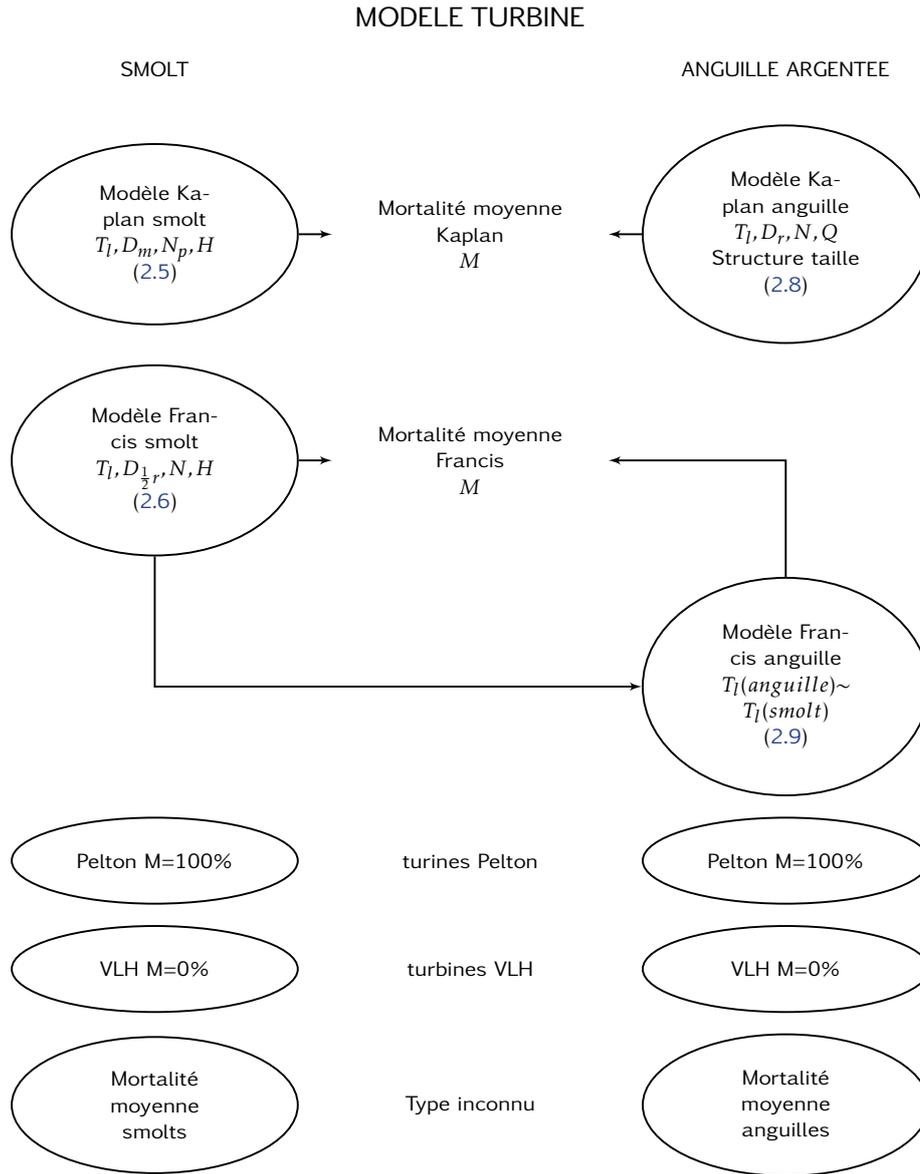


FIGURE 2.13 – Diagramme schématisé du calcul des mortalités dans les turbines.

miner le rapport des diamètres à la périphérie et au moyeu (Gomes et Larinier, 2008).

$$\begin{aligned}
 \text{Turbines Kaplan } M(\%) &= \left[\sin \left(13.4 + 42.8 \frac{\bar{T}_l}{esp} \right) \right]^2 \\
 esp &= \pi \frac{D_{\frac{1}{2}r}}{N_p} \text{ (espacement à mi-pale)} \\
 &= \pi \frac{D_r + D_m}{2N_p} \\
 &= \pi \frac{D_r + D_r(0.055N_p + 0.177)}{2N_p} \\
 M(\%) &= \left[\sin \left(13.4 + 85.6 \frac{\bar{T}_l N_p}{\pi D_r (0.055N_p + 1.177)} \right) \right]^2
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

\bar{T}_l =taille moyenne (m), $D_{\frac{1}{2}r}$ =diamètre de la roue à mi-pale (m), D_m =diamètre au moyeu (m),

2.7 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES HYDROÉLECTRIQUES

D_r =diamètre (m), N_p =nombre de pales (Larinier et Dartiguelongue, 1989).

$$\text{Turbines Francis } M(\%) = \left[\sin \left(6.54 + 0.218H + 118\bar{T}_l - 3.88D_{\frac{1}{2}r} + 0.0078N \right) \right]^2 \quad (2.6)$$

\bar{T}_l =taille moyenne d'un saumon (m), $D_{\frac{1}{2}r}$ =diamètre de la roue à mi aube (m), N =vitesse de rotation (tours/min), H =hauteur de chute (m) (Larinier et Dartiguelongue, 1989).

Le diamètre a mi-aube est calculé à partir de paramètres moyens de dimensionnement des turbines Francis (Logan, 2003) (Formule 2.7).

$$B = \frac{Q}{\pi V_1 C D_r \sin(\alpha_1)} \quad V_1 = c \sqrt{2gH}$$

$$D_{\frac{1}{2}r} = D_r - \max\left(\frac{B}{2}, \frac{D_r}{2}\right) = D_r - \max\left(\frac{Q}{7.82D_r \sqrt{H}}, \frac{D_r}{2}\right) \quad (2.7)$$

B =hauteur de l'aube, Q = débit nominal en $m^3 \cdot s^{-1}$, D_r =diamètre de la roue (m), $D_{\frac{1}{2}r}$ =diamètre de la roue à mi-aube (m), V_1 =Vitesse du courant, c coefficient de perte de charge de 0.8 à 0.6 pour des vitesses spécifiques $\frac{0.2626NP^{0.5}}{7}h^{5/4}$ variant entre 25 et 85, C coefficient dépendant de l'épaisseur de la pale, de l'ordre de 0.95, H hauteur de chute (m), α_1 angle entre l'eau provenant de la bache et la circonférence de la roue (entre 15 et 35 °).

En pratique cette formule donne dans de nombreux cas des dimensions d'aubes supérieures au diamètre de la roue. Une limite basse au diamètre à mi-aube a été établie à $D_r/2$.

Les turbines Pelton entraînent une mortalité totale ($M = 100\%$) car ce sont des dispositifs à réaction (choc de l'eau sur la roue). Celles-ci sont positionnées sur de très grandes chutes en tête de bassins. Enfin, pour les turbines très basses chutes ou ichthyocompatibles (ex : VLH) qui ont été construites dans le but de diminuer l'impact des turbines sur les poissons migrateurs, nous considérons que la mortalité sur les saumons est nulle.

Un smolt dévalant mesure entre 15 et 20 cm suivant les caractéristiques du milieu dont il est issu (Larinier et Travade, 2002). Nous avons choisi par expérience du terrain d'affecter une taille moyenne de 18 cm pour les calculs de mortalité sur le bassin de la Loire et 15 cm en Bretagne.

Pour les rares dispositifs de dévalaison indiqués et jugés efficaces -exutoires dont l'efficacité varie suivant les différents ouvrages, grille de protection avec espace inter-barreau de 1.5 à 2.5 cm maximum pour le saumon- nous avons affecté une mortalité nulle.



(a) turbine Francis (1).



(b) turbine Kaplan (1).



(c) turbine Pelton (2).

FIGURE 2.14 – Exemples de turbines classiques (1) source wikimédia, (2) source wikipédia.

2.7.2 Mortalité par turbine chez les anguilles

Contrairement aux smolts pour lesquels une hypothèse de taille constante de 18 cm est effectuée, la structure en taille des anguilles est considérée dans le calcul de la mortalité moyenne par turbine. Pour chaque ouvrage, la répartition en classe de taille des **anguilles argentées** est calculée à partir de la distribution en classes de tailles obtenue en pêche électrique sur la période 2009 à 2011. La structure en taille de la population dévalante est calculée pour différentes classes de distance à la mer. La mortalité est ensuite calculée en faisant la moyenne pondérée des mortalités par classes de tailles T_l .

Les formules utilisées pour le calcul des mortalités dans les turbines **Kaplan** sont issues du travail de **Gomes et Larinier (2008)**. Trois expressions relient la mortalité aux caractéristiques de la turbine et à la taille de l'anguille (Formule 2.8). Le paramètre commun à ces trois expressions est la vitesse de rotation de la turbine.

$$\text{Turbines kaplan } M(T_l)(\%) = \begin{cases} 4.67 T_l^{1.53} D_r^{-0.48} N^{0.6} si \exists D_r, N \text{ (Formule 1)} \\ 6, 59 T_l^{1.63} Q^{-0.24} N^{0.63} si \exists Q, N \text{ (Formule 2)} \\ 12.42 T_l^{1.36} Q^{-0.22} D_r^{-0.10} N^{0.49} si \exists Q, D_r, N \text{ (Formule 3)} \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\bar{M} = \sum_{T_l \in \{0.2, \dots, 0.9\}} \frac{N_{T_l}}{N} M(T_l)$$

T_l =taille de l'anguille (m), D_r =diamètre de la roue (m), N =vitesse de rotation (tours/minute), Q =débit nominal en $m^3.s^{-1}$, $N(T_l)$ Nombre d'anguilles de la classe de taille T_l pour la classe de distance à la mer considérée, N nombre d'anguilles total pour la classe de distance (**Gomes et Larinier, 2008**).

Pour les turbines **Francis**, en l'absence de formule prédictive adaptée pour l'anguille, nous avons choisi d'utiliser les valeurs données par la formule développée pour le saumon. Dans l'équation 2.6 le principal facteur explicatif de la mortalité est la taille. L'utilisation d'une transformation sinus permet d'avoir des mortalités entre zéro et un, mais rend l'utilisation de la formule hasardeuse, lorsqu'on est aux limites de la gamme de valeur étudiée. Dans les valeurs proches de la taille de calage du modèle, l'augmentation des mortalités en fonction de la taille est linéaire. C'est ce facteur qui est utilisé pour prédire les mortalités pour les anguilles à partir de celles prédites pour les smolts. L'ajustement d'une droite de régression (Formule 2.9) est détaillé en Annexe I. Au delà d'une certaine taille, les mortalités sont de 100 % (Figure I.3).

Pour chaque ouvrage, en fonction de la distance à la mer, on calcule la répartition en classes de tailles des **anguilles argentées**. La mortalité est calculée en faisant la moyenne pondérée des mortalités par classes de tailles T_l .

$$\text{Turbines Francis } M_{anguille}(\%) = \sum_{T_l} \frac{N_{T_l}}{N} [\min(100, M_{saumon}(0.18) + (T_l - 0.18) * 167)] \quad (2.9)$$

Pour les turbines **Pelton** un facteur de mortalité de 100% est appliqué, pour les turbines ichtyocompatibles (ex : type **VLH**) la mortalité est considérée comme nulle.

2.7.3 Hypothèses supplémentaires en cas de données manquantes

Dans de nombreux cas, les données recueillies ne permettent pas d'effectuer les calculs de mortalité, les hypothèses et calculs supplémentaires sont détaillés ci-dessous :



(a) VLH (Very low head) (source : ONEMA).



(b) La vis d'Archimède (source : ONEMA).

FIGURE 2.15 – Exemples de turbines ichtyocompatibles.

Information suffisante.

Le premier cas correspond à un calcul possible directement à partir des informations recueillies. En l'absence des données individuelles de débits par machine, nous avons supposé que les débits sont répartis équitablement sur toutes les turbines de l'ouvrage.

Hypothèses supplémentaires

Lorsque les informations à notre disposition n'étaient pas suffisantes, nous avons effectué des hypothèses supplémentaires pour calculer les mortalités :

- nous avons affecté 4 pales aux turbines Kaplan ;
- le diamètre des roues des turbines Kaplan a été calculé avec deux formules (Formule 2.10) :

$$\text{Diamètre Kaplan } D_r = \begin{cases} 3.82 \times N^{-0.307} \times Q^{0.328} \text{ si } \exists N, Q \\ 0.618 \times Q^{0.408} \text{ si } \exists Q \end{cases} \quad (2.10)$$

avec D_r =Diamètre de la turbine, N =Vitesse de rotation et Q =débit nominal (Gomes et Larinier, 2008) ;

- pour les ouvrages dont la production d'électricité est utilisée à des fins d'auto-consommation (moulins à très faible production hydro-électrique), les débits d'équipement Q_ϵ ont été estimés à partir de la moyenne des débits d'équipements disponibles dans notre base de données ;
- pour les ouvrages de production hydro-électrique (usage commercial) nous avons affecté un $Q_\epsilon = 75\%$ du module.
- Pour les turbines Francis, les vitesses de rotation et le diamètre des roues ont été calculées à partir des hauteurs de chute à l'aide des relations 2.11 et 2.12 (voir Annexe I). En pratique, le diamètre des turbines est contraint pour des raisons d'encombrement. La relation diamètre ~ hauteur simule une augmentation linéaire du diamètre jusqu'à la taille 2.5 m puis une taille constante (Figures I.2 et I.1).

$$N = 75.2 + 45 \log(H) \quad (2.11)$$

avec N =vitesse de rotation (tours/min), H =Hauteur en m.

$$D = \begin{cases} 0.26H \text{ si } d < 2.5 \\ 2.5 \text{ si } d \geq 2.5 \end{cases} \quad (2.12)$$

avec D =diamètre de la roue (m), H =Hauteur en m.

Moyennes Kaplan et Francis

Pour les turbines Kaplan et Francis dont les caractéristiques étaient insuffisamment renseignées, nous avons directement affecté le résultat moyen de mortalité des turbines du même type.

Moyenne globale

Pour les turbines dont le type n'était pas connu, nous avons affecté la moyenne des mortalités de l'ensemble des turbines qui ont fait l'objet d'un calcul.

2.7.4 Nombre d'individus entraînés vers les turbines

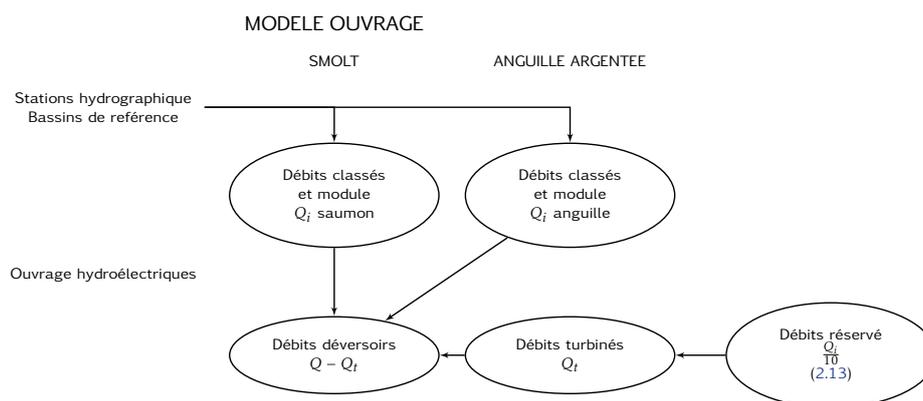


FIGURE 2.16 – Diagramme schématisé du calcul des mortalités à l'échelle de l'ouvrage.

La part de poissons entraînée vers les turbines par la prise d'eau, et la part des plus chanceux, empruntant la surverse de l'ouvrage ou les exutoires de dévalaison, ont une importance relative dont le niveau varie en fonction du débit de la rivière lors de la dévalaison (Annexe E). Le calcul de répartition est réalisé au pro-rata de la répartition du débit Q^5 . Le débit turbiné Q_t peut être estimé à l'aide du débit d'équipement Q_e de l'ouvrage et du débit réservé qui correspond au dixième du module interannuel Q_i . Le fonctionnement d'un ouvrage peut être résumé comme suit (formule 2.13) :

1. Si le débit est inférieur au débit réservé, les turbines ne sont pas alimentées en eau.
2. Si le débit est supérieur au débit réservé, il peut y avoir turbinage jusqu'à atteindre le débit d'équipement Q_e de l'ouvrage.
3. Lorsque le débit d'équipement Q_e de l'ouvrage est dépassé, les déversoirs de décharge évacuent le débit supplémentaire qui ne peut pas être turbiné.

$$\text{débit turbiné } Q_t = \begin{cases} 0 & \text{si } Q < \frac{Q_i}{10} \\ \min(Q - \frac{Q_i}{10}, Q_e) & \text{si } Q > \frac{Q_i}{10} \end{cases} \quad (2.13)$$

Chaque ouvrage hydroélectrique est composé d'un nombre variable de turbines. La mortalité par ouvrage correspond à la somme pondérée des mortalités par turbine suivant leurs débits (Formule 2.14). A défaut d'informations résultant d'expérimentations *in situ* sur les proportions de poissons empruntant les différentes voies d'écoulement, nous avons fait, comme sur les déversoirs de décharge, l'hypothèse que la répartition par turbine se faisait au *pro-rata* du débit.

5. Dans le projet Sea-hope (Jouanin et al., 2011), un calcul basé sur les observations sur les centrales de l'Adour avait conduit à utiliser une régression logistique, nous avons simplifié ce calcul

2.7.5 Calcul des débits de dévalaison

Plus le débit passant par les déversoirs dans les évacuateurs de crue ou dans les exutoires de dévalaison sera important, plus la mortalité au niveau de l'ouvrage sera faible, car la part de poissons transitant par les turbines diminuera. Les calculs de mortalité doivent donc être effectués en considérant les variations de débit au droit de chaque ouvrage lors de la période de dévalaison. Le calcul des débits classés au niveau de chaque ouvrage pendant la saison de migration permet de rendre compte de la diversité des conditions hydrologiques rencontrées au cours de la dévalaison.

31 stations hydrométriques ont été sélectionnées dans la banque hydro du MEDDE pour le calcul des débits classés. Ces stations ont été sélectionnées par expertise pour leur représentativité par rapport au fonctionnement hydrologiques des sous-bassins équipés d'ouvrages hydroélectriques. Les débits classés ont été calculés sur la saison de dévalaison à partir d'une chronique de 30 ans (Tableau E.1, Annexe E).

Pour les smolts, la saison de migration correspond aux mois de mars à mai. Les débits sont répartis en cinq classes correspondant aux percentiles 0-20 20-40 40-60 60-80 et 80-100%. Les débits classés Q_i correspondant aux percentiles 10, 30, 50, 70 et 90%, ont été retenus aux centres de ces cinq classes. Pour les anguilles, la saison de migration correspond aux mois d'octobre à avril. Les centres de classes retenus pour cette espèce correspondent à des débits élevés : 75, 90, 95, 97 et 99. Ce classement a été déterminé à partir des chroniques de dévalaison observées sur le Gave de Pau (Bau et al., 2013; Jouanin et al., 2011). Les mortalités à chaque ouvrage $\bar{\tau}$ sont calculées en faisant l'hypothèse d'une répartition uniforme de la dévalaison sur les cinq classes de débit retenues (Formule 2.14).

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_i \left(\frac{\sum_k Q_{tk} M_k}{Q_i} \right)}{i} \quad (2.14)$$

avec $\bar{\tau}$ mortalité au niveau de l'ouvrage, M_k =mortalité dans la turbine k, Q_{tk} =débit turbiné Q_t dans la turbine k, Q_i =débit classé, i =nombre de débits classés.

Afin d'attribuer à chaque tronçon du RHT des débits classés prenant en compte les caractéristiques hydrologiques du tronçon, nous avons calculé pour chaque tronçon un coefficient qui correspond au rapport du module issu de la base de données du RHT sur le module calculé à partir des données de la banque hydro la saison et la station choisie comme référence sur le secteur. Nous avons affecté ce coefficient correcteur à tous nos débits classés afin d'obtenir des résultats pour chaque tronçon RHT. Ce calcul permet de disposer de débits classés Q_i (équation 2.14) au niveau de chaque ouvrage hydroélectrique du bassin (Annexe I).

2.7.6 Calcul de la mortalité à l'échelle du bassin versant

Le calcul de la mortalité à l'échelle du bassin correspond au croisement des résultats des modèles de mortalité dans les turbines, des modèles de répartition des débits aux ouvrages, et des différents scénarios de production à l'échelle du bassin (Figure 2.17)

2.7.6.1 Chaînage du bassin versant par calcul des tronçons hydrographique situés en amont d'un ouvrage

Le réseau RHT est divisé en tronçons, mais les ouvrages ne forment pas les limites des tronçons. Il peut y avoir plusieurs ouvrages sur un même tronçon. Il faut alors décider si la mortalité des ouvrages s'applique au tronçon sur lequel ils se trouvent, ou seulement aux individus dévalant de l'amont. Le choix qui a été fait respecte la logique de l'implémentation du

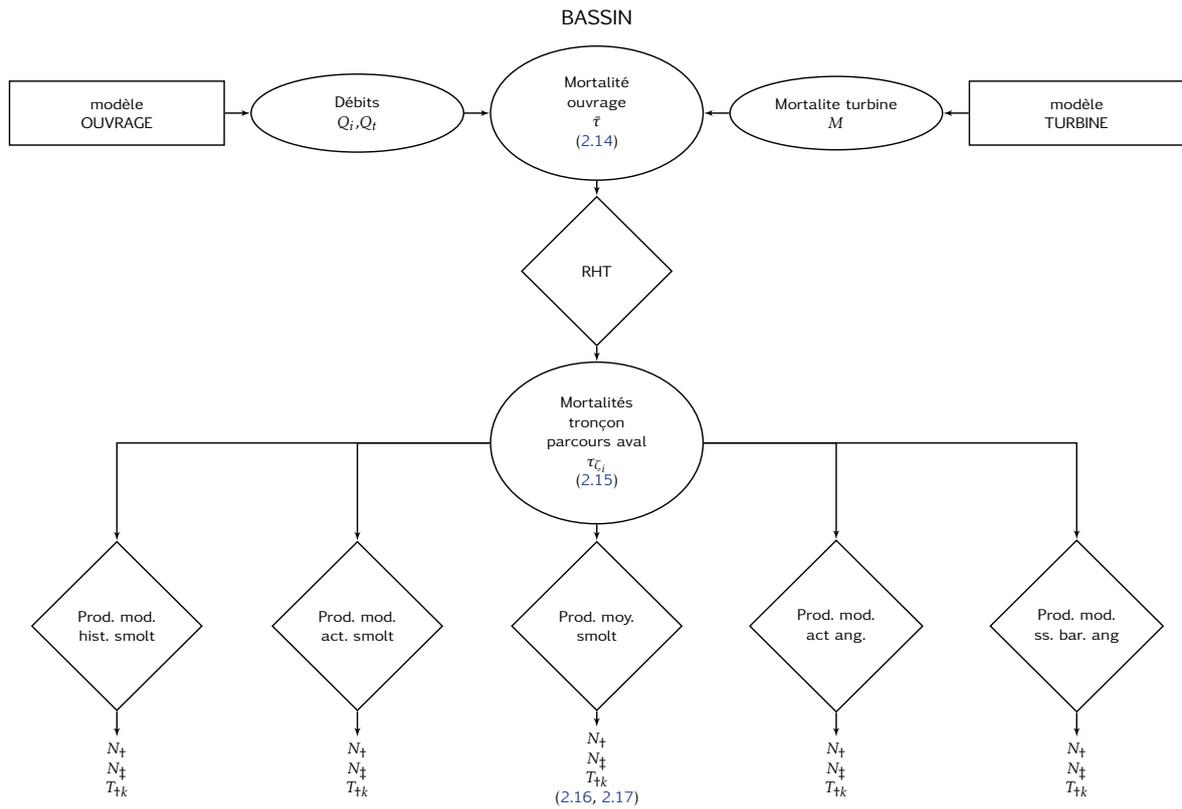


FIGURE 2.17 – Diagramme schématique du calcul des mortalités dans les bassins.

modèle EDA2.1 (Jouanin et al., 2012), qui consiste à n’appliquer les impacts d’obstacles d’un tronçon qu’au réseau hydrographique situé en amont de ce tronçon (Figure 2.18).

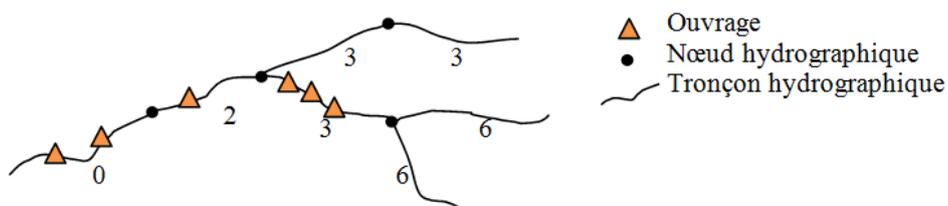


FIGURE 2.18 – Exemple théorique de calcul du cumul d’ouvrages par tronçon depuis la mer avec EDA.

2.7.6.2 Calcul des taux de mortalité cumulés le long d’un axe

Le calcul du taux de mortalité pour chaque tronçon i du bassin versant, est effectué à partir des taux de mortalité $\bar{\tau}$ calculés pour chaque ouvrage k présent sur le parcours à la mer ζ_i . Le taux de mortalité cumulée τ_{ζ_i} du segment i se calcule à partir du produit des survies aux centrales hydroélectriques rencontrées sur le parcours vers la mer (Formule 2.15 et Figure 2.19) :

$$\tau_{\zeta_i} = 1 - \prod_{k \in \zeta_i} (1 - \bar{\tau}_k) \quad (2.15)$$

avec $\bar{\tau}_k$ = taux de mortalité à l’ouvrage k

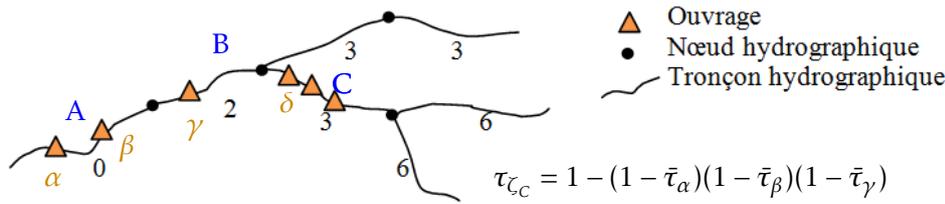


FIGURE 2.19 – Calcul des mortalités cumulées le long d'un axe, la mortalité des ouvrages du tronçon C n'est pas comprise dans le calcul des mortalités lors du parcours à la mer des poissons provenant du tronçon C (ζ_C).

2.7.6.3 Calcul des mortalités au niveau du bassin versant

Pour un bassin versant β , le nombre de poissons morts N_{\dagger} correspond à l'effectif de poissons produits au niveau de chaque tronçon hydrographique du RHT n_i multiplié par la mortalité calculée pour chaque tronçon (Formule 2.16).

$$\begin{aligned} N_{\dagger} &= \sum_{i \in \beta} \tau_{\zeta_i} n_i \\ &= \sum_{i \in \beta} \left(1 - \prod_{k \in \zeta_i} (1 - \bar{\tau}_k)\right) n_i \end{aligned} \quad (2.16)$$

Le taux de mortalité au niveau du bassin versant est calculé en divisant le nombre de morts par la production totale (Formule 2.17).

$$\begin{aligned} T_{\dagger} &= \frac{N_{\dagger}}{N} \\ \text{avec } N &= \sum_{i \in \beta} n_i \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.7.6.4 Calcul du nombre de poissons morts au niveau des ouvrages

La **mortalité potentielle** $N_{\dagger k}$ correspond au produit de la mortalité observée au niveau de l'ouvrage, par la production potentielle du bassin versant à l'amont de l'ouvrage β_k . La **mortalité réelle** $N_{\dagger k}$ prend en compte l'effet des turbines présentes à l'amont de l'ouvrage sur le nombre dévalant au niveau de l'ouvrage (Formule 2.18). Pour calculer ce nombre, on utilise les données de taux de mortalité cumulées par segment τ_{ζ_i} du bassin versant situé à l'amont de l'ouvrage. Cette mortalité est corrigée en enlevant les mortalités du tronçon où se trouve l'ouvrage k , et les mortalités des ouvrages situées sur les tronçons en aval ($\tau_{\zeta_{j(k \in j)}}$). Cette formulation peut dans certains cas sous-estimer les mortalités globales au niveau du bassin lorsque plusieurs ouvrages sont sur le même tronçon. En effet, du fait du mode de calcul décrit au paragraphe 2.7.6.2, l'impact de ces ouvrages est enlevé dans le calcul de la production du bassin amont, et il est "oublié" dans le calcul au niveau de l'ouvrage lui-même.

$$\begin{aligned} N_{\dagger k} &= \bar{\tau}_k \sum_{i \in \beta_k} n_i \\ N_{\dagger k} &= \bar{\tau}_k \sum_{i \in \beta_k} \left(\frac{1 - \tau_{\zeta_i}}{1 - \tau_{\zeta_{j(k \in j)}}}\right) n_i \end{aligned} \quad (2.18)$$

Le taux de mortalité au niveau d'un ouvrage correspond à la **mortalité réelle** N_{\dagger} divisée par

CHAPITRE 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

la production de poissons en amont de l'ouvrage.

$$T_{+k} = \frac{N_{+k}}{N_k} \quad (2.19)$$

avec $N_k = \sum_{i \in \beta_k} n_i$

2.7 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES HYDROÉLECTRIQUES

3.1 Productions de smolts

3.1.1 Répartitions actuelle et historique

Sur la Loire, les linéaires de surfaces accessibles sont de 778 km dans les conditions actuelles d'accessibilité du bassin et de 4 201 km dans les conditions historiques. En Bretagne les linéaires sont de 1 159 km dans les conditions actuelles et 2 763 km dans les conditions historiques.

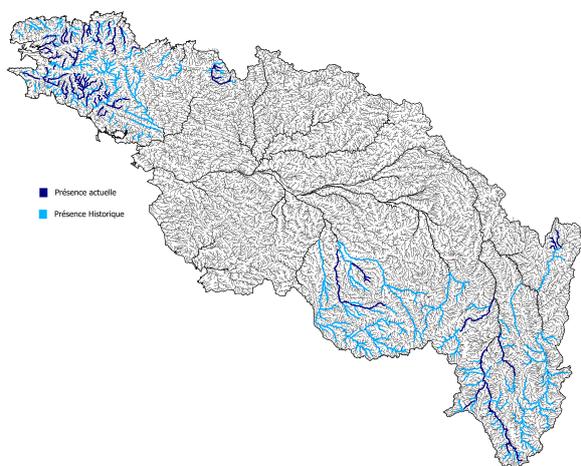


FIGURE 3.1 – Répartition des surfaces d'habitat de juvéniles cartographiées en Loire et en Bretagne.

productive historique (1.302854442×10^9 ha) (Tableau 3.1. En Bretagne, les surfaces productives actuelles (247 701 463 ha) forment une part plus importante 9e + 06 % de la surface productive historique (546 235 433 ha) (Tableau 3.2).

3.1.3 Calcul des productivités moyennes

3.1.3.1 Calculs de moyennes par bootstrap

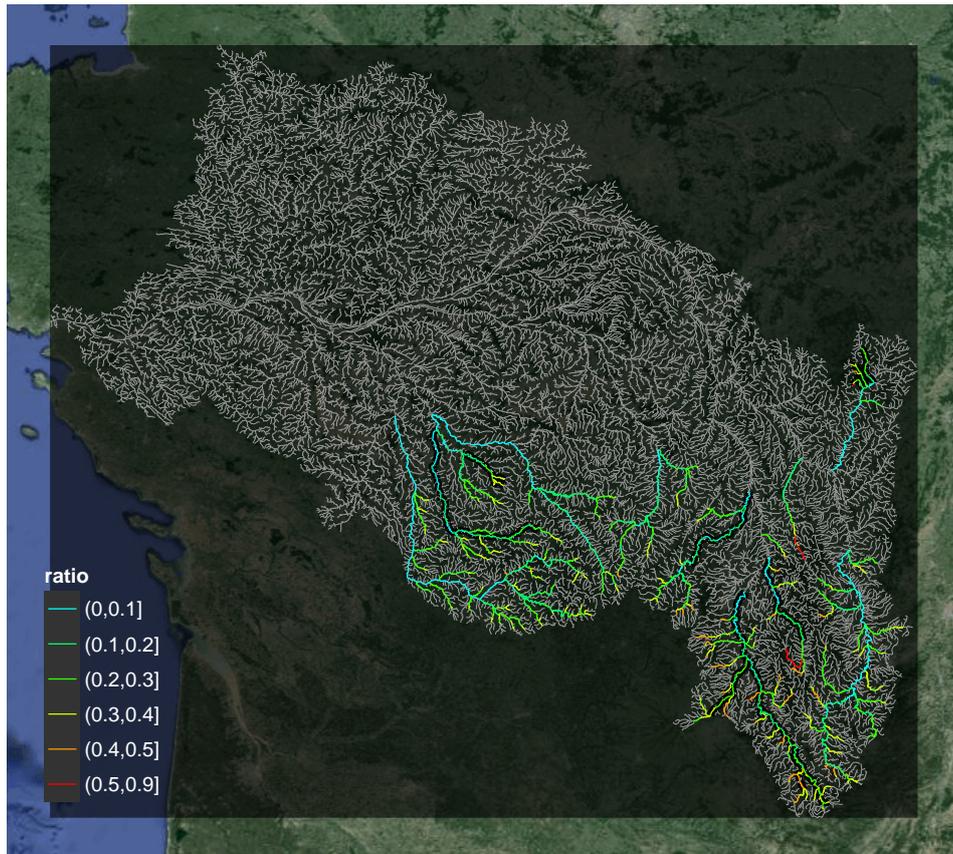
Les densités de smolts estimées par **bootstrap** correspondent aux données de la période 2008-2012 sauf pour l'Allier en amont de Langeac, où les densités correspondent à la période 2002-2006. Pour 28 cas sur 30, la distribution des résultats du **bootstrap** diffère d'une distribution normale ($p < 0.05$). En pratique, sur chaque bassin, il y a quelques très bons résultats, et beaucoup de résultats faibles. L'intervalle de confiance à 95% de la distribution illustre l'incertitude qui entoure l'estimation de la moyenne (tableau 3.3).

3.1.3.2 Modèle de productivité en Bretagne

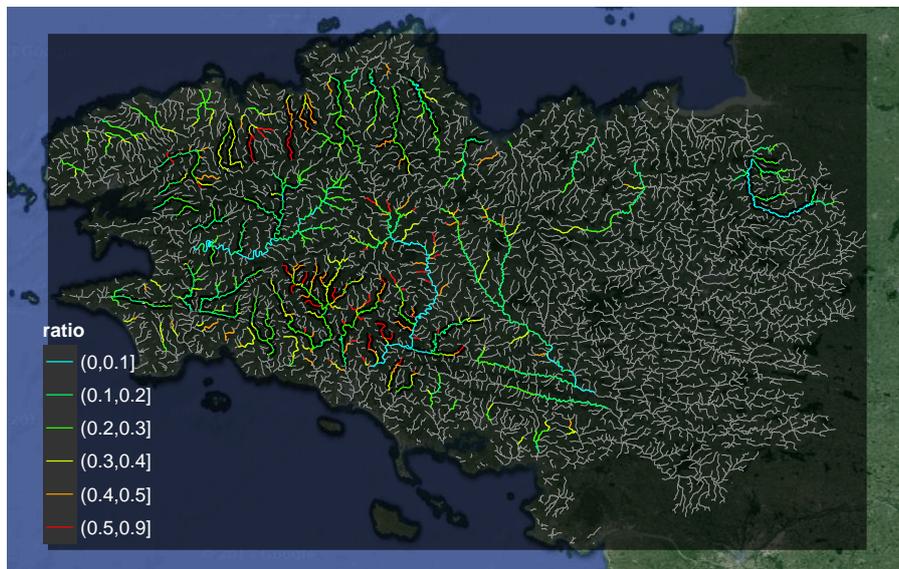
En Bretagne, les productivités en nombre de smolts sont ajustées par le modèle B.3 décrit à l'annexe B. Les productivités varient en fonction de l'altitude des bassins et de l'année (Tableau B.2 et Figures B.4 pour l'altitude et B.2 pour les courbes lissées de variation spatiale Annexe B).

3.1.2 Modélisation des surfaces productives

Le meilleur modèle ajusté sur les données regroupant la Loire et la Bretagne est un **modèle mixte** (Formule A.4 Annexe A). Il prédit le ratio de surfaces productives par rapport à la surface des tronçons RHT en fonction du débit, de la pente du **tronçon hydrographique**, et de l'**intensité de l'étiage** au moment de l'inventaire pour les effets fixes (Figure A.2). La partie aléatoire du modèle, c'est à dire celle expliquant la structuration de la variance du modèle comprend une constante et le débit en fonction des bassins (Tableaux A.3 et A.4 Annexe A). Sur la Loire, les surfaces productives actuelles (288 075 094 ha) ne représentent que 3e + 06 % de la surface



(a) Loire



(b) Bretagne

FIGURE 3.2 – Ratio des surfaces d' ERR $\frac{S_{ERR}}{S_{RHT}}$ mesurées -soulignées en noir- et prédites par le modèle A.4 sur les territoires identifiés comme des zones historiques potentielles de présence du saumon.

CHAPITRE 3. RÉSULTATS

Tableau 3.1 – Surface d'ERR (en ha) sur le bassin de la Loire. S_a = observées actuellement, \widehat{S}_a prédites par le modèle dans les conditions actuelles, \widehat{S}_h prédites dans les conditions sans barrage.

Bassin	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h
ALAGNON	33.90	28.4	47.4
ALLIER	131.80	129.9	270.4
ARROUX	12.40	17.1	46.0
BESBRE	0.00	0.0	23.5
CHER	0.00	0.0	68.4
CREUSE	0.00	0.0	79.2
DORE	28.40	24.1	72.9
GARTEMPE	48.47	60.7	149.7
LOIRE	0.00	0.0	230.9
SIOULE	31.30	27.8	86.7
VIENNE	0.00	0.0	227.8
TOTAL	286.27	288.0	1302.9

Tableau 3.2 – Surfaces d'ERR (en ha) en Bretagne. S_a = observées actuellement, \widehat{S}_a prédites par le modèle dans les conditions actuelles, \widehat{S}_h prédites dans les conditions sans barrage.

Bassin	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h
ARGUENON	0.0	0.0	7.2
AULNE	19.2	20.1	59.5
AVEN	12.4	9.7	12.6
BLAVET	30.2	25.0	68.4
CAMFROUT	6.1	5.8	5.8
COTIERS	0.0	0.0	36.1
COUESNON	10.2	10.4	15.1
DOSSEN	5.6	5.3	12.4
DOURON	7.7	8.4	8.4
ELLE ISOLE	60.9	57.0	62.6
ELORN	10.2	9.0	14.7
GOUESSANT	0.0	0.0	2.0
GOUET	1.3	2.3	6.4
GOYEN	3.1	2.6	3.6
JAUDY	3.6	2.9	7.4
KERGROIX	6.9	6.7	6.7
LEFF	5.3	4.8	9.1
LEGUER	17.1	14.6	19.6
ODET	19.5	14.7	24.3
OUST	0.0	0.0	83.0
PENZE	10.3	10.9	10.9
R.AURAY	0.0	0.0	5.6
RANCE	0.0	0.0	14.9
SCORFF	20.1	17.1	28.6
TRIEUX	19.6	16.3	16.3
YAR	3.7	4.3	5.4
TOTAL	273.0	247.9	546.6

Lors de l'extrapolation aux surfaces historiques, le modèle est ajusté sans les données de l'Aulne, qui sont jugées anormalement basses du fait des problèmes de franchissement sur ce bassin versant (Figure B.3).

Les moyennes des densités prédites par bassin versant sont de 3.77 smolts pour 100 m², elles varient entre un minimum de 0.76 sur l'Aulne et 12.26 sur l'Elorn.

3.1.3.3 Modèle de productivité en Loire

En Loire, un **modèle mixte** est appliqué aux données (Formule C.3, Annexe C). Ce modèle inclut une réponse différente par bassin, un effet de l'altitude variant entre les bassins dans la partie aléatoire du modèle, et un effet géologie et largeur pour la partie fixe du modèle (Tableaux C.2 et C.3 Annexe C).

L'effet de l'altitude sur la densité diffère entre les bassins : la densité augmente avec l'altitude dans le cas de l'Arroux, la Dore et la Gartempe, elle diminue avec l'altitude dans le cas de l'Allier et dans une moindre mesure de l'Alagnon et la Sioule (Tableau C.3, Figure C.2 Annexe C). La productivité diminue avec la largeur, et les densités prédites sont plus fortes sur des secteurs de socle que sur des secteurs sédimentaires (Figure C.3, Tableau C.2 Annexe C).

Les moyennes des densités prédites par **frayère** sont légèrement plus faibles qu'en Bretagne avec 3.16 smolts pour 100 m² (contre 3.77). Elles varient entre un minimum de 2.42 sur la Dore et un maximum de 5.16 sur l'Alagnon.

3.1.4 Production des cours d'eau

3.1.4.1 Production moyenne (modèle ERR x bootstrap)

La **production moyenne** de saumon dans le bassin de la Loire est comprise entre 102 586 et 156 917 **smolts** avec une moyenne de 128 438 **smolts** (Tableau 3.4). Le bassin versant de l'Allier représente à lui seul 51% de la **production moyenne** de bassin de la Loire, suivi par l'Alagnon (18%), la Sioule (15%) et la Gartempe (7%) (Figure 3.3b).

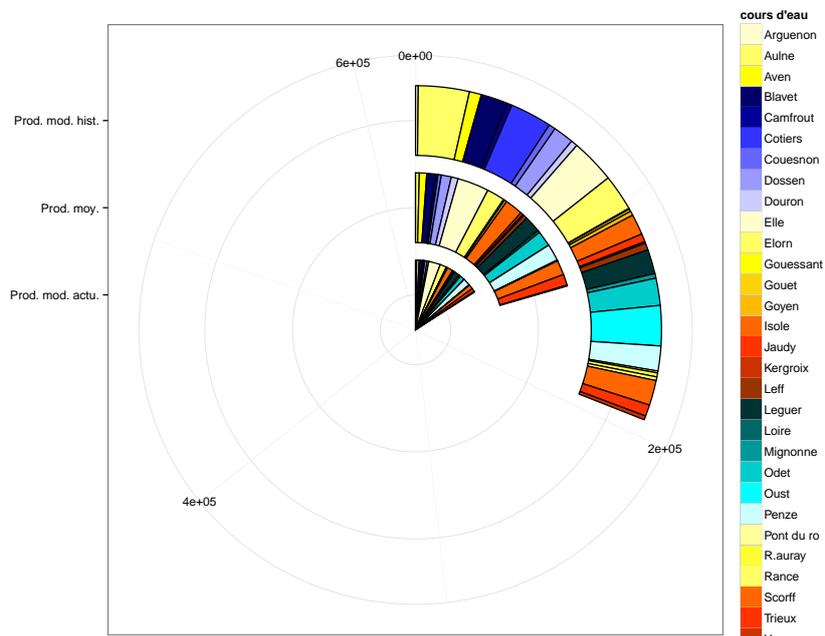
La **production moyenne** de saumon dans les bassins bretons est comparable à celle de la Loire avec une estimation entre 105 247 et 151 937 **smolts** et une moyenne de 127 624 **smolts** (Tableau 3.5). Le principal bassin producteur de Bretagne est l'Elle avec 16% de la **production moyenne** en Bretagne. Les bassins de l'Elorn, l'Isole, du Léguer, de l'Odet, de la Penzé et du Scorff produisent tous une moyenne de l'ordre de 10 000 smolts par an (Figure 3.3a).

3.1.4.2 Production modélisée actuelle (modèle ERR x modèles productivité)

Les **productions modélisées actuelles** de Bretagne (99 050 **smolts**) et de Loire (99 093 **smolts**) sont très proches (Tableaux 3.4, 3.5 Annexe C).

3.1.4.3 Production modélisée sans barrage

En revanche, la **production modélisée sans barrage** est estimée à 193 053 **smolts** en Bretagne contre une production trois fois plus élevée sur le bassin de la Loire (622 548 **smolts**, Annexe D)).



(a) Bretagne

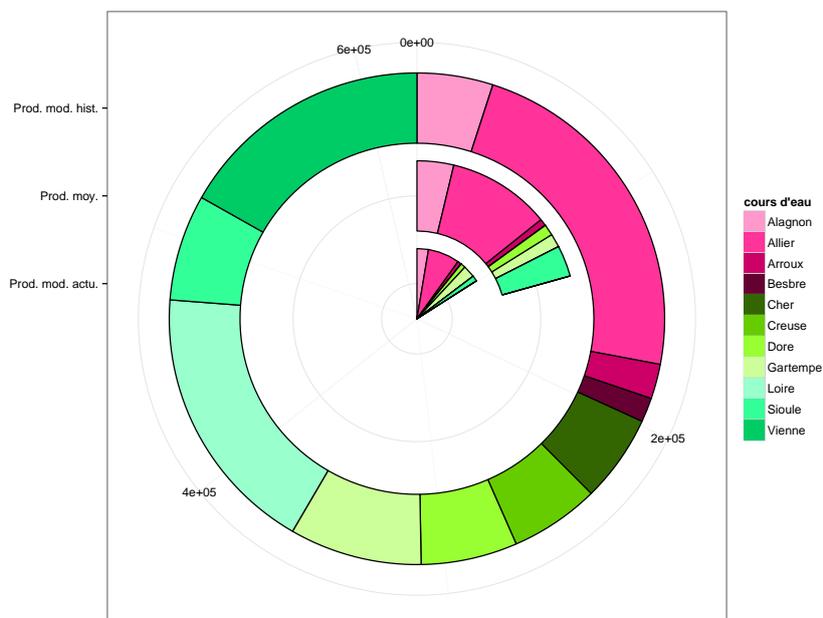


FIGURE 3.3 – Contribution des différents cours d'eau pour les scénarios de *production moyenne*, *production modélisée actuelle* et *production modélisée sans barrage*.

(b) Loire

Tableau 3.3 – Densité de smolts pour 100m² de surface *ERR*, estimations par bootstrap. N nombre de données au sein du bassin, correspondant à la fois aux stations et aux années, IC-5% 5^{ème} percentile de la distribution, IC-95% 95^{ème} percentile de la distribution, Moy = moyenne

Cours d'eau	N	IC-5%	Moy	IC-95%
Bretagne				
Aulne	88	0.87	1.19	1.56
Aven	40	3.48	4.86	6.39
Blavet	100	1.73	2.20	2.69
Camfrout	3	4.15	4.68	5.16
Cotiers	12	4.70	11.42	18.99
Couesnon	60	1.37	2.04	2.76
Dossen	19	6.87	11.89	17.88
Douron	35	4.07	5.23	6.50
Elle	120	4.18	4.66	5.15
Elorn	60	10.94	12.88	14.82
Gouet	6	1.34	3.10	5.37
Goyen	20	4.18	5.91	7.56
Isole	45	7.16	8.18	9.25
Jaudy	25	4.07	5.41	6.72
Kergroix	15	2.26	3.02	3.84
Leff	34	3.87	5.18	6.65
Leguer	74	6.49	7.31	8.18
Mignonne	2	3.29	5.80	8.31
Odet	75	5.74	6.76	7.89
Penze	40	8.18	9.82	11.44
Pont du roch	15	0.73	1.68	2.97
Scorff	199	4.99	5.47	5.95
Trieux	85	3.71	4.37	4.99
Yar	18	0.72	1.31	1.92
Loire				
Alagnon	34	6.19	8.16	10.33
Allier	79	4.25	5.03	5.87
Arroux	76	2.30	2.62	3.00
Dore	20	1.87	2.94	4.03
Gartempe	117	1.09	1.41	1.75
Sioule	49	4.88	7.12	9.18

Tableau 3.4 – Production en milliers de *smolts* par cours d'eau en Loire, Prod. mod. actu. = *production modélisée actuelle*, Prod. moy. = *production moyenne*, estimations par bootstrap des densités avec un intervalle de confiance de 95%, Prod. mod. hist. = *production modélisée sans barrage*.

Bassin	Cours d'eau	Prod. moy. $IC_{0.05}$	Prod. moy.	Prod. moy. $IC_{0.95}$	Prod. mod. actu.	Prod. mod. hist.
Loire	Alagnon	17 586	23 183	29 348	16 282	30 871
Loire	Allier	55 181	65 308	76 215	45 069	143 304
Loire	Arroux	3 936	4 484	5 134	5 616	14 231
Loire	Besbre	0	0	0	0	9 911
Loire	Cher	0	0	0	0	35 677
Loire	Creuse	0	0	0	0	36 426
Loire	Dore	4 503	7 079	9 704	6 863	39 182
Loire	Gartempe	6 628	8 574	10 642	17 228	53 826
Loire	Loire	0	0	0	0	111 120
Loire	Sioule	13 577	19 810	25 541	8 035	43 487
Loire	Vienne	0	0	0	0	104 513
Loire	Total	101 411	128 438	156 584	99 093	622 548

Tableau 3.5 – Production en milliers de *smolts* par cours d'eau en Bretagne, Prod. mod. actu. = production modélisée actuelle, Prod. moy.= production moyenne, estimations par bootstrap des densités avec un intervalle de confiance de 95%, Prod. mod. hist. = production modélisée sans barrage.

Bassin	Cours d'eau	Prod. moy. $IC_{0.05}$	Prod. moy.	Prod. moy. $IC_{0.95}$	Prod. mod. actu.	Prod. mod. hist.
Bretagne	Arguenon	0	0	0	0	1 111
Bretagne	Aulne	1 743	2 384	3 125	1 661	20 830
Bretagne	Aven	3 361	4 694	6 171	3 565	4 927
Bretagne	Blavet	4 321	5 495	6 719	4 734	11 073
Bretagne	Camfrout	1 432	1 615	1 781	1 673	1 908
Bretagne	Cotiers	0	0	0	0	17 148
Bretagne	Couesnon	1 420	2 115	2 861	1 630	2 732
Bretagne	Dossen	3 675	6 360	9 564	3 296	8 407
Bretagne	Douron	3 418	4 392	5 458	2 374	2 703
Bretagne	Elle	17 960	20 022	22 128	16 743	18 285
Bretagne	Elorn	9 800	11 538	13 276	9 561	14 927
Bretagne	Gouessant	0	0	0	0	349
Bretagne	Gouet	306	709	1 227	456	999
Bretagne	Goyen	1 077	1 523	1 949	1 305	1 789
Bretagne	Isole	10 001	11 426	12 920	8 114	8 498
Bretagne	Jaudy	1 178	1 566	1 945	1 308	3 336
Bretagne	Kergroix	657	878	1 117	697	672
Bretagne	Leff	1 877	2 512	3 225	1 643	2 898
Bretagne	Leguer	9 479	10 676	11 947	7 806	10 000
Bretagne	Loire	0	0	0	0	0
Bretagne	Mignonne	782	1 379	1 976	2 357	1 932
Bretagne	Odet	8 437	9 936	11 597	6 800	11 195
Bretagne	Oust	0	0	0	0	16 524
Bretagne	Penze	8 949	10 743	12 515	10 300	10 258
Bretagne	Pont du ro	274	630	1 114	752	771
Bretagne	R.auray	0	0	0	0	1 648
Bretagne	Rance	0	0	0	0	1 527
Bretagne	Scorff	8 539	9 360	10 181	6 329	10 270
Bretagne	Trieux	6 031	7 104	8 111	4 664	4 718
Bretagne	Yar	311	567	830	1 282	1 618
Bretagne	Total	105 028	127 624	151 737	99 050	193 053

3.2 Productions d'anguilles argentées

3.2.1 Ajustement du modèle EDA

Les prédictions d'EDA2.1 pour le modèle delta-gamma sur le réseau RHT sont données pour le mois de septembre 2009 dans la Figure 3.4a pour les densités et Figure 3.4b pour les abondances (prenant en compte la surface en eau des tronçons).

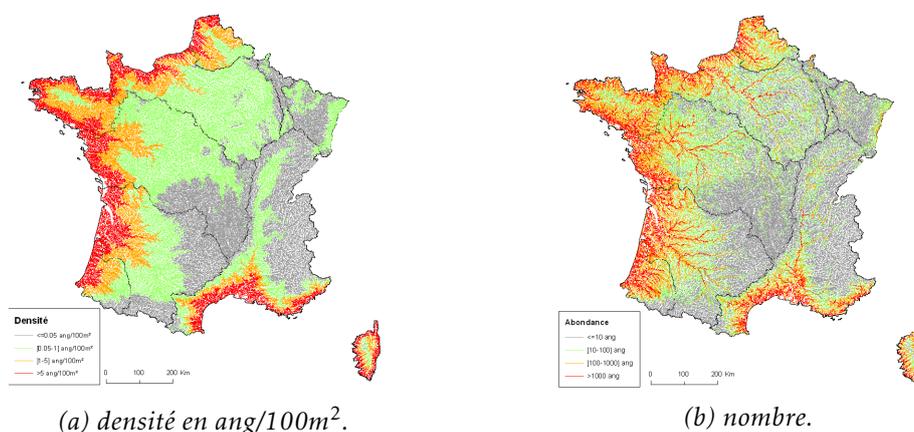


FIGURE 3.4 – Prédictions du modèle delta-gamma sur le réseau RHT, densités et abondances (nombre produits) par tronçons hydrographiques pour le mois de septembre 2009, source : Jouanin et al. (2012).

Les résultats correspondent à ceux rapportés pour le plan de gestion de l'anguille. Les prédictions du modèle EDA (combinaison du modèle delta et gamma) montrent une diminution des densités avec l'augmentation de la distance à la mer (Figure 3.4a). Les abondances d'anguilles les plus élevées (Figure 3.4b) sont retrouvées à proximité de la mer et sur les axes majeurs. En plus des zones de forte densité, les grands cours d'eau, par leurs surfaces en eau importantes présentent des nombres d'anguilles importants.

3.2.2 Résultats en nombre d'anguilles argentées

Pour l'année 2009, le modèle EDA estime une production de 307 milliers d'anguilles argentées en Bretagne, 315 sur le bassin de la Loire, et 124 en Vendée - Sèvre niortaise¹ (Tableaux D.1, D.2 et D.3).

3.3 Prédiction des mortalités lors du passage dans les turbines des ouvrages hydroélectriques

3.3.1 Mortalité par type de turbine

Des données ont été collectées sur 598 turbines qui équipent 402 des 749 ouvrages recensés dans le ROE avec un usage énergie et hydroélectricité en Loire Bretagne. De nombreux ouvrages identifiés comme ayant un usage possible de l'hydroélectricité ont été écartés après enquête de terrain comme étant hors service. Par ailleurs, sur certains secteurs amont, le recensement est moins complet et moins détaillé. Les turbines Francis (n=162) forment la majorité des équipements rencontrés suivies des turbines Kaplan (n=142). Cependant le type d'un

1. Ces résultats diffèrent des résultats présentés par Jouanin et al. (2012) car le découpage suit les régions administratives et non les UGA.

3.3 PRÉDICTION DES MORTALITÉS LORS DU PASSAGE DANS LES TURBINES DES OUVRAGES HYDROÉLECTRIQUES

Tableau 3.6 – Détails concernant le calcul des mortalités dans les turbines en Bretagne, Complet = calcul de la mortalité à partir des informations disponibles, Hyp. suppl.= Hypothèses supplémentaires concernant le débit d'équipement et le nombre de pales (voir paragraphe 2.7.3), Moy.=données insuffisantes pour procéder au calcul, extrapolation à partir des autres turbines de même type, Grille= présence de grille fine d'espacement <2.5 cm, la mortalité est supposée nulle, Hors. Serv.= turbine hors service ou Roue sans impact.

	Complet	Hyp. suppl.	Moy.	Grille	Hors Serv.	Total
Saumon						
Kaplan	3	18	0	2	1	24
Francis	5	25	0	7	0	37
Pelton						
VLH	0	0	0	0	0	0
Roue	0	0	0	0	8	8
Inconnu	0	0	24	3	0	27
Total	8	43	24	12	9	96
Anguille						
Kaplan	15	0	6	2	1	24
Francis	5	25	0	7	0	37
Pelton						
VLH	0	0	0	0	0	0
Roue	0	0	0	0	8	8
Inconnu	0	0	24	3	0	27
Total	20	25	30	12	9	96

grand nombre de turbines reste inconnu (n=276) (Tableaux 3.6 et 3.7).

Pour les **smolts**, les mortalités dans les turbines sont en moyenne de 17% pour les **Kaplan** et de 20% pour les **Francis**. Des mortalités de 20%, ont été affectées aux turbines dont le type n'était pas identifié. Seulement 45% des mortalités ont pu directement être calculées à partir des formules 2.5 et 2.6).

Pour les **anguilles argentées**, les mortalités dans les turbines sont en moyenne de 48% pour les **Kaplan** et de 90% pour les **Francis** (Formules 2.7, 2.8 et 2.9). La moyenne des mortalités des turbines (74%) a été prise comme référence pour les turbines dont le type n'était pas identifié. Le pourcentage de mortalité directement calculable (36%) est inférieur à celui trouvé pour le saumon. Il était beaucoup plus faible après l'application des formules sans hypothèses supplémentaires, mais les vitesses de rotation et les diamètres des turbines ont été recalculées (Formules I.2 et I.1 et Annexe I).

Les formules prédisent des mortalités plus fortes pour les anguilles que pour le saumon (Figure 3.5). La variation de la taille moyenne en fonction des secteurs du bassins amène à des variations dans les mortalités prédites pour les anguilles. Ainsi on distingue deux nuages de points, le premier, autour de 50 % correspond à des anguilles de Bretagne, où la part des anguilles mâles est non négligeable. Le deuxième plutôt autour de 90 % correspond à des anguilles femelles, sur les bassins éloignés de la mer.

CHAPITRE 3. RÉSULTATS

Tableau 3.7 – Détails concernant le calcul des mortalités dans les turbines en Loire, Complet = calcul de la mortalité à partir des informations disponibles, Hyp. suppl.= Hypothèses supplémentaires concernant le débit d'équipement et le nombre de pales (voir paragraphe 2.7.3), Moy.=données insuffisantes pour procéder au calcul, extrapolation à partir des autres turbines de même type, Grille= présence de grille fine d'espacement <2.5 cm, la mortalité est supposée nulle, Hors. Serv.= turbine hors service ou Roue sans impact.

	Complet	Hyp. suppl.	Moy.	Grille	Hors Serv.	Total
Saumon						
Kaplan	35	62	0	16	5	118
Francis	42	64	0	16	0	122
Pelton						
VLH	10	0	0	0	0	10
Roue	0	0	0	0	0	0
Inconnu	0	0	220	14	13	247
Total	87	126	220	46	18	497
Anguille						
Kaplan	58	0	39	16	5	118
Francis	42	64	0	16	0	122
Pelton						
VLH	10	0	0	0	0	10
Roue	0	0	0	0	0	0
Inconnu	0	0	220	14	13	247
Total	110	64	259	46	18	497

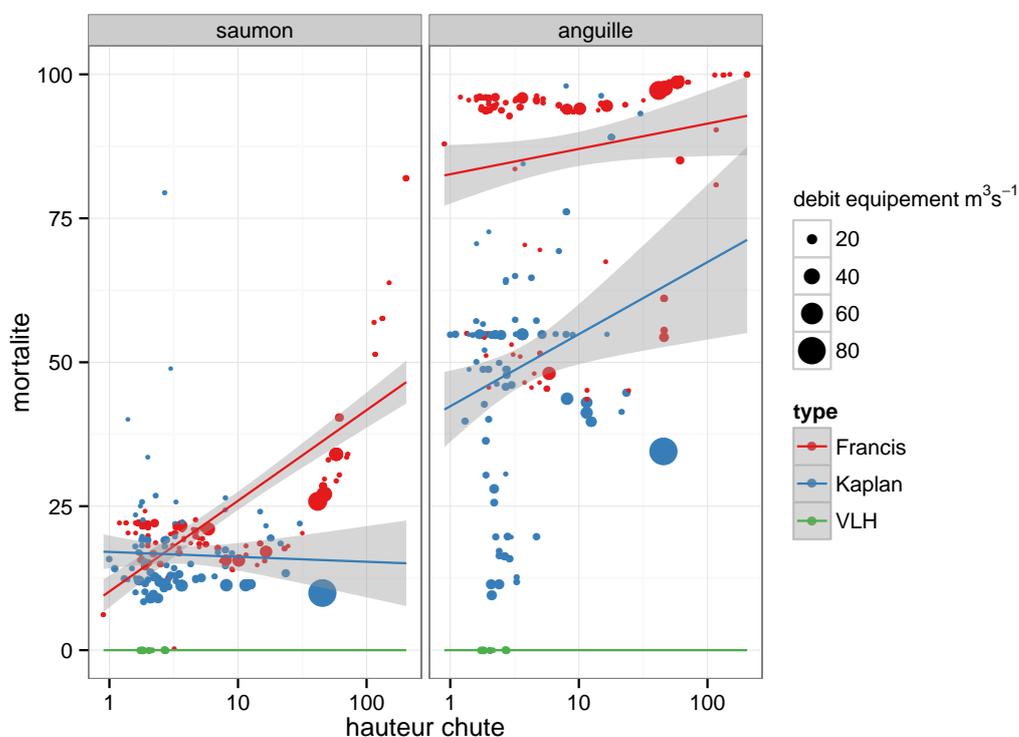


FIGURE 3.5 – Mortalité et type de turbine, les turbines sélectionnées sont celles permettant le calcul pour les anguilles ou les saumons, régressions linéaires sur l'effet de la hauteur de chute sur les mortalités.

3.4 Calculs des mortalités dans les ouvrages

3.4.1 Saumon

3.4.1.1 La Loire

Calcul des taux de mortalité lors des parcours de dévalaison. La mortalité moyenne ($\bar{\tau}_\zeta$) pour l'ensemble des tronçons hydrographiques de la Loire est de 18.6% (Formule 2.15). Elle augmente ($\bar{\tau}_\zeta=28.5\%$) lorsque le calcul se limite à la zone en amont des premiers ouvrages hydroélectriques (Figure 3.6). La mortalité lors des parcours de dévalaison est indépendante

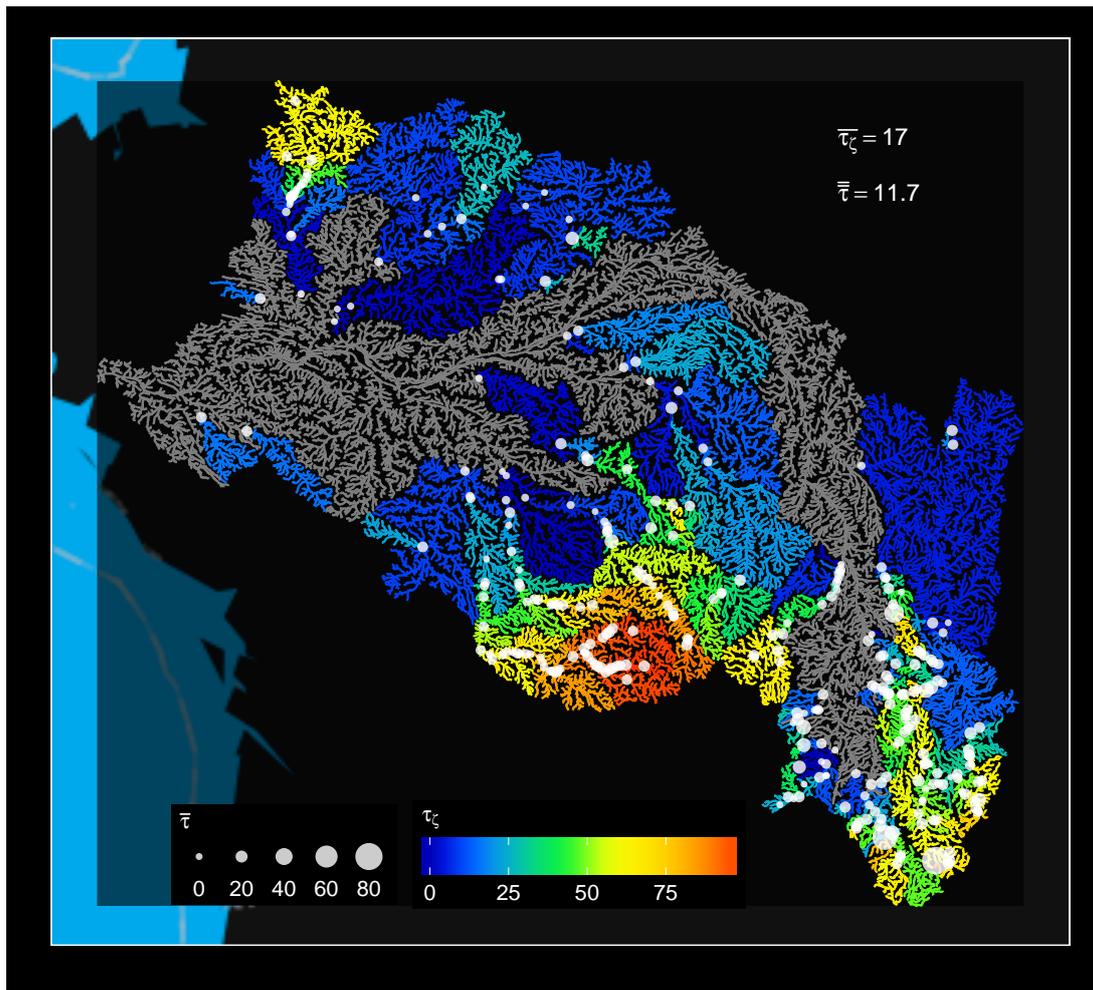
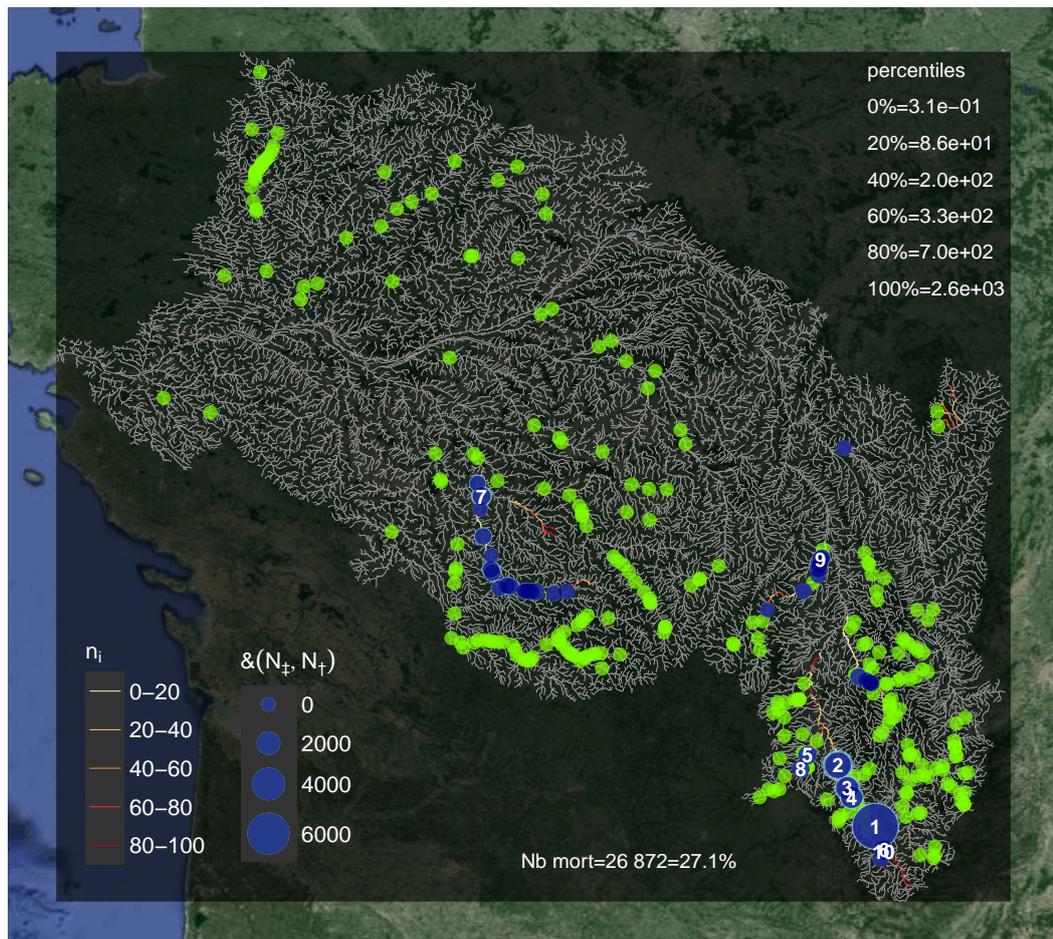


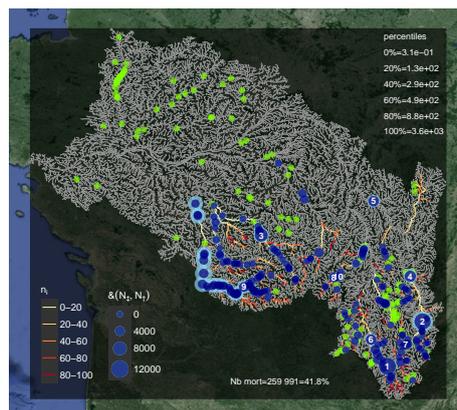
FIGURE 3.6 – Mortalité des smolts dans le bassin versant de la Loire. τ_ζ = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen dans les ouvrages hydroélectriques (smolts), $\bar{\tau}_\zeta$ = moyenne des τ_ζ sur le bassin, $\bar{\bar{\tau}}$ = moyenne des mortalités dans les ouvrage du bassin.

du scénario de production choisi. Couplée avec ces derniers, elle va permettre de calculer la mortalité dans les ouvrages.

Mortalité dans le scénario de production modélisée actuelle. Pour le scénario de production modélisée actuelle le nombre de smolts morts dans les turbines (N_+ , Formule 2.16) est estimé à 28 121 saumons, soit un pourcentage de mortalité ($100 \times T_+$ Formule 2.17) de 28.4 % de la production totale du bassin (Figure 3.7a).



(a) Production modélisée actuelle.



(c) Sans barrages.

FIGURE 3.7 – Nombre de *smolts* produit (n_i) et tués dans les ouvrages hydroélectriques du bassin de la Loire. Mortalité estimée dans les ouvrages, cercle extérieur (bleu clair) = N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_+ mortalité réelle (voir eq :2.18), en vert pas de mortalité. (a) Scénario de production modélisée actuelle, (b) production moyenne, (c) production modélisée sans barrage. Les numéros des figures correspondent aux dix ouvrages les plus impactants recensés aux tableaux F.4, F.1 et G.1.

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

Dans ce scénario, le nombre de smolts produits sur la zone en aval des premières turbines est de 15 528 soit 15.7 % de la production totale. Ce chiffre est à retenir car il permet de comprendre les résultats très différents obtenus en terme de mortalité chez le saumon et chez l'anguille.

Mortalité dans le scénario de production moyenne. L'analyse d'un scénario alternatif basé sur la **production moyenne** donne des taux de mortalité à l'échelle du bassin qui sont plus faibles (23.1 %) que ceux obtenus pour le scénario de **production modélisée actuelle** (Figure 3.7b). Pour ce dernier, le nombre de smolts produits sur les frayères est plus important (128 438) que dans le scénario de **production modélisée actuelle** (99 095), la mortalité en nombre est donc plus importante (29 708 contre 28 183), mais la production est aussi plus grande sur la zone en aval des premières turbines (36 638 soit 28.5 % de la production totale) pour le scénario de **production moyenne** contre (15 528 soit 15.7 %) pour le scénario de **production modélisée actuelle**).

Mortalité dans le scénario de production sans barrages. Dans le scénario de **production modélisée sans barrage** le T_+ augmente à 42.4% avec une estimation de production totale à 622 548 smolts et un nombre de poissons morts de 267 399 (Figures 3.7a, 3.8, Tableau G.1 Annexe G).

Mortalité par ouvrage dans le scénario de production modélisée actuelle. Pour chaque ouvrage, on calcule deux types de résultats, la **mortalité potentielle** et la **mortalité réelle**.

La **mortalité potentielle** ($N_{\dagger k}$ formule 2.18) correspond à l'impact potentiel de l'ouvrage indépendamment de l'effet des ouvrages en amont. La moyenne des mortalités potentielles du bassin $\bar{N}_{\dagger k}$ est de 871 smolts tués par ouvrage. La mortalité estimée pour l'ouvrage le plus impactant du bassin, le **barrage** de Poutès sur l'Allier, est de 7 370 smolts soit 20% de l'ensemble des mortalités des différents ouvrages du bassin. Les trois ouvrages suivant par ordre d'importance sont également situés sur le bassin de l'Allier (Tableau F.4, Figures 3.7a et 3.8). Les quatre suivants sont L'Alagnon, la Gartempe et la Sioule (Figure 3.8, Tableau F.1 Annexe F).

La **mortalité réelle** (N_{+k} formule 2.18) correspond à l'impact potentiel de l'ouvrage lorsqu'on diminue le nombre de migrants se présentant devant l'ouvrage des mortalités dans les turbines situées à l'amont de l'ouvrage.

Pour le scénario de **production modélisée actuelle**, la moyenne des mortalités réelles du bassin \bar{N}_{+k} est de 655 smolts tués par ouvrage. Par rapport à la production potentielle, le fait d'enlever l'impact des ouvrages amont ne change pas le classement des ouvrages en terme d'importance relative dans la mortalité globale. Toutefois l'impact relatif de l'ouvrage le plus impactant ($N_{+k}=7\ 096$) augmente à 25% de l'ensemble des mortalités des différents ouvrages (Tableau F.1, Figures 3.7b et 3.9). Pour le scénario de **production moyenne** l'ordre d'importance des ouvrages en terme de mortalité ne change pas beaucoup par rapport à $\bar{N}_{\dagger k}$ (Figure 3.9 et 3.8). Pour le scénario de **production modélisée sans barrage**, $\bar{N}_{+k}=1\ 477$ soit 1 135 smolts de moins que pour $\bar{N}_{\dagger k}$. Cette différence correspond à l'abaissement relatif de l'impact des ouvrages du fait des ouvrages en amont. Il illustre l'importance des impacts cumulés lorsque les saumons dévalent sur un linéaire plus long et plus impacté. Au contraire des deux précédents scénarios, on constate que le classement des ouvrages en terme d'importance relative change entre les mortalités réelles N_{+k} et potentielles $N_{\dagger k}$ (Tableau G.1 Annexe F, Figures 3.7c et 3.8).

Calcul des mortalités au niveau des ouvrages. En moyenne, pour les 5 classes de débits testées, le pourcentage de mortalité des **smolts** au passage des ouvrages hydroélectriques ($\bar{T}_{\dagger k}$

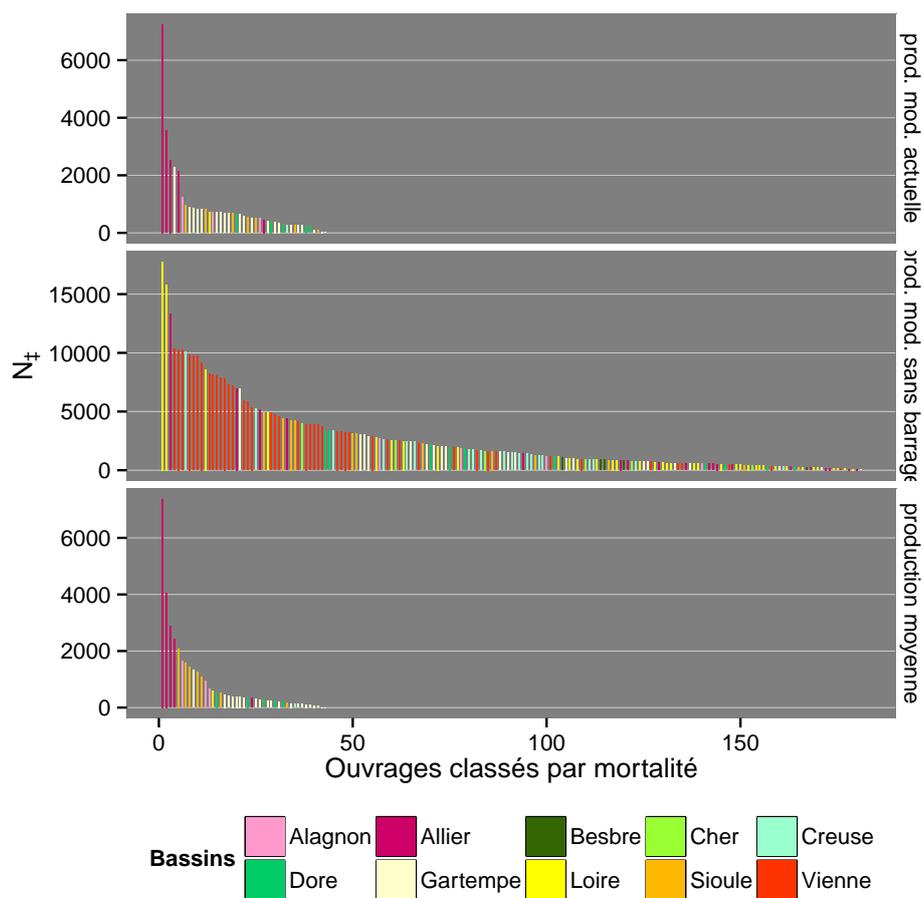


FIGURE 3.8 – Classement des ouvrages en fonction de leur mortalité potentielle N_{\ddagger} sur le bassin de la Loire pour les trois scénarios de production. La mortalité potentielle correspond au calcul du nombre de smolts qui mourraient au niveau de l'ouvrage si il n'y avait pas d'impact d'ouvrages en amont.

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

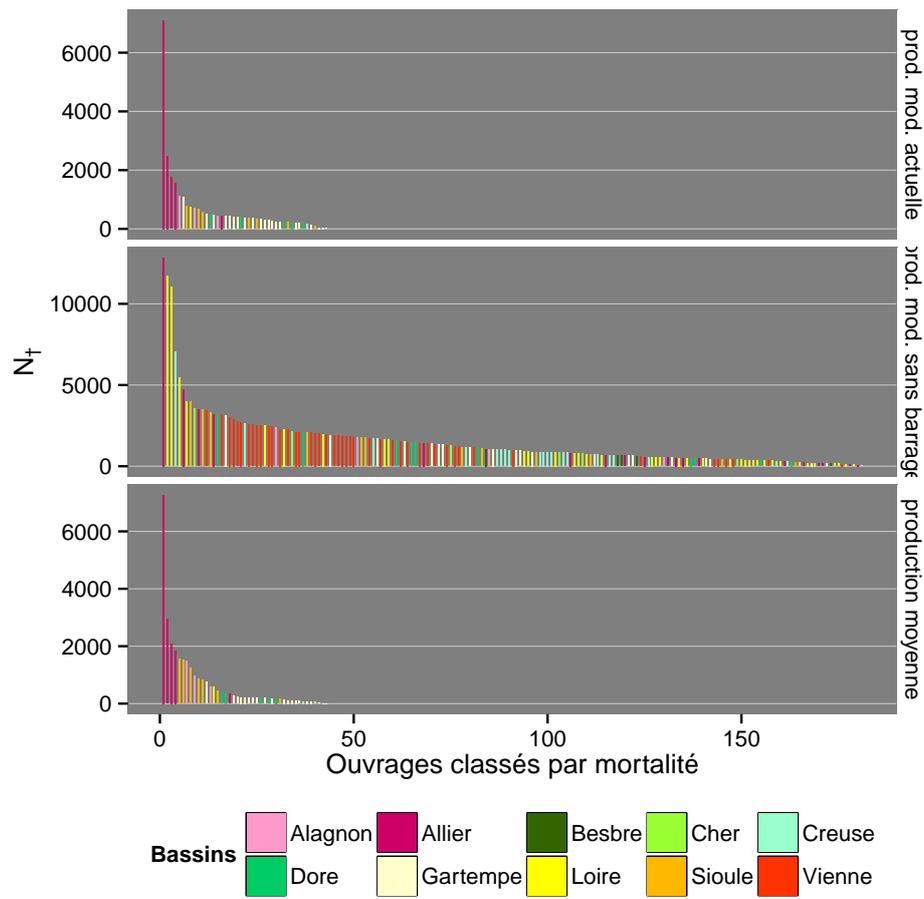


FIGURE 3.9 – Classement des ouvrages en fonction de leur *mortalité réelle* N^\dagger chez le saumon sur le bassin de la Loire pour les trois scénarios de production.

CHAPITRE 3. RÉSULTATS

formule 2.19) est de 10.13% pour le scénario de **production modélisée actuelle** et pour le scénario de **production moyenne**, et de 13.15 % pour le scénario de **production modélisée sans barrage** .

3.4.1.2 La Bretagne

Calcul des taux de mortalité lors des parcours aval. En Bretagne, les taux de mortalité moyens sont plus faibles que sur la Loire avec $\bar{\tau}_\zeta=6.1\%$ pour l'ensemble des tronçons de Bretagne, et $\bar{\tau}_\zeta=17.7\%$ pour les tronçons hydrographiques situés en amont des premiers ouvrages hydroélectriques (Figure 3.10).

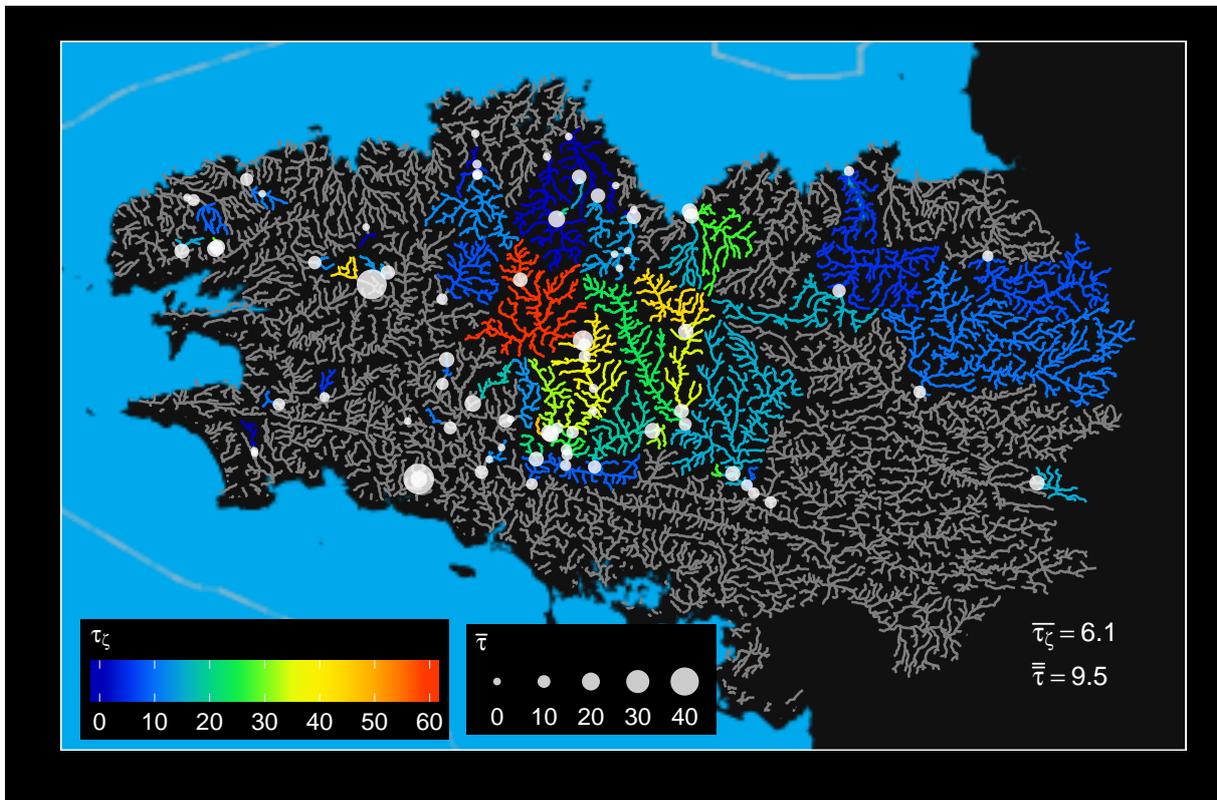
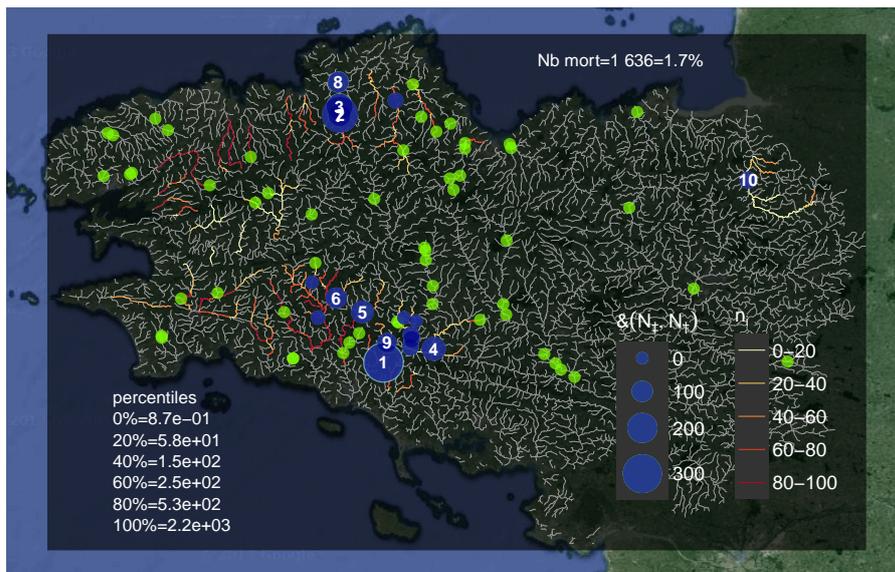


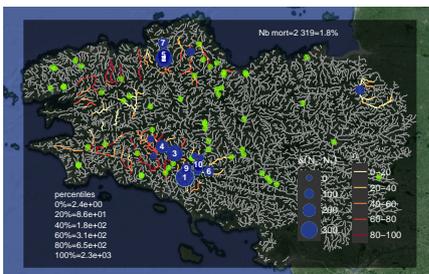
FIGURE 3.10 – Taux de mortalité des smolts en Bretagne. τ_ζ = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen pour les smolts, (τ_ζ) = moyenne des τ_ζ sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités dans les ouvrages du bassin.

Mortalité dans le scénario de production modélisée actuelle. Le nombre de saumons morts dans les turbines dans le scénario de **production modélisée actuelle** est estimé à N_+ 1 636 saumons, soit un pourcentage de mortalité (T_+ Formule 2.17) de 1.7 % de la production totale du bassin (Figure 3.11a).

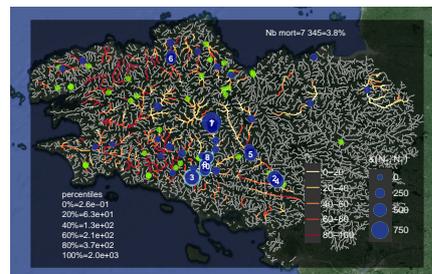
Mortalité dans le scénario de production moyenne. Le scénario basé sur la **production moyenne** donne des taux de mortalité de 1.8 % très proches de ceux obtenus pour le scénario de **production modélisée actuelle** (Figure 3.7b). Le nombre de smolts produits par bassin est plus important dans le scénario de **production modélisée actuelle** (127 622) que dans le scénario de **production moyenne** (99 051). La mortalité en nombre est donc plus importante (2 332 contre 1 645), et contrairement à la Loire, la proportion de smolts estimée en aval des turbines est plus faible pour le scénario de **production moyenne** (101 016 soit 79.2 % de la production totale) que pour le scénario de **production modélisée actuelle** (80 854 soit 81.6 %), ce qui explique le chiffre légèrement supérieur du taux de mortalité par bassin pour ce scénario.



(a) Production modélisée actuelle.



(b) Moyenne.



(c) Sans barrages.

FIGURE 3.11 – Nombre de *smolts* produit (n_i) dans les bassins bretons et mortalité estimée dans les ouvrages, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\dagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\ddagger} mortalité réelle, en vert mortalité nulle.

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

Mortalité dans le scénario de production historique. Dans le scénario de *production modélisée sans barrage* la production totale de la Bretagne est estimée à 193 051, et le T_{\ddagger} augmente à 3.8%. La mortalité totale de smolts est estimée à 7 456 smolts (Figures 3.7a). Le rétablissement de la transparence migratoire conduit à diminuer la proportion de smolts produits en aval des premières turbines de 81.6 à 78.3

Calcul des mortalité au niveau des ouvrages. La moyenne des mortalités potentielles des bassins de Bretagne, $N_{\ddagger k}$, est de 95 smolts tués par ouvrage. L'ouvrage le plus impactant du bassin, situé sur le Blavet, tue 322 smolts soit 19% de l'ensemble des mortalités des différents ouvrages. Deux des cinq ouvrages les plus impactants sont sur le Blavet (Tableau 3.9, Figures 3.11a et 3.12).

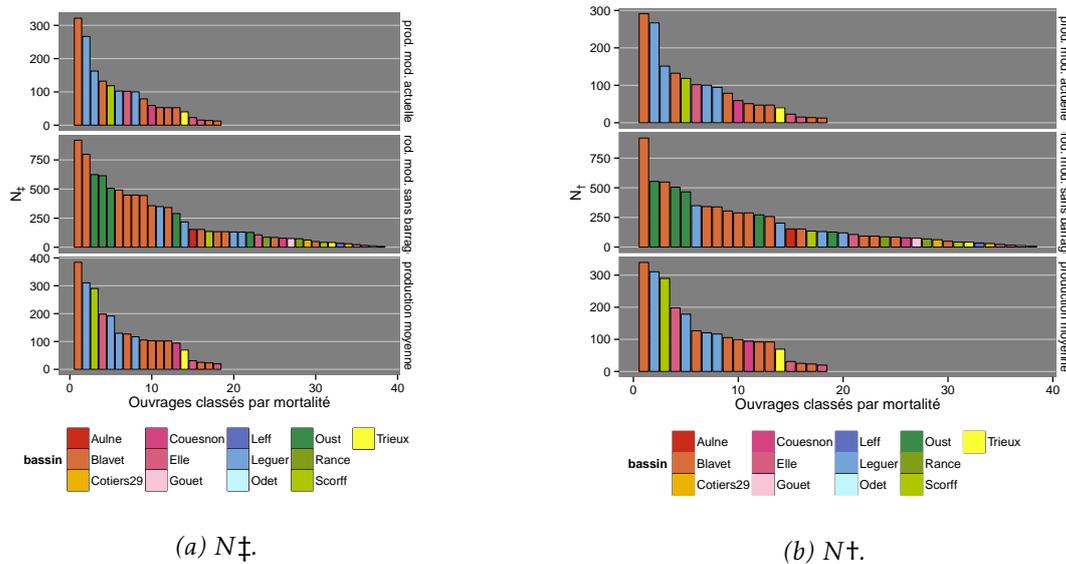


FIGURE 3.12 – Classement des ouvrages en fonction de leur mortalité potentielle N_{\ddagger} et réelle N_{\ddagger} pour le saumon en Bretagne pour les trois scénarios de production. La *mortalité potentielle* correspond au calcul de la mortalité s'il n'y avait pas d'impact d'ouvrages en amont.

CHAPITRE 3. RÉSULTATS

Tableau 3.8 – Mortalité dans les ouvrages de la Loire pour le saumon pour un scénario de *production modélisée actuelle* de smolts. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.7, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE28711	22489	32.2	27.9	28.8	7242	7096	Allier
2	ROE9885	36516	9.7	3.5	15.3	3551	2492	Allier
3	ROE9934	30053	8.4	2.7	16.6	2533	1764	Allier
4	ROE9949	28956	7.4	2.9	9.8	2131	1576	Allier
5	ROE10036	12071	10.3	5.1	11.6	1244	1123	Alagnon
6	ROE21937	10456	22.0	10.6	23.6	2298	1077	Gartempe
7	ROE29781	5105	15.9	10.4	14.1	813	797	Sioule
8	ROE19169	5616	13.1	6.3	14.7	737	737	Loire
9	ROE81638	4775	15.0	8.7	15.4	717	717	Alagnon
10	ROE29187	7442	12.7	6.4	13.1	949	684	Sioule
.	ROE29614	7193	9.4	3.2	13.7	677	572	Sioule
.	ROE16989	4867	13.4	6.3	14.6	653	518	Gartempe
.	ROE41951	4542	14.5	8.2	14.0	657	509	Dore
.	ROE21982	9640	9.4	3.1	14.6	910	462	Gartempe
.	ROE10050	8422	5.9	2.2	9.8	499	457	Alagnon
.	ROE49054	3421	13.2	6.4	14.7	452	452	Allier
.	ROE16986	5102	13.3	6.1	14.6	678	452	Gartempe
.	ROE16834	6634	12.8	7.9	12.2	849	438	Gartempe
.	ROE15391	7759	10.7	3.4	17.3	827	411	Gartempe
.	ROE16851	6422	11.1	5.2	12.1	715	402	Gartempe
.	ROE11458	2463	15.9	11.8	14.0	391	391	Dore
.	ROE15367	8058	10.4	3.4	16.4	837	389	Gartempe
.	ROE29268	7352	6.8	2.9	8.3	503	387	Sioule
.	ROE5344	2843	14.6	7.1	15.6	416	373	Gartempe
.	ROE27316	7594	7.4	3.7	7.6	559	355	Sioule
.	ROE21940	10155	7.0	2.0	13.9	715	348	Gartempe
.	ROE16975	5338	10.7	4.3	13.1	572	320	Gartempe
.	ROE6137	3682	10.5	5.7	10.8	388	316	Gartempe
.	ROE21918	10694	6.4	1.8	12.6	681	259	Gartempe
.	ROE16788	7209	7.1	2.8	8.8	513	253	Gartempe
.	ROE8272	1921	13.3	6.1	14.6	256	250	Gartempe
.	ROE11294	3083	10.0	6.0	9.5	310	230	Dore
.	ROE29625	6776	3.9	0.9	9.5	263	228	Sioule
.	ROE11301	2774	9.1	3.5	14.0	254	218	Dore
.	ROE6206	4867	5.4	1.5	10.6	262	208	Gartempe
.	ROE16982	5163	6.8	3.1	7.4	349	203	Gartempe
.	ROE11453	2774	8.5	3.4	11.5	236	203	Dore
.	ROE12750	17228	1.6	0.5	3.1	275	165	Creuse
.	ROE16979	5338	5.0	1.4	9.8	265	148	Gartempe
.	ROE4573	1611	5.9	1.7	11.8	94	94	Sioule
.	ROE22048	8523	1.1	0.3	2.2	96	43	Gartempe
.	ROE8674	625	6.8	2.0	13.5	43	43	Gartempe
.	ROE5511	3293	0.8	0.2	1.7	28	22	Gartempe

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

Tableau 3.9 – Mortalité des ouvrages de Bretagne pour le saumon pour le scénario de *production modélisée actuelle* de smolts. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.11a, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), NN_{\ddagger} = mortalité potentielle, NN_{+} mortalité réelle (voir formule2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	NN_{\ddagger}	NN_{+}	bassin
1	ROE11400	4012	8.0	5.0	8.3	322	291	Blavet
2	ROE22530	4810	5.5	2.2	10.3	267	267	Leguer
3	ROE22332	5272	3.1	1.2	5.7	162	151	Leguer
4	ROE10033	1203	11.0	5.0	17.0	132	132	Blavet
5	ROE33001	950	12.5	6.7	15.5	119	119	Scorff
6	ROE30394	588	17.3	18.6	15.5	102	102	Elle
7	ROE22533	4810	2.1	0.8	3.9	100	100	Leguer
8	ROE22333	6676	1.5	0.6	2.9	102	95	Leguer
9	ROE35710	553	14.3	7.9	16.2	79	79	Blavet
10	ROE11878	855	6.9	2.0	14.5	59	59	Couesnon
.	ROE14178	760	7.0	4.7	7.0	53	51	Blavet
.	ROE14165	760	6.9	4.6	7.0	53	47	Blavet
.	ROE14155	760	6.9	4.6	7.0	53	47	Blavet
.	ROE23245	3258	1.2	0.5	2.3	40	40	Trieux
.	ROE31387	221	10.4	5.1	15.1	23	23	Elle
.	ROE31215	168	9.1	4.4	14.1	15	15	Elle
.	ROE15076	186	7.5	3.1	13.7	14	14	Blavet
.	ROE14804	133	9.5	6.5	9.3	13	13	Blavet

3.4.2 Anguille

3.4.2.1 Productions actuelles

La Loire. Sur la Loire, la moyenne des taux de mortalité lors de la *dévalaison* depuis les différents segments hydrographiques sont de l'ordre du double de ceux des smolts avec $\bar{\tau}_\zeta = 41.3\%$. Pour la zone en amont des premiers ouvrages hydroélectriques, ces taux montent à $\bar{\tau}_\zeta = 63.2\%$ (Figure 3.13).

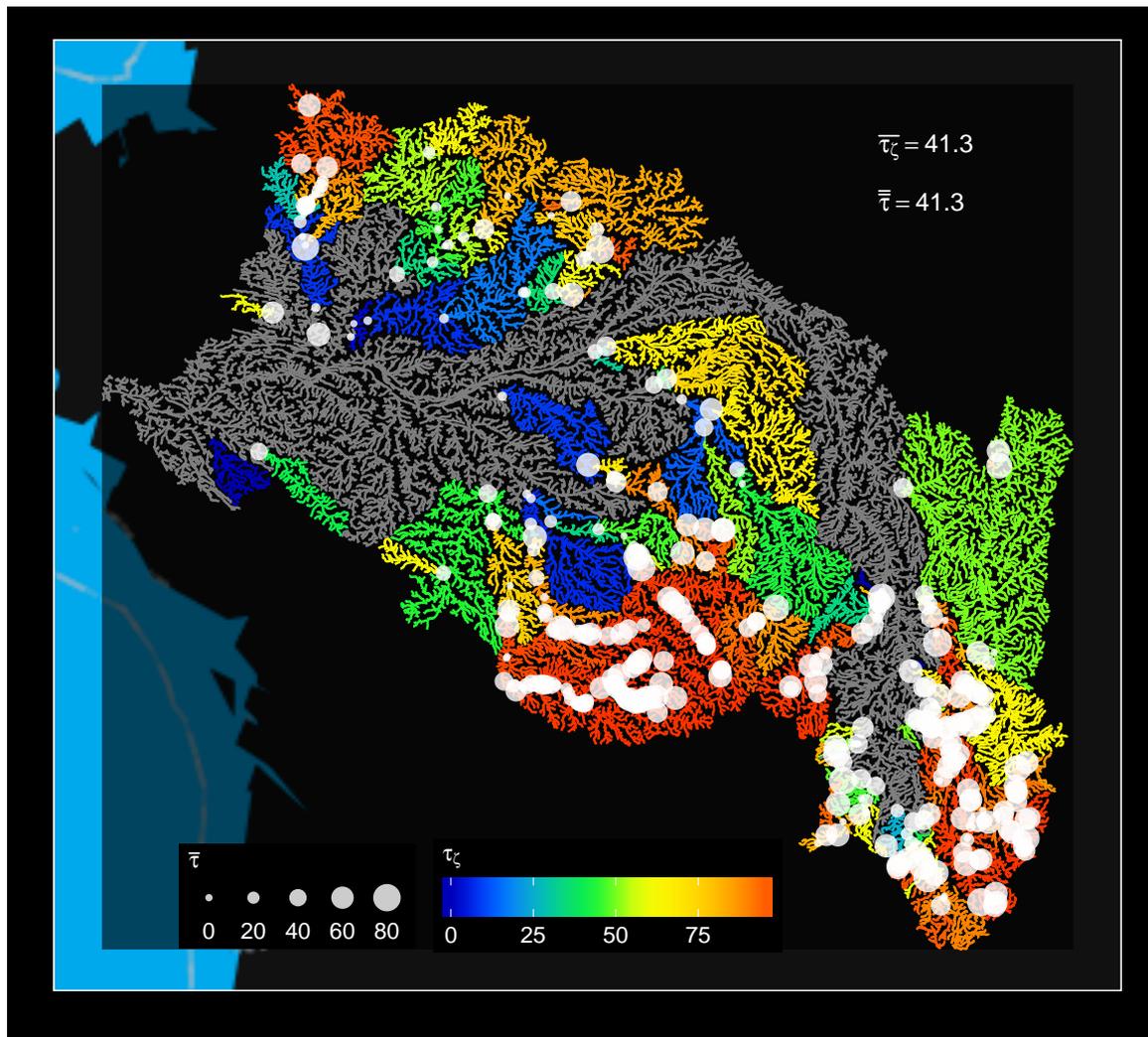


FIGURE 3.13 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles en Loire. τ_ζ = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la *dévalaison*, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguille), $\bar{\tau}_\zeta$ = moyenne des τ_ζ sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des taux de mortalités dans les ouvrages du bassin.

Le nombre d'anguilles argentées mortes dans les turbines est estimé à $N_{\dagger} 9\ 449$, soit un pourcentage de mortalité (T_{\dagger} Formule 2.17) de 3.0 % de la production totale du bassin (Figure 3.14).

La moyenne des mortalités potentielles d'anguilles sur la Loire, $\bar{N}_{\dagger k}$, est de 58 anguilles argentées tuées par ouvrage. L'ouvrage le plus impactant du bassin, situé sur la Vienne, a une mortalité estimée à 1 818 anguilles argentées soit 12% de l'ensemble des mortalités des différents ouvrages.

La moyenne des mortalités réelles $\bar{N}_{\dagger k}$ (c'est à dire les mortalités prenant en compte les

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

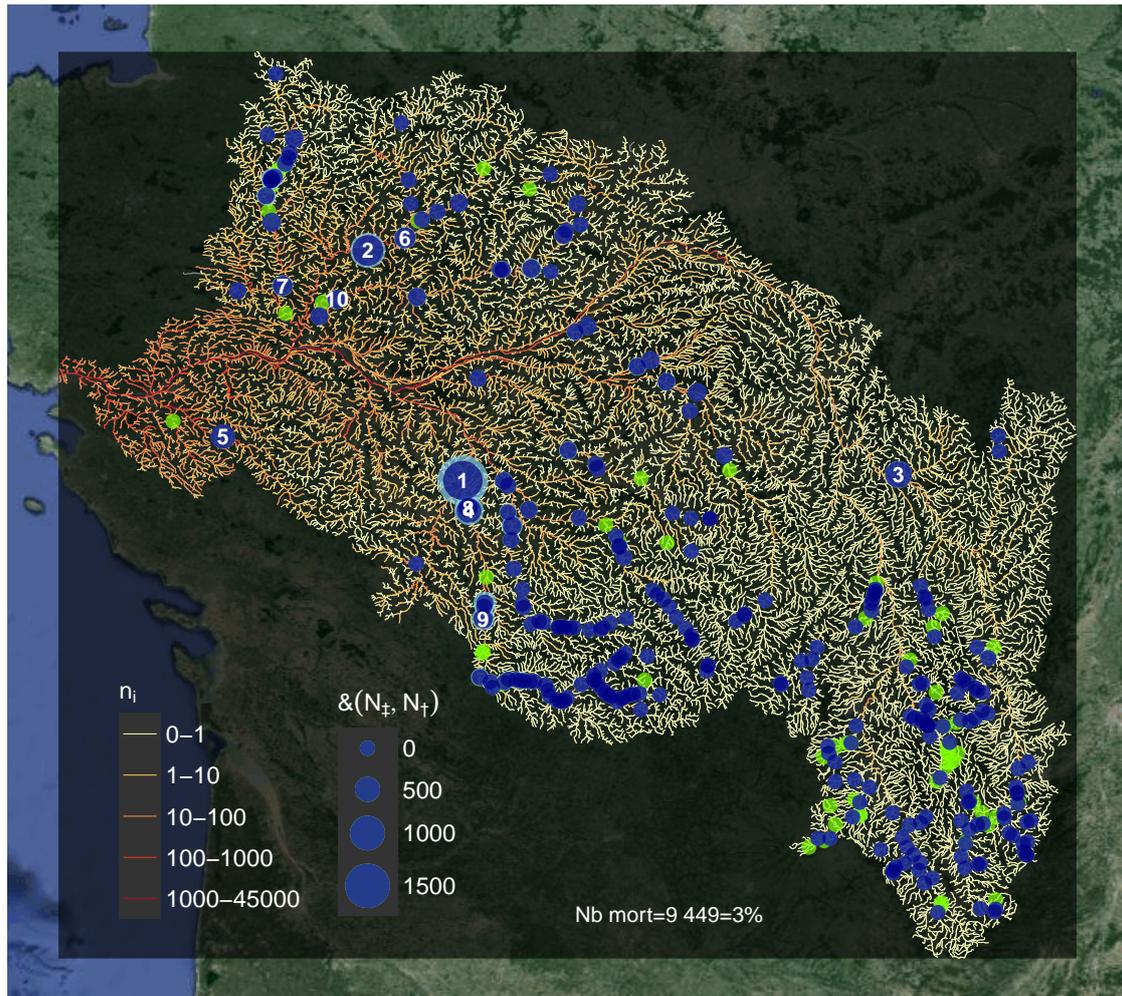


FIGURE 3.14 – Nombre d'anguille dévalante par tronçon hydrographique (n_i) et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques, sur la Loire. cercle extérieur (bleu clair)= N_{\pm} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\pm} mortalité réelle, en vert mortalité nulle.

CHAPITRE 3. RÉSULTATS

pertes d'anguilles dans les ouvrages en amont) est de 37 **anguilles argentées** tuées par ouvrage. La mortalité de l'ouvrage le plus impactant est la même ($N_{+k}=1$ 228) car il n'y a pas d'autres turbines en amont de cet ouvrage. Mais la mortalité globale de l'ensemble des turbines diminue dans la situation "réelle" et l'impact relatif de cet ouvrage augmente à 13% de l'ensemble des mortalités des différents ouvrages (Tableau 3.10, Figure 3.14).

Les mortalités des sous bassins traduisent plus la répartition des anguilles que le taux de mortalité moyen pour la **dévalaison**. La Vienne est le bassin où le nombre d'anguilles tuées est le plus fort avec $\sum N_{+k}= 2$ 576 suivie (dans le désordre) de la Sèvre nantaise, 469, la Mayenne 1 203, la Sarthe 1 433, le Cher 723, la Gartempe 397, la Creuse 477 l'Indre 302 et le le Beuvron 234.

Tableau 3.10 – Mortalité des ouvrages de la Loire pour l'anguille pour les ouvrages où la mortalité estimée est de plus de 50. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.14, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{\dagger} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{\dagger}	bassin
1	ROE19881	4083	44.5	23.4	47.0	1818	1228	Vienne
2	ROE41582	2925	34.9	14.1	40.8	1020	798	Sarthe
3	ROE19169	1236	50.1	24.2	56.1	619	571	Loire
4	ROE60573	1802	40.4	18.6	47.0	728	481	Vienne
5	ROE14905	1144	40.9	16.6	47.3	469	469	Sevre nantaise
6	ROE41697	2067	16.9	5.1	30.4	349	291	Sarthe
7	ROE2232	3591	8.2	2.4	16.4	296	229	Mayenne
8	ROE21331	1844	27.7	9.3	50.2	511	208	Vienne
9	ROE29086	584	66.5	37.8	67.9	388	204	Vienne
10	ROE3777	4269	5.5	1.8	9.7	233	196	Loir
.	ROE20586	227	79.8	89.9	65.6	181	181	Mayenne
.	ROE21985	333	53.7	26.8	53.6	179	179	Cher
.	ROE21937	446	67.2	32.3	72.2	300	176	Gartempe
.	ROE5543	316	57.7	34.9	55.2	182	175	Mayenne
.	ROE39188	273	62.3	23.6	71.7	170	170	Cher
.	ROE39473	317	51.9	25.7	63.7	165	165	Sarthe
.	ROE16333	321	50.7	24.6	49.4	163	163	Beuvron
.	ROE86389	680	38.6	18.4	41.8	263	149	Loir
.	ROE37565	2006	9.9	3.3	17.6	198	144	Loir
.	ROE8731	521	36.5	16.0	41.8	190	132	Loir
.	ROE3729	5607	2.6	0.8	4.5	143	120	Loir
.	ROE48490	396	30.6	10.1	54.3	121	119	Loir
.	ROE12750	2407	7.0	2.2	13.6	168	116	Creuse
.	ROE14031	1215	13.0	4.8	14.2	158	114	Cher
.	ROE6570	672	22.3	7.0	41.1	150	111	Creuse
.	ROE20739	612	47.7	24.6	49.3	292	109	Mayenne
.	ROE41255	164	60.1	48.1	53.6	99	99	Mayenne
.	ROE27903	290	35.1	14.0	35.1	102	97	Cher
.	ROE16810	1281	8.9	2.7	17.0	114	96	Indre
.	ROE14163	253	66.5	32.4	72.4	169	93	Indre
.	ROE20720	948	22.6	6.7	44.9	214	91	Mayenne
.	ROE21779	386	42.4	17.2	45.9	164	88	Cher
.	ROE29073	666	60.1	39.3	57.1	400	83	Vienne
.	ROE14482	157	53.1	26.8	57.0	84	79	Indre
.	ROE20736	612	32.4	16.6	33.5	198	74	Mayenne
.	ROE16174	387	31.7	9.1	60.9	123	71	Beuvron
.	ROE59503	97	84.3	94.8	65.8	82	67	Creuse

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

Tableau 3.10 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE12737	971	9.0	2.4	20.7	88	62	Creuse
.	ROE20847	581	23.4	8.1	34.0	136	61	Mayenne
.	ROE6266	637	13.0	5.7	19.9	83	56	Sarthe

Tableau 3.10 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE42477	128	44.6	27.9	45.4	57	56	Cher
.	ROE7948	400	19.6	6.6	31.6	79	55	Creuse
.	ROE58630	882	12.6	4.2	22.4	111	55	Loir
.	ROE20885	486	24.0	8.4	34.0	117	52	Mayenne
.	ROE21940	365	22.1	6.3	43.7	81	51	Gartempe
.	ROE6030	485	10.8	3.3	19.4	52	51	Sarthe

La Bretagne. Le taux moyen de mortalité en Bretagne est de $\bar{\tau}_\zeta=10.5\%$. Pour la zone en amont des premiers ouvrages hydroélectriques, ce taux monte à $\bar{\tau}_\zeta=30.8\%$ (Figure 3.15).

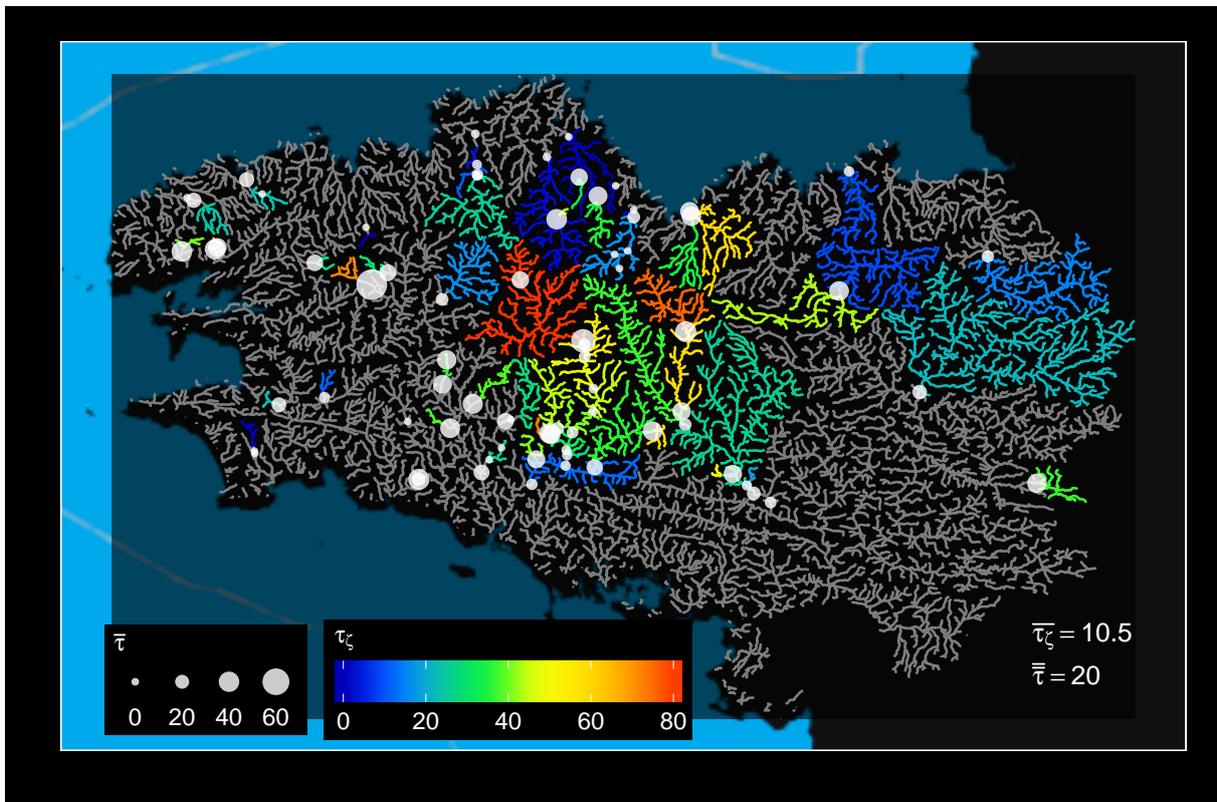


FIGURE 3.15 – Estimation du taux de mortalité pour les anguilles en Bretagne. τ_ζ = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_\zeta$ = moyenne des τ_ζ sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

Le nombre d'anguilles argentées mortes dans les turbines est estimé à $N_{\dagger}=9\,418$, soit un pourcentage de mortalité (T_{\dagger} Formule 2.17) de 3.3 % de la production totale du bassin (Figure 3.16).

La moyenne des mortalités potentielles d'anguilles en Bretagne, $N_{\dagger k}$, est de 194 anguilles argentées tuées par ouvrage, soit un niveau comparable à la Loire. L'ouvrage le plus impactant du bassin, situé sur le Blavet, tue 1 270 anguilles argentées soit 12% de l'ensemble des mortalités des différents ouvrages, et un niveau de mortalité similaire à celui trouvé pour l'ouvrage le plus impactant de la Loire. La moyenne des mortalités réelles $N_{\dagger k}$ est de 173 anguilles argentées tuées par ouvrage. L'impact relatif de l'ouvrage le plus impactant en terme de mortalité réelle est plus faible que la mortalité potentielle précédemment citée car il y a des impacts en amont de l'ouvrage ($N_{\dagger k}=1\,009$) soit 11% de la somme des mortalités réelles (Tableau 3.11, Figure 3.16). Le Blavet est le bassin où le nombre d'anguilles tuées est le plus fort avec $\sum N_{\dagger k}=3\,230$, suivi par l'Oust 1 666, la Rance 1 238, le Guessant 1 008, la Vilaine 895, le Couesnon 457 et le le Scorff 137

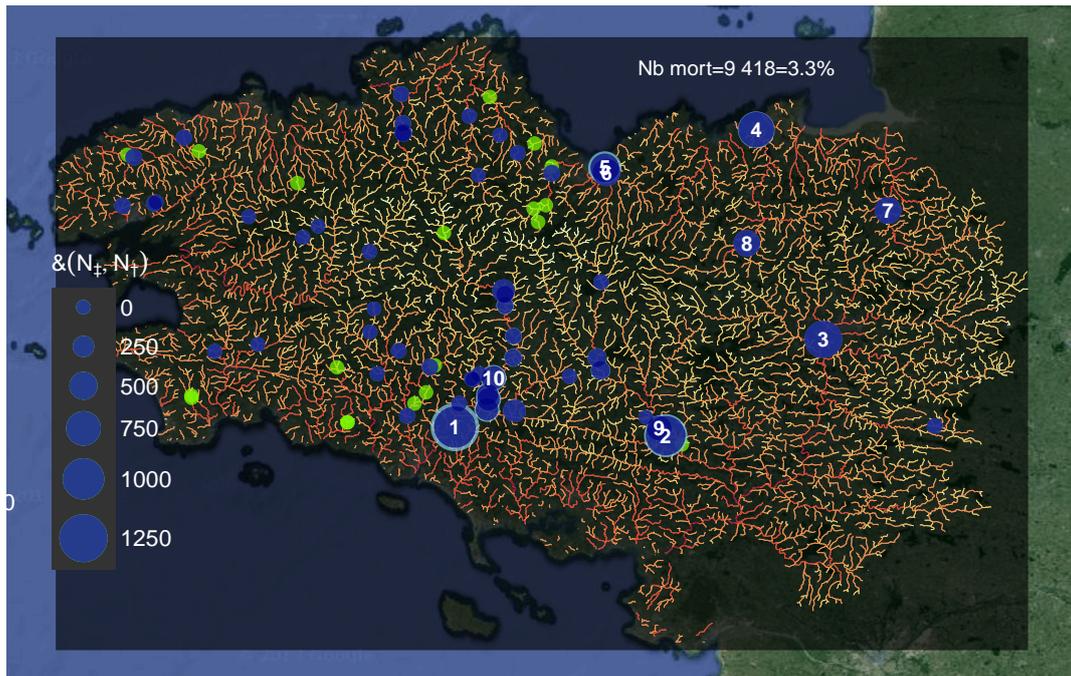


FIGURE 3.16 – Nombre d’anguille dévalante par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques en Bretagne. Mortalité estimée dans les ouvrages, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\dagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\dagger} mortalité réelle, en vert= pas de mortalité.

La Vendée. Le taux moyen de mortalité en Vendée est de $\bar{\tau}_{\zeta}=7.1\%$. Pour la zone en amont des premiers ouvrages hydroélectriques, ce taux monte à $\bar{\tau}_{\zeta}=74.5\%$ (Figure 3.15).

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

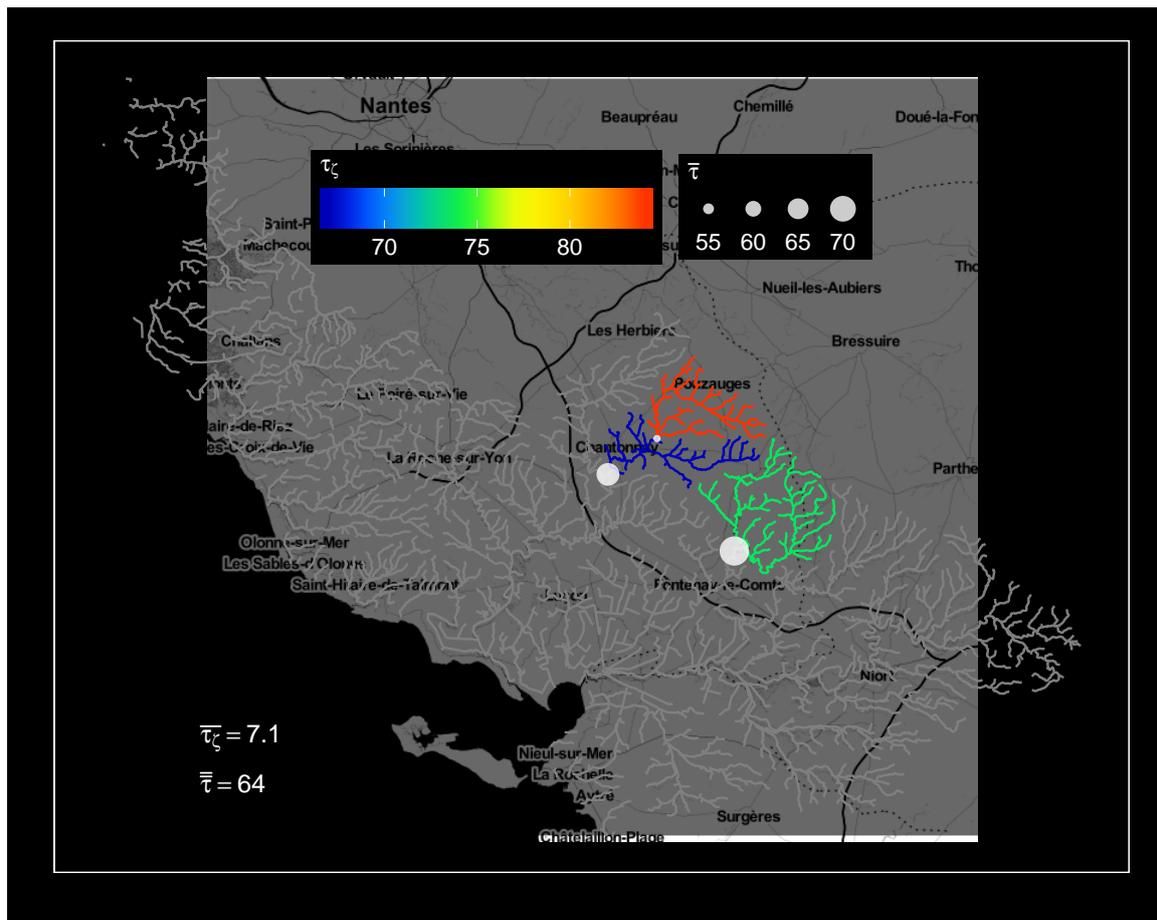


FIGURE 3.17 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles en Vendée. τ_{ζ} = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_{\zeta}$ = moyenne des τ_{ζ} sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

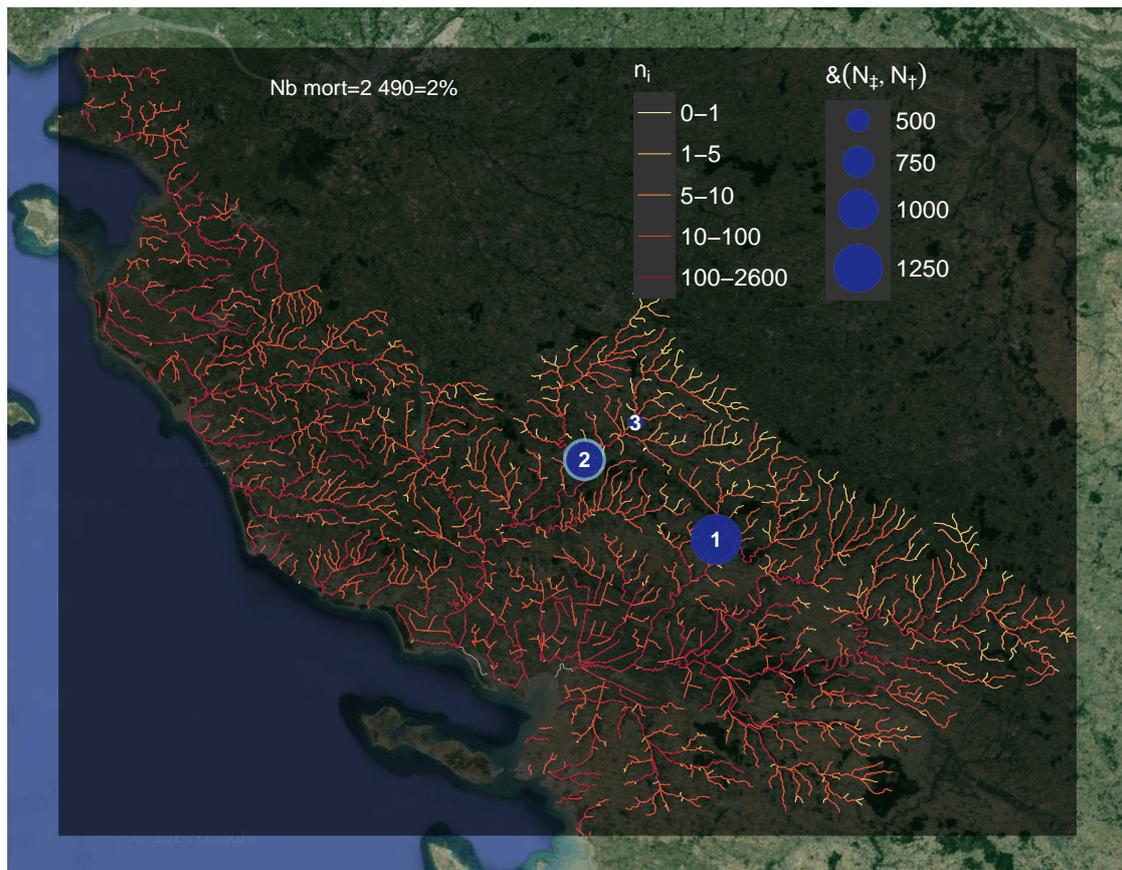


FIGURE 3.18 – Nombre d'anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques en Vendée, scénario de transparence migratoire à la montée, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\dagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\dagger} mortalité réelle. En vert = pas de mortalité.

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

Tableau 3.11 – Mortalité des ouvrages de la Bretagne pour l'anguille pour les ouvrages où la mortalité estimée est de plus de 50. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.16, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q50} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 50%), τ_{Q99} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 99%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE11400	10439	12.2	7.7	12.6	1270	1009	Blavet
2	ROE11542	5587	19.2	6.0	33.9	1073	932	Oust
3	ROE3652	3883	22.0	8.6	27.3	855	855	Vilaine
4	ROE58449	9557	8.7	4.3	8.9	828	789	Rance
5	ROE59736	1979	35.0	39.6	28.0	692	523	Gouessant
6	ROE38459	1293	37.5	42.4	30.1	485	485	Gouessant
7	ROE11878	3115	14.7	4.2	30.7	457	457	Couesnon
8	ROE16879	1188	37.8	42.8	30.3	449	449	Rance
9	ROE11525	5102	8.0	4.5	7.5	407	378	Oust
10	ROE14804	3168	13.1	9.1	13.0	416	340	Blavet
.	ROE22841	612	50.3	54.5	44.4	308	308	Blavet
.	ROE10033	1124	27.4	12.5	42.5	308	302	Blavet
.	ROE14165	4558	8.7	5.8	8.8	397	291	Blavet
.	ROE14155	4558	8.7	5.8	8.8	397	291	Blavet
.	ROE14178	4303	7.3	4.9	7.3	315	243	Blavet
.	ROE57923	501	33.9	27.0	27.9	170	155	Oust
.	ROE11846	1177	15.6	16.3	12.1	184	153	Oust
.	ROE22530	856	12.5	5.0	23.3	107	107	Leguer
.	ROE14979	2106	6.1	2.5	11.1	128	99	Blavet
.	ROE3958	385	24.0	9.8	43.2	93	93	Cotiers29
.	ROE15004	612	14.5	8.9	15.2	89	89	Blavet
.	ROE33099	541	16.3	17.3	13.3	88	88	Gouet
.	ROE33001	290	28.2	15.1	35.1	82	82	Scorff
.	ROE81626	176	40.7	26.1	42.8	72	72	Cotiers29
.	ROE10787	853	13.0	7.0	15.2	111	65	Blavet
.	ROE10797	1397	6.4	2.7	11.7	90	63	Blavet
.	ROE22332	1026	7.0	2.8	13.0	71	62	Leguer
.	ROE4013	260	23.4	10.2	37.3	61	61	Cotiers29
.	ROE32742	212	25.8	13.2	35.1	55	55	Scorff

3.4.2.2 Productions sans barrages

La Loire. Dans le scénario de production avec transparence migratoire à la montée, la moyenne des mortalités lors des parcours aval est identique au scénario avec barrages avec un taux de mortalité d'anguilles argentées lors des parcours de dévalaison de $\bar{\tau}_\zeta = 41.3\%$. (Figure 3.19).

Le nombre d'anguilles argentées mortes dans les turbines est estimé à $N_+ = 180\,790$, soit un pourcentage de mortalité (T_+ Formule 2.17) de 9.1 % de la production totale du bassin.

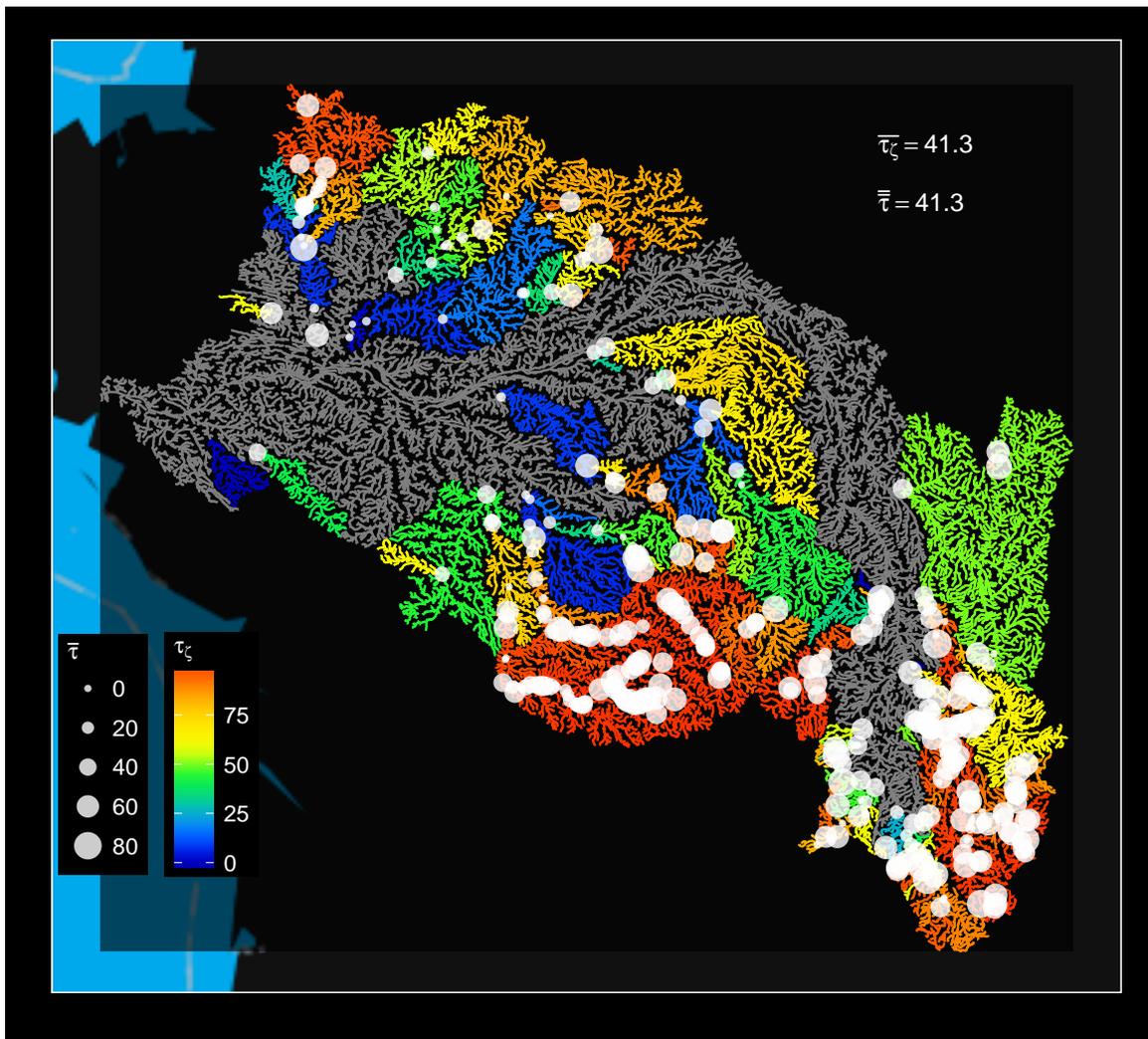


FIGURE 3.19 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles en Loire, scénario de transparence migratoire à la montée. τ_ζ = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_\zeta$ = moyenne des τ_ζ sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

En moyenne par ouvrage, la mortalité réelle d'anguilles argentées \bar{N}_{+k} est estimée à 709 (Figure 3.20, Tableau H.2, Figure 3.21).

La Bretagne. Le nombre d'anguilles argentées mortes dans les turbines en Bretagne est estimé à $N_+ = 236\,717$, soit un pourcentage de mortalité (T_+ Formule 2.17) de 4.0 % de la production totale du bassin (Figure 3.23).

Le nombre moyen d'anguilles argentées mortes dans les ouvrages hydroélectriques (mortalités réelles \bar{N}_{+k}) est estimé à 4 348 (Tableau H.4, Figure 3.22).

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

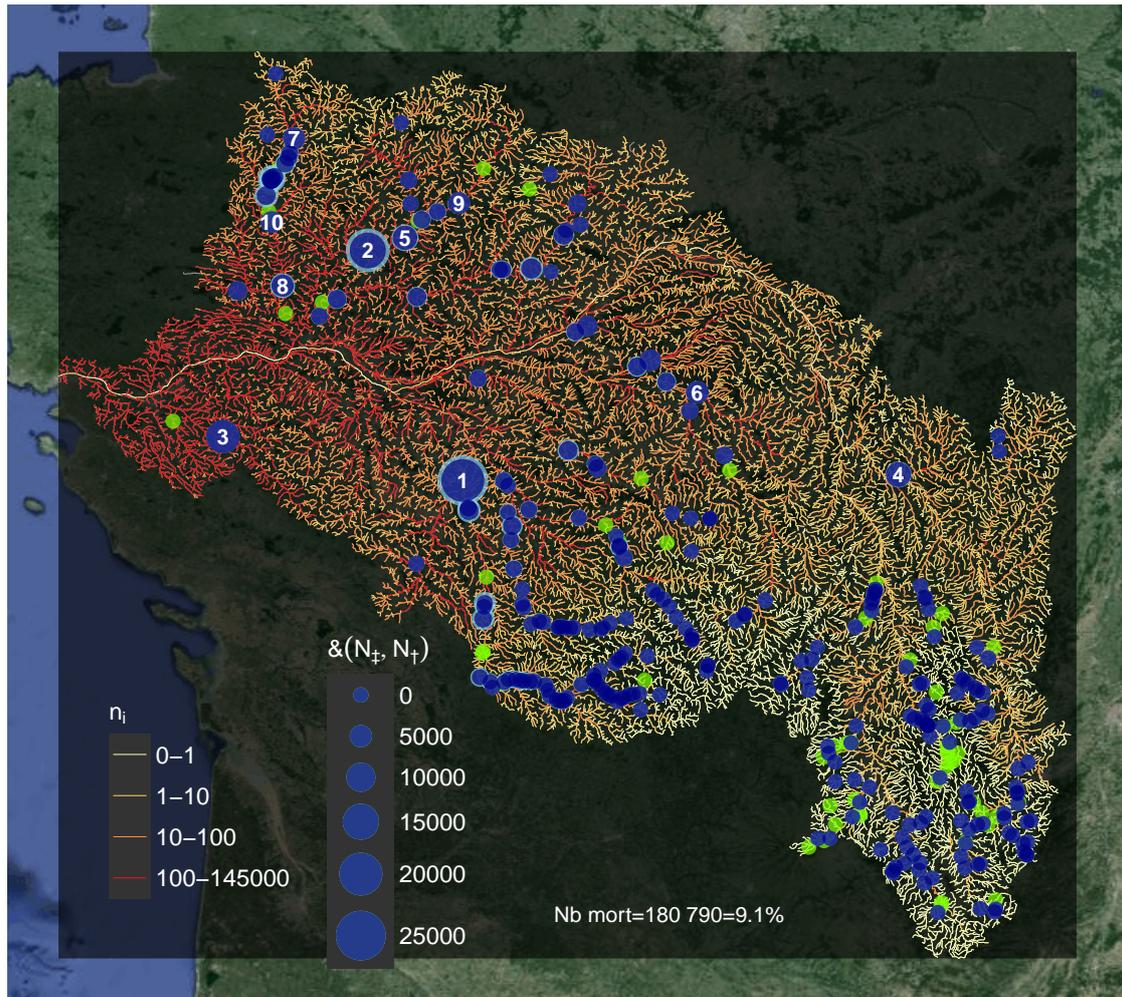


FIGURE 3.20 – Nombre d’anguille dévalante par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques de la Loire, scénario de transparence migratoire à la montée, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\ddagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\ddagger} mortalité réelle. En vert = pas de mortalité.

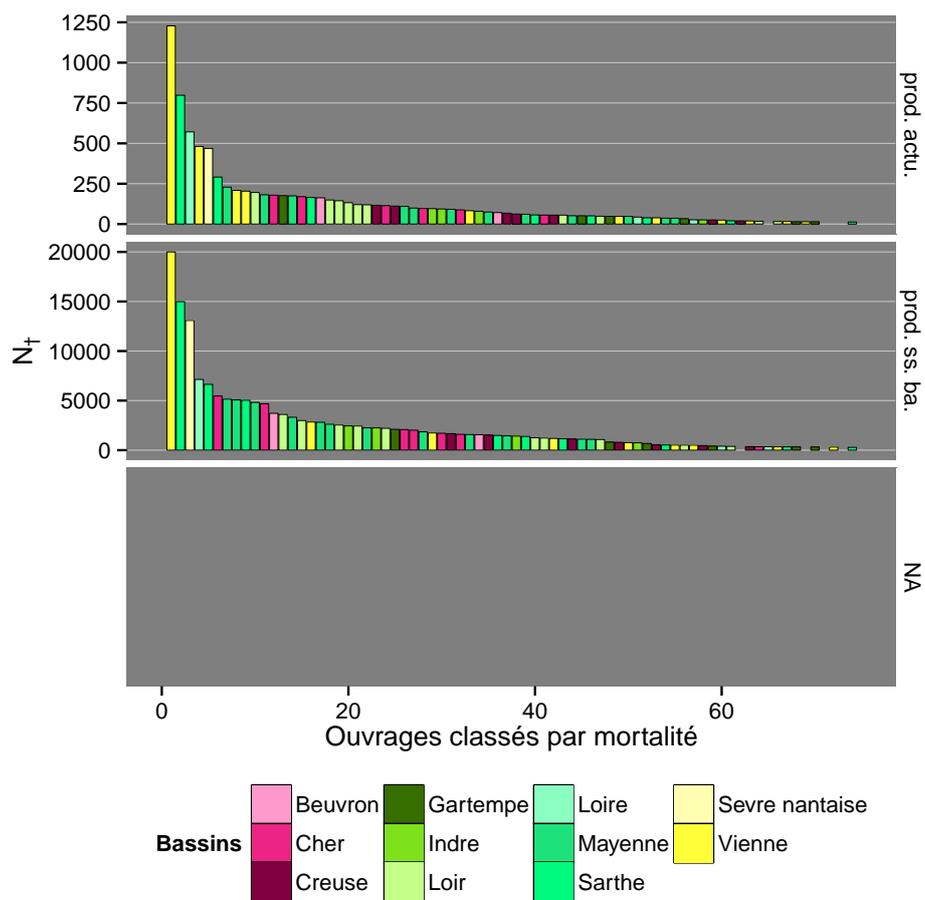


FIGURE 3.21 – Classement des ouvrages en fonction de leur mortalité réelle N_{\dagger} sur le bassin de la Loire pour les deux scénarios de production (actuel et sans barrages). La mortalité réelle correspond au calcul du nombre d’anguilles qui mourraient au niveau de l’ouvrage en prenant en compte l’impact d’ouvrages en amont. Pour des raisons graphiques, seuls les ouvrages où $N_{\dagger} > 10$ sont montrés sur la figure

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

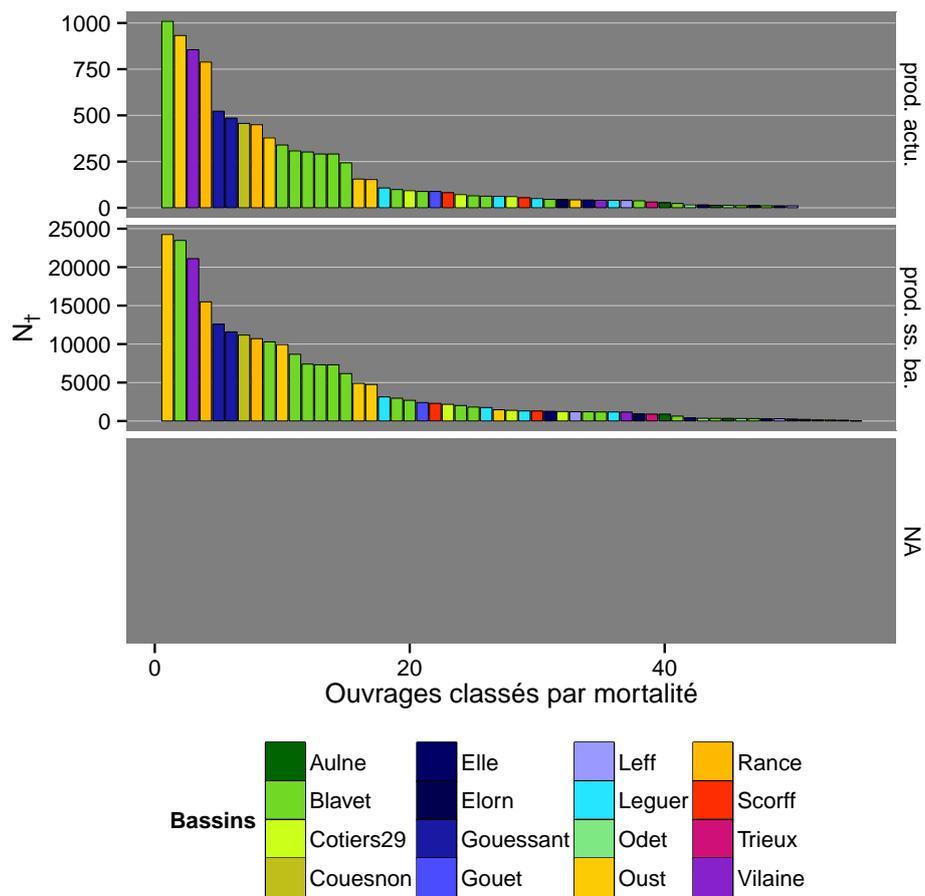


FIGURE 3.22 – Classement des ouvrages en fonction de leur mortalité réelle $N†$ en Bretagne pour les deux scénarios de production (actuel et sans barrages). La mortalité réelle correspond au calcul du nombre d'anguilles qui mourraient au niveau de l'ouvrage en prenant en compte l'impact d'ouvrages en amont.

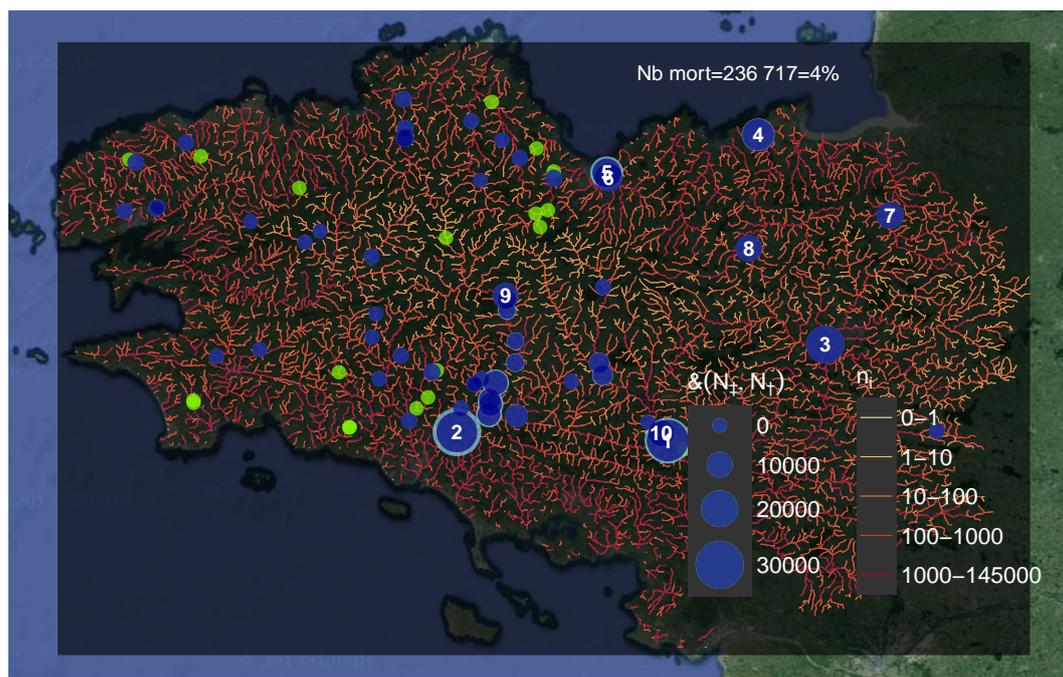


FIGURE 3.23 – Nombre d'anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée en nombre dans les ouvrages hydroélectriques en Bretagne. La distribution des anguilles est prédites par un scénario de transparence migratoire à la montée. En vert = pas de mortalité.

3.4.3 Comparaison des impacts entre bassins

Quelle que soit l'espèce (anguille ou saumon) et quel que soit le bassin versant (Loire ou Bretagne), l'ensemble des résultats sont présentés par sous-bassin dans les Annexes M et Annexes N. Ce détail permet de mettre en évidence les ouvrages les plus impactants à l'échelle de ces sous-bassins versant (Allier, Cher, Loir, Loire amont, Mayenne, Sarthe, Vienne pour le bassin Loire, et Blavet, Vilaine pour le bassin Bretagne).

3.4 CALCULS DES MORTALITÉS DANS LES OUVRAGES

4.1 Estimation des surfaces d'habitat

La première partie du modèle d'estimation des productions de smolts repose en fait sur (1) une expertise des habitats pouvant accueillir des juvéniles de saumons, (2) un modèle donnant le pourcentage de surface d'ERR produites à partir des surfaces en eau du RHT.

4.1.1 Détermination des surfaces actuelles et accessibles sans les baragges

La détermination des zones de production actuelle n'a pas posé de problème particulier en Bretagne où l'on dispose d'une bonne connaissance des cours d'eau actuellement fréquentés par le saumon. Certains petits affluents ou sous-affluents des cours principaux ont pu être oubliés, mais leur surface de production reste négligeable au regard de celle effectivement prise en compte. Pour le bassin de la Loire, les zones de production définies correspondent aux cours d'eau ou tronçons de cours d'eau encore fréquentés naturellement par le saumon et/ou faisant l'objet de soutien d'effectif par déversement de juvéniles issus de l'élevage. Quelques tronçons de cours d'eau où le saumon est de nouveau présent n'ont cependant pas été retenus, faute d'information précises sur leur degré de colonisation¹. Concernant les zones de productions historiques de Bretagne, les données bibliographiques dont nous disposons (Thibault, 1996) sont relativement riches mais elles manquent de précision en ce qui concerne les limites amont de colonisation sur les axes principaux et les zones de frayères situées sur les affluents. Sur les hauts bassins de l'Oust, du Blavet et de l'Aulne (Hyères) nous avons donc été amenés à faire quelques extrapolations à partir des observations dont nous disposons sur les zones de productions actuellement fréquentées. C'est ainsi que nous avons retenu une largeur minimale de 3 mètres pour fixer les limites amont de colonisation. La question de la limite aval de la zone de production se pose également sur les parties aval des trois cours d'eau précédents. Canalisées lors de la première partie du XVIII^{ème} siècle, les observations réalisées à l'occasion d'abaissements du niveau d'eau, par exemple pour des opérations d'entretien, ont permis de mettre en évidence l'existence d'habitats potentiellement favorables jusqu'à la limite historique de remontées des marées. Pour ces secteurs le RHT fournit des valeurs de pente déterminées à partir d'un modèle numérique de terrain dont les données ont été estimées dans l'état actuel d'étagement de ces cours d'eau, ce qui a pu amener à minimiser l'évaluation des surfaces d'ERR historiques. Pour le bassin de la Loire, les travaux de Bachelier (1963) ont permis de localiser assez précisément les zones de production sur les axes principaux sachant que parmi les données des enquêtes des Eaux et Forêt qu'il a utilisées, étaient précisées les limites amont de colonisation sur ces cours d'eau. A propos des affluents de moindre taille, l'auteur indiquait que rien ne s'opposait à ce que les saumons aient pu exploiter certaines zones de frayères accessibles. C'est pourquoi nous avons intégré dans les zones de production historique un certain nombre d'affluents localisés dans le Massif Central en nous fixant comme limite une largeur minimale de 5 mètres. Nous avons opté pour une valeur seuil supérieure à celle retenue sur les cours d'eau bretons (3 mètres) pour tenir compte de la taille plus importante des géniteurs de « souche Loire ». Nous n'avons néanmoins pas eu le temps d'examiner en détail les profils en long des différents cours d'eau sélectionnés selon cette règle et il est probable que pour certains d'entre eux la non prise en compte d'obstacles naturels existants (la probabilité de présence de cascades dans le Massif Central n'étant pas négligeable) a pu conduire à surestimer la surface de production. En revanche, comme cela a été souligné précédemment, les valeurs de pentes du

1. la Creuse en amont de la confluence avec la Gartempe et la Vienne en amont de Châtellerauld

RHT ne correspondent pas aux pentes initiales du cours d'eau sur un certain nombre de tronçons impactés par des aménagements anthropiques. C'est le cas sur nombre de cours d'eau du Massif Central où l'édification de barrages a engendré de longs secteurs ennoyés. L'évaluation de la surface d'ERR s'en trouve donc dans ce cas affectée. Les zones de production ont été étendues à l'aval du Massif Central (socle ancien), sur des terrains alluvionnaires (Allier, Loire) ou calcaires (Vienne, Creuse, Gartempe). Aucune donnée historique fiable n'existe à proprement parler à ce propos et la localisation des limites aval proposées peut être discutée. Bachelier (1963) a considéré que la productivité de ces zones n'était pas nulle mais qu'elle restait faible, ce que le modèle de productivité du bassin Loire prend bien en compte. Cela permet donc d'atténuer une éventuelle surestimation des surfaces de production à cet endroit.

4.1.2 Construction du modèle à partir des données d'expertise de terrain

La méthode de description des habitats de production de juvéniles de saumon consiste à parcourir systématiquement une zone géographique et à noter qualitativement chaque type de faciès d'écoulement en fonction de leur intérêt biologique pour le saumon. En Bretagne, les prospections ont été systématiques, alors qu'en Loire, les descriptions d'habitats ont été réalisées uniquement sur les grands cours d'eau à saumons, sur lesquels les saumons étaient connus pour remonter (bassin de l'Allier, Gartempe) ou sur lesquels on pensait que des potentialités importantes pouvaient exister (bassin de l'Arroux).

La description des habitats repose sur la distinction de 5 grands types d'habitats (radier, rapide, plat courant, plat lent, profond) définis à partir de 2 critères visuels : la profondeur et la vitesse. Bien que le protocole de terrain soit commun à l'échelle du bassin Loire-Bretagne, les approximations utilisées pour les calculs de la capacité d'accueil sont variables entre le bassin de la Loire et les cours d'eau du massif armoricain. Dans les rivières du Massif Armoricain, les types d'habitat sont séparés entre les zones d'eau courantes, les radiers/rapides (habitats peu profonds à écoulement turbulent) et les plats (habitats à écoulement laminaire) (Baglinière et Champigneulle, 1982). Les travaux de Baglinière (1993, données non publiées) ont montré que la production de tacons était 5 fois moins importante sur les plats lents et les plats courants que sur les radiers et les rapides. La surface de production ou surface équivalent radier/rapide (S_{err}) est ainsi calculée de la manière suivante (paragraphe 2.4.2) :

$$S_{err} = S_{radiers} + S_{rapides} + \frac{1}{5} \times S_{plats}$$

Pour les cours d'eau étudiés du bassin de la Loire, les plats lenticules ont été écartés du calcul (Minster et Bomassi, 1999), de plus les chenaux lotiques sont considérés, aboutissant ainsi à la formule :

$$S_{err} = S_{radiers} + S_{rapides} + S_{chenaux\ lotiques} + \frac{1}{5} \times S_{plats}$$

Sur d'autres cours d'eau français, on retrouve dans la bibliographie des pondérations selon les habitats encore différentes adaptées au contexte. Baran (2000) définit la surface d'Equivalent Radier-Rapide selon la formule suivante :

$$S_{err} = S_{radiers} + S_{rapides} + \frac{1}{2} S_{escaliers} + \frac{1}{2} S_{plats\ courants} + \frac{1}{5} S_{plats\ lents}$$

Sur la Souvigne et la Maronne, Bosc et Carry (1999) ont défini la capacité de production en juvéniles de saumon selon la formule suivante :

$$S_{err} = S_{radiers} + S_{rapides} + S_{escaliers} + S_{plats\ courants}$$

A ce jour, seule la formule développée en Bretagne a fait l'objet d'une validation à partir de données d'abondances mesurées.

Des variations d'appréciations existent entre opérateurs et peuvent expliquer une part de la variabilité inter-bassin, voire intra-bassin observée dans les modèles. Elles expliquent peut être les biais de résidus apparaissant soit tous positifs, soit tous négatifs dans certaines portions de rivière. En effet, la détermination des types d'écoulement reste subjective et le classement par rapport aux vitesses de courant et à la granulométrie demande une connaissance des habitats utilisés par les juvéniles de saumons. Ainsi, dans certains secteurs, comme les affluents du Blavet, le calcul des surfaces d'ERR mériterait une ré-évaluation suite à une confusion entre radiers et plats courants dans la détermination des faciès d'écoulement. En Loire, les habitats du bassin de l'Allier et de l'axe Arroux ont tous été cartographiés par le même opérateur (Malavoi, 1999 - non publié), et la variabilité attendue des expertises y est moindre.

Il semble que les habitats constitués d'une granulométrie dominante de type "sable" devraient être systématiquement écartés du calcul de la surface d'équivalent radier-rapide. A titre d'exemple, sur le cours amont du Couesnon, les plats lents constitués d'une granulométrie de type "sable" qui sont très importants en linéaire, ont été écartés des surfaces de production en juvéniles, car l'expertise de terrain montrait qu'il n'y avait pas de saumons sur ces habitats. D'une manière plus générale, une pondération des surfaces de production selon la granulométrie du fond permettrait d'améliorer l'expertise des surfaces productives.

L'intensité de l'étiage explique une part significative de la variation des surfaces de production en juvéniles. En effet, les débits peuvent biaiser les descriptions des faciès d'écoulement : là où un radier pourra être observé en condition d'étiage, c'est-à-dire durant la période de plus faible débit, des hauteurs d'eau supérieures pourront amener à une description en faciès plat courant. De même, la discrimination entre plat lent et profond pourra également être modifiée. Ainsi, sur les cours d'eau qui présentent des débits supérieurs au module lors de la description des habitats, la surface de production en juvéniles de saumon a eu tendance à être sous-estimée. C'est notamment le cas du Pont du Roc'h et du cours amont du Couesnon. Dans le modèle, plus l'intensité d'étiage est forte, plus la surface d'ERR est grande. Les prédictions pour le scénario de surface actuelle et accessible sans barrages sont effectuées en faisant l'hypothèse d'une intensité d'étiage à 0.5. L'écart entre les valeurs mesurées et prédites pour un bassin vient donc en partie de l'écart à la valeur 0.5 lors de la prospection. La majorité des bassins ont fait une prospection à une valeur de Q_{etiage} autour de 0.75 (soit à 25 % du module), et les prédictions par le modèle des surfaces d'équivalent radier rapide sont inférieures aux valeurs observées lors des inventaires.

4.1.3 Biais et robustesse du modèle

Le modèle a été construit sur le RHT qui permet une description à large échelle de variables telles que la pente ou le débit (Pella et al., 2012). Ces éléments sont modélisés et sont donc moins pertinents qu'une mesure fine sur le terrain. Pour autant, cette approche est probablement adaptée pour la modélisation à large échelle des surfaces productives. Ainsi, les résultats de la modélisation ne laissent pas apparaître de biais flagrant de méthode de calcul de surface d'habitat notamment entre régions. En effet, un seul modèle commun à l'ensemble des données Loire et Bretagne a été calé, et l'ajout d'un effet "bassin" séparant la Loire de la Bretagne n'était pas significatif. Les coefficients de la partie mixte du modèle pour les sous bassins de la Loire δ_j ² varient entre 0.03 (pour l'Alagnon) et 0.15 (pour l'Allier), ce qui signifie que le

2. δ et δ_j représentent respectivement les intercepts pour les parties fixes et la partie mixte du modèle, les coefficients entre différents bassins peuvent être comparés en faisant l'addition $\delta + \delta_j$

4.2 PRODUCTIVITÉ DES HABITATS DE JUVÉNILES CHEZ LES SMOLTS

ratio de surface d'ERR par tronçon varie entre $\delta + \delta_j = (0.30 + 0.03)^2$ et $\delta + \delta_j = (0.30 + 0.15)^2$ soit une différence de ratio de 10 % (tableau 5.4-Ajustement du modèle mixte, Equation A.3). Cette différence, l'une des plus grandes du modèle correspond à la prospection de différents secteurs par les mêmes opérateurs. Il reste à déterminer si les valeurs les plus faibles comme le Couesnon, le Camfroust ou l'Aulne peuvent être attribués à un biais d'opérateur, qui aurait conduit à sous estimer la surface d'habitat productif. Le modèle n'explique qu'un peu plus de 50 % de la variation totale, mais il est basé sur des prédicteurs très simples (pente et débit) et assez généralisables. Il est donc probable que si les estimations ne sont pas précises, elles sont en revanche assez généralisables sur les secteurs non prospectés, et donnent un ordre de grandeur réaliste pour les surfaces d'habitats aujourd'hui non accessibles.

Les variables testées dans le modèle étaient pour la majeure partie corrélées entre elles. C'est le cas de la largeur, du débit, de la distance à la source, de l'altitude et du rang de Strahler. Pour certaines, la corrélation n'était pas apparente lors d'un premier examen (cas du débit et de l'altitude, non corrélées globalement, mais corrélées au sein de chaque bassin). Le meilleur modèle testé ici est celui reprenant la pente et le débit, mais un modèle avec la largeur et le débit comme développé sur la Sélune (Forget et al., 2014) aurait donné des performances proches.

L'estimation des surfaces prédites en conditions historiques correspond à une situation où les obstacles à la migration seraient totalement franchissables pour les saumons et les anguilles. L'estimation ne prend pas en compte la récupération d'habitats potentiels en amont en situation « seuils effacés ». En effet, la modélisation des pentes du RHT est basée sur un modèle numérique de terrain qui estime des pentes nulles dans les zones ennoyées par les grands barrages. De même, les données de terrain utilisées pour caler le modèle ne tiennent pas compte des habitats naturels ennoyés sous l'effet des seuils et barrages. Les surfaces prédites en condition historique, sans barrage, représentent donc un minimum.

4.1.4 Validation du modèle sur la Vienne

L'Etablissement Public Territorial de Bassin Vienne (EPTB Vienne) a réalisé en 2013 une étude visant à estimer les surfaces potentiellement productives, notamment pour le saumon atlantique, en amont de l'Isle Jourdain, complexe hydroélectrique aujourd'hui infranchissable. Cette estimation a été réalisée à partir de photo-interprétation et de vérifications ponctuelles sur le terrain. La différence entre les surfaces estimées par cette méthode (155.5 ha d'ERR) et notre étude (167 ha) est de 11,5 ha soit 6%. Une part de cette différence est expliquée par un choix différent de la limite amont des habitats. La différence entre les surfaces productives reste malgré tout faible.

4.2 Productivité des habitats de juvéniles chez les smolts

Les modèles de productivité des habitats de juvéniles complètent le modèle de surface d'habitat pour donner une estimation du nombre de smolts produits par tronçon hydrographique.

4.2.1 Effet du débit au moment de la réalisation des indices d'abondance sur les résultats obtenus

Une incertitude existe tout d'abord sur les chiffres de densité de 0+ utilisés dans ce rapport. En effet, la méthode des indices d'abondance de juvéniles de saumon utilisée pour modéliser les productions en juvéniles de saumon consiste à faire une pêche électrique ciblée sur les juvéniles de saumon de l'année et pratiquée sur les habitats préférentiels des juvéniles de saumon. Les résultats sont exprimés en nombre de juvéniles par 5 minutes. Les pêches sont réalisées en

période d'étiage de fin août à début octobre selon les cours d'eau et les années. Selon l'intensité de l'étiage au cours de la pêche, il est probable que l'abondance des juvéniles de la station varie (Prevost et Bagliniere, 1993). En effet, pour de faibles débits, la répartition des juvéniles aura tendance à être plus concentrée que pour des plus forts débits. De plus, on observe une influence négative du débit sur l'efficacité de pêche provenant d'un triple effet, à la fois mécanique (augmentation de la profondeur et accélération du courant), chimique (réduction de la conductivité électrique par dilution) et d'un effet lié à la turbidité de l'eau (difficulté de localiser les poissons) (Philippart, 1979). Il peut donc exister un biais entre les densités moyennes mesurées en pêche électrique par la méthode des indices d'abondances, et le nombre de 0+ effectivement produits au niveau du tronçon, quand on multiplie les densités par une surface d'ERR qui reste constante.

4.2.2 Cas particulier de l'Allier pour le traitement des données chronologique d'indices d'abondance

La population de saumon de Loire-Allier a été soutenue depuis de nombreuses années (milieu des années 70) par un programme d'alevinage dans l'ensemble des cours d'eau fréquentés par le saumon (Allier, Alagnon, Sioule, Dore, Gartempe, Affluents de l'Arroux). Parallèlement à ce programme, il existe aussi une reproduction naturelle chaque année dans ces cours d'eau (excepté dans le bassin de l'Arroux) bien qu'elle ne soit pas en quantité comparable (frayères majoritairement localisées dans les cours d'eau Allier, Alagnon et Sioule). Les résultats des indices d'abondance représentent ainsi à la fois l'abondance des juvéniles issus de cette reproduction naturelle et des juvéniles déversés au mois de juin dans les différentes rivières. Cependant, une gestion particulière du programme d'alevinage a été conduite dans l'Allier. En effet, au cours des 14 dernières années deux stratégies très différentes y ont été appliquées. La première (fin des années 90 à 2006) a consisté à maximiser le nombre de juvéniles dans la partie amont du cours d'eau (en amont du barrage de Poutès). Cette zone présente les meilleurs habitats mais le barrage limite l'accès de cette zone aux géniteurs. Après une année de transition (2007), la stratégie a été très différente (période 2008 à aujourd'hui) : il s'est agit alors de laisser la zone amont pour la population sauvage. Une zone appelée refuge a ainsi été créée de Langeac (30 kilomètres en aval du barrage de Poutès) jusqu'aux sources. Dans cette zone, plus aucun alevinage n'a été pratiqué après 2007. Or, l'ouvrage de Poutès limitant toujours les migrations à la montaison (un réaménagement est prévu dans les années futures), la zone refuge en amont de Poutès n'a vu depuis 2008 que peu de géniteurs (moyenne 2008-2012 = 51 individus (+/- 40.9) comptabilisés à la station de vidéocomptage de Poutès) et le nombre de juvéniles produits a été faible. La période considérée dans le modèle de production étant 2008-2012, on aurait été pour l'amont de l'Allier dans la situation où les meilleures zones du cours d'eau ne produisent que peu de juvéniles compte tenu du faible nombre de géniteurs et de l'arrêt des alevinages.

A l'opposé, les alevinages ont été poursuivis et intensifiés dans les zones en aval de la zone refuge et conduisent très probablement à une saturation des habitats. Pour éviter de sous-estimer la production de la zone amont et donc l'impact de l'ouvrage hydroélectrique de Poutès-Monistrol, nous avons utilisé non pas les indices d'abondance en amont de Langeac de la période 2008-2012 mais ceux de 2002-2006. En opérant cette modification dans le jeu de données, nous sommes plus homogène à l'échelle de la rivière en nous affranchissant de l'artefact "stratégie d'alevinage", en revanche nous surestimons le nombre de smolts actuellement tués dans les turbines par l'ouvrage hydroélectrique de Poutès-Monistrol.

4.2.3 Deux modèles séparés de productivité en Bretagne et en Loire

Les modèles de densité sont différents en Bretagne et en Loire. Nous avons tenté de les unifier mais le modèle commun avait des performances très faibles et ses résidus n'étaient pas

normaux. Il y a plusieurs raisons qui justifient le choix d'un modèle séparé en Loire et en Bretagne :

- Les productions de juvéniles en Loire sont largement soutenues par des déversements et les niveaux de production sont toujours limités par des effets densité dépendants, pas par une limitation en terme de dépose d'oeufs. Le cas particulier de la prise en compte de l'Allier amont est expliqué au paragraphe précédent. En Bretagne, les zones déversées ne sont pas inventoriées par pêche électrique. Cette différence se traduit notamment par le fait que les densités de **tacons** sont expliquées par un effet année en Bretagne alors que cet effet n'est pas significatif sur la Loire.
- L'effet de la géologie a été pris en compte en Loire et pas en Bretagne, car il est difficile à dissocier d'un effet bassin ou d'un effet géographique en Bretagne où les bassins sont par comparaison de petite taille, alors qu'en Loire l'effet substratum permet d'expliquer les productivités inférieures sur les substrats sédimentaires en aval des zones de socle.
- La distribution des données d'abondances de juvéniles ne suit pas la même tendance en Loire et en Bretagne.
- Certaines variables comme la distance à la mer n'ont pas la même métrique en Loire (forte distance) et en Bretagne (bassins courts).

4.2.4 Les densités nulles ont été écartées du jeu de données

Les densités nulles, 77 valeurs sur 1190 lignes en Bretagne (7%), et 40 valeurs sur 335 (11%) en Bretagne, ont été écartées du jeu de données, car il n'était pas possible de normaliser les résidus lorsqu'elles étaient présentes dans le jeu de données. Ce choix conduit à surestimer les effectifs dans certains bassins où les densités sont très faibles (Gartempe, Couesnon). En pratique, les stations de pêche où les effectifs sont très faibles voient revenir des densités nulles plusieurs années de rang.

Ceci constitue un biais dans notre modèle, cependant il faut considérer que le modèle de densité a pour objectif de prédire la productivité des habitats où le saumon est présent, et pas de prédire leur répartition. Cette dernière est décrite par le modèle de surface d'habitat de juvéniles.

4.3 Production en smolts par bassins

La combinaison des deux modèles précédents aboutit à une prédiction des abondances de smolts. Plusieurs scénarios de production sont utilisés et donnent des résultats différents.

4.3.1 Comparaison des modèles de production moyenne et modélisée.

Le scénario de **production modélisée actuelle** de **smolts** donne des résultats inférieurs au scénario de **production moyenne** (Loire 99 093 contre 128 438 Tableau 3.4, Bretagne 99 050 contre 127 624 Tableau 3.5). Sur la Loire cette différence est particulièrement importante sur la Sioule et sur l'Allier. En Bretagne, la production modélisée est pratiquement systématiquement inférieure à la moyenne des productions. Cette différence s'explique en premier lieu par la distribution des données de densité qui n'est, ni dans le cas des données de Loire, ni dans le cas des données de Bretagne, une distribution normale. Le modèle Loire utilise une transformation log pour normaliser les données, le modèle Bretagne une transformation puissance 0.1. Compte tenu de cette distribution, il aurait fallu calculer la moyenne géométrique des données, et le modèle utilisant des moyennes par bootstrap surestime l'abondance moyenne.³ Le modèle de production est probablement plus juste que le modèle d'abondance moyenne

3. Pour cette raison les tableaux B.3 et C.4 donnent la médiane des densités et non la moyenne.

CHAPITRE 4. DISCUSSION

car que ce soit pour la Loire ou la Bretagne, il fait l'usage de variables complémentaires qui précisent la distribution au sein des bassins. Dans le cas de la Bretagne, la diminution de productivité pour les habitats les plus amonts est prise en compte par la fonction de lissage du **GAM** (modèle de variation spatiale en x et y) mais il convient de noter qu'un modèle avec le bassin et l'altitude avait des performances similaires (voir Annexe B). Sur la Loire, l'altitude et la géologie sont deux co-variables qui permettent de préciser la distribution des productivités au sein des bassins.

Au final nous avons choisi de calculer les mortalités sur les bassins sur la base du modèle de **production modélisée actuelle** car ce dernier donne des résultats directement comparables au scénario de production historique. Les résultats des autres scénarios sont également fournis en annexes F et G.

4.3.1.1 Comparaison des productions de smolts sur l'Allier

En 1999, Minster et Bomassi ont proposé une évaluation des surfaces potentielles de développement des juvéniles dans le bassin Allier. Cette évaluation s'est basée sur la description des faciès d'écoulement réalisée par Malavoi (1999) et de données d'expertise sur la production de ces faciès. La comparaison entre le nombre de smolts produits estimés par Minster et Bomassi et le nombre de smolts produits estimé par le modèle dans le scénario actuel modélisé indique que les effectifs estimés dans notre étude se rapprochent plus de la fourchette de production basse estimée par Minster et Bomassi. Cette fourchette basse correspondait à la multiplication des surfaces d'équivalent radiers rapides par une densité de 3.5 smolts pour 100m². La comparaison des estimations de production de smolts par ces deux méthodes (pour l'Allier, l'Alagnon, la Dore et la Sioule) abouti à une différence de moins d'1% (75 500 smolts pour Bomassi et Minster contre 76 250 pour notre étude).

4.3.1.2 Comparaison des productions de smolts sur le Scorff

Sur le Scorff, la **production moyenne** est estimée à 9 360 smolts (entre 8 573 et 10 147 smolts). La **production modélisée actuelle** est de 6 329 smolts. Ces résultats peuvent être comparés à l'effectif de smolts dévalants piégés et estimés à la station de contrôle du Moulin des Princes sur le Scorff. L'estimation du nombre de smolts dévalant est en moyenne de 10 540 sur la période 2008-2012 (entre 8 550 en 2012 et 13 800 en 2009) (Caudal, 2013) ce qui reste relativement proche de la **production moyenne** de smolts 2008-2012 issue de notre étude, mais au-dessus de la **production modélisée actuelle**. Dans le scénario de **production modélisée actuelle** les densités prédites pour l'année 2010 sont de 2.57 smolts produits pour 100 m² de surface d'ERR en amont du ruisseau de pont er bellec, et de 4.35 en aval (tableau B.3 Annexe B). Les densités médianes pour les mêmes secteurs (toutes années) sont de 3.94 et 5.01 (tableau B.3 Annexe B). Les densités moyennes par **bootstrap** sont de 5.47 (tableau 3.3). Une partie de la différence s'explique donc par le fait que l'année 2010 choisie pour la prédiction est un peu en dessous de la moyenne des densités annuelles observées (Figure B.4 Annexe B). Les surfaces d'habitat prédites pour le Scorff sont proches des références connues, donc le modèle de productivité utilisé pour les scénario de **production modélisée actuelle** et **production modélisée sans barrage** en Bretagne aurait tendance à sous-estimer la production réelle.

Il faut cependant remarquer que pour les résultats finaux de mortalité dans les turbines, le calcul du taux de mortalité à l'échelle des bassins ne serait pas sensible à ce biais, puisque c'est alors le rapport des saumons produits en amont des turbines par rapport à la production totale qui est prise en compte.

4.3.2 Conversion indice d'abondance - smolts

Les résultats des indices d'abondance de juvéniles de saumon sont exprimés en nombre de juvéniles par 5 minutes. L'estimation des densités de tacons utilisée dans le cadre de cette étude repose sur les travaux de [Prevost et Nihouarn \(1999\)](#) (Equation 2.3). Dans cette relation, le coefficient de conversion entre tacons et indices d'abondance est calculé à 0.358 avec un intervalle de confiance à 95% à [0.286-0.430]. Ces estimations de densité ont été obtenues à partir d'opération de pêche électrique (pêches complètes et indices d'abondance) menée sur des cours d'eau du Massif Armoricain en Bretagne et Basse Normandie. Les auteurs avaient noté que la relation ne devait pas être extrapolée dans des écosystèmes différents notamment sur des cours d'eau de grande taille. On pouvait donc s'interroger sur l'opportunité d'utiliser cette relation sur les cours d'eau du bassin de la Loire. Néanmoins, une étude similaire a été menée sur la Loire et a montré un coefficient directeur de régression respectivement de 0,353 sur l'Allier (CSP, non publié) et 0,333 pour la Gartempe (CSP, non publié); ainsi, le choix a été fait d'utiliser le coefficient issu des travaux de ([Prevost et Nihouarn, 1999](#)) sur l'ensemble du bassin Loire-Bretagne.

4.3.3 Stratégie d'échantillonnage en Loire

Les effectifs de smolts produits estimés dans la Sioule sont faibles, et le modèle de productivité ne prédit que des densités de l'ordre de la moitié de celles de l'Alagnon (Tableau C.3). Or habituellement ce cours d'eau est considéré comme équivalent à l'Alagnon en terme de production (Minster et Bomassi, 1999). Ce résultat faible pourrait alors provenir des résultats de pêches électriques réalisées dans ce cours d'eau. En effet, depuis 2009, le nombre de point de pêche s'est accru, à la fois pour mieux répartir les stations et être ainsi plus représentatif, mais également de façon à répondre à des interrogations plus précises (observation de frayères l'hiver précédent et validation du succès de cette reproduction). Cet échantillonnage plus important a conduit à réaliser plus de points en dehors des stations d'alevinage afin de valider la reproduction naturelle et a ainsi pu contribuer à diminuer la densité de smolts du cours d'eau (plus de points avec des indices d'abondance faibles). A l'inverse, la densité de smolts dans la Gartempe est peut-être légèrement surestimée car seules les pêches électriques non bredouilles ont été utilisées pour construire le modèle de production. Or ce cours d'eau, sur lequel une reproduction faible est observée, connaît un nombre de pêches bredouilles assez important (essentiellement sur la partie aval de l'axe là où aucun alevinage n'est pratiqué).

4.3.4 Cas de l'Aulne

Le modèle d'estimation des productions en smolts dans le scénario de [production modélisée sans barrage](#) n'inclut pas le bassin de l'Aulne où les densités actuelles sont faibles au regard des surfaces de production importantes de l'amont du bassin. En effet, le cours principal de l'Aulne présente de nombreux obstacles à la libre circulation entraînant des problèmes d'accessibilité des zones de frayères situées à l'amont du bassin. Malgré la présence de passes à poissons sur la majorité des obstacles, entre 1 et 8 des 28 seuils demeurent partiellement franchissables ou franchissables avec retard ([Dartiguelongue, 2010](#)). Les points de blocage ou de retard importants sont identifiés depuis plus de 10 ans ([Croze et al., 2002](#); [Croze, 2008b](#)) avec notamment les 3 [barrages](#) situés à l'amont immédiat de Châteaulin bloquant dès l'aval près de 40 % de la migration et au milieu de la partie canalisée, le [barrage](#) de Prat Pourric (30 % de franchissabilité). Par ailleurs, plusieurs des passes existantes sont sous dimensionnées et ne sont pas franchissables en période de hautes eaux ([Dartiguelongue, 2010](#)).

4.4 Production d'anguilles argentées

Comme pour le saumon, les résultats finaux de cette étude sont très sensibles à la répartition d'anguilles simulée par le modèle EDA2.1. Le calcul des mortalités à l'échelle de bassin prend en compte le ratio des anguilles en amont des turbines et en aval de ces dernières, or les productions d'anguilles argentées sur l'aval du bassin restent incertaines. En effet, une analyse d'EDA (version 2.0) sur un modèle de réalité simulée (CREPE), a permis de mettre en avant une des principales limites d'EDA : il est difficile d'obtenir des résultats fiables de densité par pêche électrique dans les parties aval des fleuves, car ce sont des milieux profonds sur lesquels il n'est pas possible d'appliquer des méthodes de pêche permettant une estimation fiable des densités. Or ces zones sont les plus densément peuplées car elles sont plus proches de la mer, et la distance à la mer reste le principal facteur expliquant les répartitions d'anguilles. Ainsi les abondances réelles sont mal connues, et sont peut être sous-estimées, ou surestimées dans le modèle. Par contre le modèle est probablement assez robuste quand il décrit l'absence d'anguilles sur les parties amont des bassins. A l'exception des rares zones où il y a eu du transport d'anguilles assez haut sur les bassins, les anguilles sont absentes de ces zones. La distribution des densités d'anguilles dans les bassins suit toujours une distribution exponentielle négative dans les zones où les anguilles sont amenées par voie naturelle (Ibbotson et al., 2002; Aprahamian et al., 2007; Smogor et al., 1995; Lambert, 2005). Il n'existe pas dans la littérature à ce jour de zones où on puisse faire l'hypothèse d'une distribution uniforme. Par contre il existe en Europe des zones où la grande majorité des anguilles ont été transportées en amont des ouvrages hydroélectriques (Dekker et al., 2011).

Le modèle ne décrit probablement pas très finement les variations de densité à l'échelle des bassins. Il a été calé au niveau national, et va donc décrire probablement assez bien de manière globale la des anguilles à l'échelle française mais sera beaucoup moins pertinent dans son extrapolation à l'échelle d'un bassin versant. Ainsi, au niveau des bassins, le modèle ne saurait se substituer à une expertise approfondie et locale des abondances d'anguilles.

Cependant, le modèle EDA prend également en compte les ouvrages dans le calcul de la répartition des anguilles à l'échelle des bassins. En l'absence de données fiables et disponibles à l'échelle nationale sur la hauteur des obstacles (en 2009), le modèle n'utilise à ce jour que le nombre d'obstacle comme variable explicative sur la répartition des anguilles. Cette variable -bien qu'étant un descripteur beaucoup moins sensible que la hauteur, sur les impacts anthropiques des ouvrages à la montaison- rend compte du degré d'anthropisation des bassins vis-à-vis de l'anguille et de leur perméabilité "actuelle". Ainsi, le modèle ne décrit pas quelle pourrait être la situation si les bassins devaient être restaurés pour la montaison. En l'état actuel, le modèle décrit le fait que les anguilles restent bloquées sur l'aval des fleuves fortement aménagés. Une amélioration du modèle est prévue en 2015 pour mieux prendre en compte la perméabilité des axes migratoires.

Le modèle de production sans barrages a été implémenté pour tenter de simuler l'effet d'une production sans barrage. Cette dernière peut aboutir à des densités trop importantes sur l'aval des bassins car le modèle ne prend pas en compte les effets densité - dépendants, il s'agit d'une simple simulation statistique de ce que serait la densité à une distance donnée de la mer sans ouvrages. Contrairement au saumon, la densité n'est pas contrainte sur un secteur donné par un modèle de productivité des habitats. Or, il est évident que la densité même après ouverture des barrages à la montaison resterait dans une gamme limitée par la capacité d'accueil de la rivière. La simulation reste donc très théorique, mais sert à illustrer que les productions des rivières pourraient être beaucoup plus fortes si on enlevait les obstacles à la montaison.

4.5 Calcul de la mortalité dans les turbines

Sur le jeu de données complet, permettant un calcul à l'échelle de Loire Bretagne, soit directement à partir des données collectées, soit à l'aide d'hypothèses supplémentaire (paragraphe 2.7.3), les mortalités dans les turbines sont en moyenne de 16.9% pour les turbines Kaplan et de 19.6% pour les turbines Francis chez les smolts. Chez les anguilles argentées, cette mortalité augmente à 46.1% pour les Kaplan et à 88.7% pour les Francis (Paragraphe 3.3.1).

4.5.1 Modèles de prédiction utilisés dans cette étude

L'exposition aux changements de pression (Duncan et Carlson, 2011), les cisaillements (Neitzel et al., 2004), les turbulences, les chocs (Deng et al., 2011), le broyage entre le manteau et le pourtour des pales peuvent se produire lors du passage dans les turbines et être la cause de mortalité pour les poissons (Cada, 2001; Larinier et Travade, 2002). Dans les turbines à réaction (Francis et Kaplan) les poissons peuvent entrer en collision avec les directrices (Larinier et Dartiguelongue, 1989), les parois et les directrices de la chambre du distributeur, et les pales ou les aubes de la roue. Ils peuvent aussi subir une forte baisse de pression, et être exposés à des turbulences ou des cisaillements dans le sillage des directrices ou des pales de la roue (Duncan et Carlson, 2011; Gomes et Larinier, 2008).

Les premiers modèles qui ont été développés pour expliquer les mortalités dans les turbines ont cherché à prédire la probabilité du choc avec les pales (Von Raben, 1957). Le modèle prend en compte la taille du poisson et la vitesse de passage entre les pales pour calculer la probabilité de choc sur la pale. Il suppose que le poisson doit pouvoir passer entre deux pales successives, alors que ces dernières avancent, pour éviter de les heurter. Plus la taille du poisson est grande, plus la turbine tourne vite, plus les pales sont nombreuses et plus grande est la probabilité de choc. Von Raben (1957) utilise un coefficient correcteur (taux de mutilation=0.43) pour expliquer la différence entre les résultats théoriques et observés. Le modèle de Von Raben (1957) a ensuite été complété par différents auteurs pour intégrer les résultats d'études de terrain (Montén, 1985; Solomon, 1988; Hecker et Cook, 2005; Turnpenny et al., 2000; Ferguson et al., 2008; Leonardsson, 2012) pour essayer de mieux comprendre les origines des blessures, et mieux prédire les mortalités (pour revue (Deng et al., 2011)). D'autres modèles plus récents, enfin, incorporent une composante stochastique pour l'estimation des mortalités, pour tenter d'expliquer la variabilité des taux de mortalité (Deng et al., 2011; Leonardsson, 2012). Les principales variables permettant d'expliquer les mortalités sont la vitesse de rotation, le nombre de pales et bien sûr la taille du poisson. Les modèles de probabilité de choc demandent de collecter des caractéristiques précises concernant les vitesses de rotation des turbines, et l'angle entre la vitesse absolue de l'eau à la périphérie de la turbine (elle forme un angle avec l'axe de la turbine avant d'être dirigée vers l'extérieur) et l'axe de la turbine (Deng et al., 2011). Cet angle est déterminé par l'orientation de l'extrémité inférieure des pales. Il est souvent difficile à collecter sur le terrain sur un grand jeu de données. Il apparaît cependant que dans de nombreux cas, les mortalités sont provoquées par d'autres causes que les chocs directs sur les pales, et que les chocs sur les directrices, l'effet des variations de pression (Eicher et al., 1987), et les effets de cisaillement expliquent également une grande part des mortalités dans les turbines. Ainsi dans les ouvrages de forte chute, les diminutions de pression peuvent être la cause principale de blessure, et à l'instar des chocs intervenant sur une partie des individus, elles affecteront l'ensemble des poissons (Duncan et Carlson, 2011). Néanmoins, les ouvrages de forte chute sont rares dans le bassin Loire-Bretagne.

Les modèles utilisés dans cette étude ne sont pas des modèles de probabilité de choc, mais des ajustements statistiques, calés sur des études de terrain, et qui utilisent les caractéristiques

CHAPITRE 4. DISCUSSION

nominales des turbines (vitesse de rotation, hauteur, diamètre . . .) pour tenter d'ajuster les mortalités observées (Larinier et Travade, 2002).

Chez les smolts, la formule 2.6 pour les turbines Francis, a été calée sur un jeu de 85 données. La corrélation entre valeurs observées et prédites est de $R=0.85$ (Larinier et Dartiguelongue, 1989). La formule pour les turbines Kaplan (formule 2.5, (Larinier et Dartiguelongue, 1989; Larinier et Travade, 2002)) a été développée sur un plus petit jeu de données ($N=58$) et donne une corrélation entre observées et prédites plus faible ($R=0.59$).

La taille est le principal facteur faisant varier la mortalité dans la formule appliquée aux salmonidés pour les turbines Francis (Formule 2.6, Figure I.3, Annexe I). Pour l'anguille, il n'existait pas, au moment du démarrage de l'étude, de modèle fonctionnel pour l'estimation des mortalités dans ces turbines. Ainsi, nous proposons pour le calcul des mortalités anguilles, une simple extrapolation linéaire des mortalités en fonction de la taille. L'alternative aurait été, soit d'ignorer la mortalité dans les turbines Francis (peu réaliste), soit d'appliquer une mortalité moyenne, soit encore de multiplier les mortalités obtenues dans les turbines Francis chez les smolts par un coefficient, ce que nous avons fait lors d'une première version de ce rapport. Le choix de modélisation que nous avons effectué permet au moins de prendre en compte la structure en taille des anguilles dévalantes. Les différences de mortalité entre les turbines Kaplan et les turbines Francis sont peu importantes chez les smolts, par contre les mortalités estimées dans les turbines Francis chez les anguilles argentées augmentent à près de 100 % sur les turbines de la Loire où la taille des anguilles est très importante. La mortalité dans les turbines Francis est probablement surestimée dans le cas des anciennes turbines Francis équipant des ouvrages de basse chute, car la mortalité par choc sur les aubes de la roue dépend aussi de la vitesse relative entre le poisson et l'aube (Leonardsson, 2012), et cette dernière est assez faible du fait des faibles vitesses d'entraînement et de vitesses de rotation plus réduites (Figure I.1 Annexe G).

Pour les anguilles, les formules statistiques développées par (Gomes et Larinier, 2008) sont basées sur 67 turbines Kaplan. Les pourcentages de variance expliqués par les modèles sont de 84%, 84% et 73% pour les formules 1 à 3 (formule 2.8). Les trois modèles donnent des valeurs de mortalité assez proches, et les mortalités prédites dans notre étude varient plus du fait de la structure en taille prédite au passage des différentes turbines que du fait des caractéristiques des turbines. Les tailles moyennes des anguilles prédites au niveau des ouvrages sont de l'ordre de 300 mm lorsque les ouvrages sont à moins de 50 km de la mer, 400 mm entre 50 et 100, avec 300 et 600 mm avec une structure bimodale entre 100 et 150 km, et 700 mm au delà de 150 km, ce qui correspond à la grande majorité des turbines de la Loire (Tableaux L.1 et L.2). Compte tenu de ces tailles, les mortalités calculées à l'échelle des ouvrages varient entre 10 et 50 %. Pour rappel, Gomes et Larinier (2008, p33 34) donnent des taux de mortalités entre 10 à 100 % pour une taille de 500 mm et 15 et 100% pour une taille de 700 mm. Les valeurs plus importantes (75 à 100%) de mortalité aux turbines trouvées par (Gomes et Larinier, 2008) ne sont donc pas rencontrées sur le bassin Loire Bretagne.

Un modèle déterministe de prédiction de choc comportant une part stochastique (tirages de Monte Carlo) a été mis à notre disposition à la fin de cette étude (Leonardsson, 2012). Le modèle utilise une approche en trois temps pour modéliser la mortalité des anguilles, à la fois dans les turbines Kaplan et dans les Francis. Il modélise dans un premier temps, de manière classique, la probabilité de choc avec les turbines. Il modélise ensuite une correction de cette probabilité de choc en fonction de la charge de la turbine, et enfin, il ajuste le taux de mortalité en fonction de la vitesse relative des anguilles dans les turbines. Ce modèle présente l'avantage de donner une gamme de valeur de mortalité au lieu d'une valeur déterministe. Les comparai-

4.5 CALCUL DE LA MORTALITÉ DANS LES TURBINES

sons effectuées par Gomes et Larinier (2008) sur les performances des modèle déterministes de probabilité avec différents coefficients correcteurs des probabilités de choc (Von Raben, 1957; Turnpenny et al., 2000; Hecker et Cook, 2005) montrent que ces modèles sont moins performants. Cependant, ces modèles portent sur un jeu de données qui n'a pas servi au calage, il ne faut donc pas en conclure qu'une approche déterministe est forcément à écarter pour le calcul des mortalités chez l'anguille, car le test d'un modèle en dehors du jeu de données ayant servi à son calage est toujours plus difficile. Les auteurs indiquent que certaines mortalités (par écrasement sur le manteau) ne seraient pas prises en compte dans le modèle déterministe, il en va de même pour l'influence de la hauteur qui n'est jamais prise en compte. Leonardsson (2012) indique que pour les cours d'eau Suédois où il applique son modèle, la hauteur n'est pas suffisante pour créer des problèmes de cavitations, et que cette dernière est par ailleurs structurellement dommageable aux turbines, et donc en général évitée en ajustant la charge. Le modèle de Leonardsson (2012) intègre de plus un calcul de la réduction des mortalités lorsque les vitesses relatives du poisson et de la pale diminuent, et c'est probablement aussi une composante intéressante à intégrer dans les modélisations futures.

L'utilisation du modèle de Gomes et Larinier (2008), développé pour l'anguille est toutefois préférable car il a été calé sur des turbines françaises, et sur un jeu de données plus large que le modèle de Leonardsson (2012). Par contre, pour les smolts (1) le modèle de mortalité utilisé sur les Kaplan (Larinier et Dartiguelongue, 1989) pourrait probablement être amélioré. Le modèle ne prend en compte que le nombre de pales et le diamètre et des paramètres comme la vitesse de rotation ou la hauteur de chute ne sont pas utilisés dans le calcul. Cependant, cette dernière n'est pas forcément un élément permettant de prédire les mortalités dans les turbines Kaplan (Eicher et al., 1987) alors qu'elle est corrélée avec la vitesse de rotation et la mortalité dans les turbines Francis (Eicher et al., 1987).

(2) Compte tenu de l'absence de calage de la relation entre les mortalités au stade smolt et au stade anguille dans les turbines Francis, l'application du modèle de Leonardsson (2012) aux turbines Francis devrait être envisagé dans une version future de l'étude.

Plusieurs études montrent que l'orientation variable des pales des turbines Kaplan se traduit par des mortalités plus faibles lorsque l'angle est plus ouvert et que le débit dans la turbine est maximal (Larinier et Dartiguelongue, 1989; Leonardsson, 2012; Gomes et Larinier, 2008; Ferguson et al., 2006). Les prédictions de mortalité utilisées dans ce rapport correspondent au fonctionnement de la turbine pour une ouverture supérieure à 70%. Les données de mortalité sous-estiment donc la mortalité des turbines lorsque celles-ci fonctionnent à faible ouverture (Gomes et Larinier, 2008). Toutefois chez les smolts, la modélisation plus fine de l'orientation du poisson lors de son passage au niveau de la roue, conduit à considérer que le débit de la turbine devient moins important dans le calcul de la mortalité, et ce résultat est en accord avec plusieurs observations de terrain (Deng et al., 2011).

4.5.2 Cohérence de prédictions plus larges dans les turbines Francis que dans les turbines Kaplan

La forme différente des turbines Francis et Kaplan conduit à attendre une probabilité de blessure différente entre les deux types de turbines. Dans les turbines Francis, l'eau est entraînée dans la bêche spirale, sorte de gros escargot entourant la turbine, puis passe à travers les directrices qui contrôlent le débit passant dans la roue Francis. L'eau pénètre à l'intérieur de la roue Francis, et l'axe de l'écoulement passe par le milieu des aubes de la roue. Les poissons qui passent sont exposés à des chocs dans les aubes car toute l'eau entre au départ par le pourtour de la roue à aubes. La vitesse de rotation, et donc les chocs les plus violents, interviennent à la périphérie (Figure 4.1).

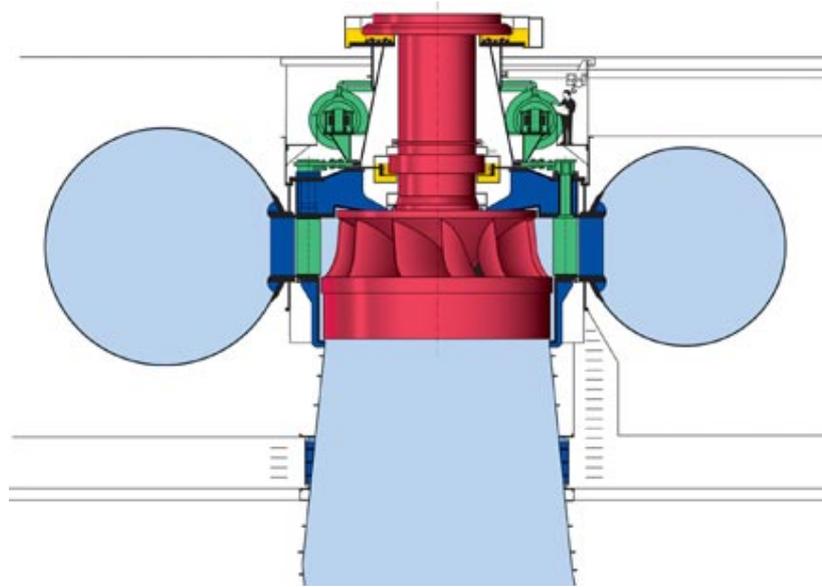


FIGURE 4.1 – Vue en coupe d’une turbine Francis, l’eau tourne dans la bache spirale (cercles bleus à l’extérieur) puis est dirigée par les directrices (en vert) vers la roue à aube (en rouge) (source Wikipédia).

L’examen des tests effectués sur des turbines Francis et Kaplan montre que la mortalité est bien corrélée avec la vitesse de rotation de la turbine chez les Francis mais moins chez les Kaplan (Eicher et al., 1987).

Dans les turbines Kaplan, la probabilité d’un choc avec la périphérie de la pale est plus faible car les poissons entrant dans la turbine par le haut du distributeur sont plus près du moyeu de la turbine et la vitesse relative de la pale par rapport aux poissons est plus faible (Larinier et Dartiguelongue, 1989; Gomes et Larinier, 2008) (Figure 4.2). Les informations permettant de comparer les mortalités des turbines Francis et Kaplan sont difficiles à synthétiser. Gomes et Larinier (2008) indiquent qu’à hauteur de chute comparable, les dommages subis lors du transit dans les turbines Francis ne sont pas plus importants que ceux subis dans les turbines Kaplan. Certaines études montrent des mortalités supérieures dans les turbines Francis lors d’expérimentations sur les mêmes rivières impliquant les deux types de turbines (Calles et Greenberg, 2009).

Il semble également valable de considérer que la mortalité va augmenter de manière linéaire avec la taille des anguilles, le calcul de la mortalité par le rapport taille du poisson/longueur libre entre pâles dans les modèles déterministes implique que la mortalité doit augmenter jusqu’à un plateau. Les mortalités constatées lors d’expérimentations de terrain sur des anguilles de grande taille sont de l’ordre de 100 % (Brown et al., 2007).

4.5 CALCUL DE LA MORTALITÉ DANS LES TURBINES

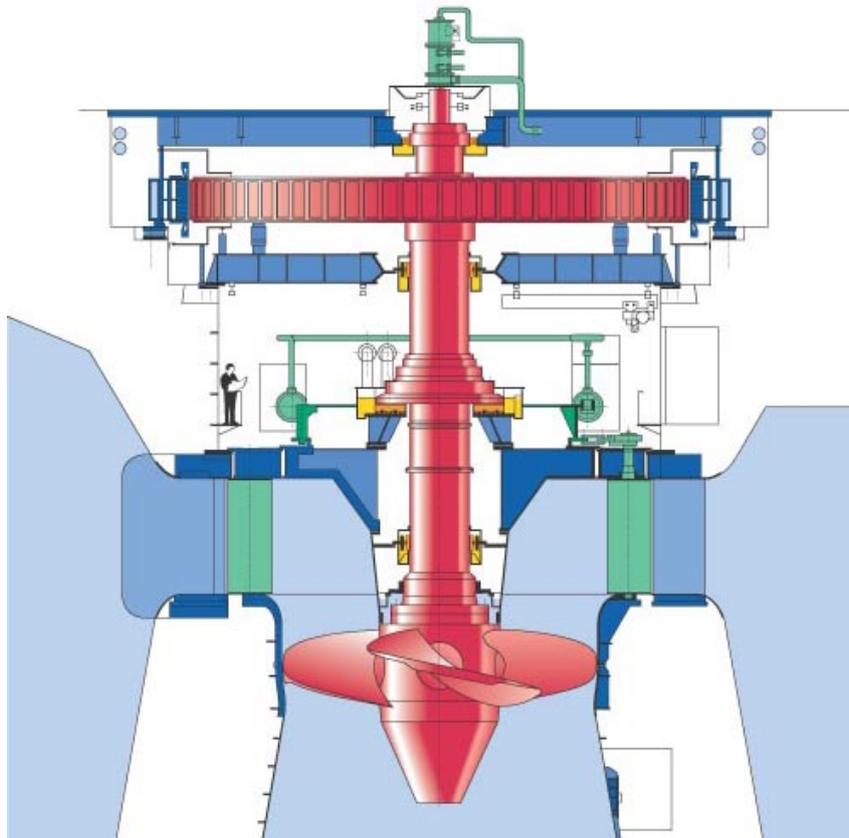


FIGURE 4.2 – Vue en coupe d'une turbine Kaplan, l'eau pénètre par le distributeur (en vert) et descend vers la roue (en rouge). Les poissons pénétrant par la partie inférieure du distributeur vont passer à l'extérieur de la roue (source Wikipédia).

4.5.3 Mortalité dans les turbines Ossberger

Dans les turbines de type **Ossberger**, l'eau est injectée sur les aubes de la roue. Comme sur les turbines **Francis**, la probabilité de choc est très grande. Dans notre rapport, les turbines **Ossberger** ont été assimilées à des turbines **Francis**. Les mortalités des turbines **Ossberger** ont été évaluées à 66 % chez *Alosa sapidissima* (Dubois et Gloss, 1993) et entre 30% et 40 % pour les smolts de 15 à 18 cm (Gloss *et al.*, 1982 in Larinier et Dartiguelongue, 1989; Knapp *et al.*, 1982). Les mortalités d'anguilles dans les turbines **Ossberger** ne sont pas connues. Compte tenu de l'influence de la taille des individus sur les mortalités, on peut supposer qu'elles sont au moins aussi fortes que dans les turbines de type **Francis**.

4.5.4 Mortalité dans les turbines Pelton

En plus des ouvrages équipés de turbines Pelton, deux ouvrages supplémentaires ont été considérés comme étant équipés de ces turbines afin de pouvoir appliquer une mortalité de 100 % aux smolts dévalant. En effet, ces deux ouvrages sont munis de conduites forcées, déviant les smolts vers le bassin du Rhône, et présentant une très grande hauteur de chute.

4.5.5 Conclusion pour les modèles de mortalité

L'identification des ouvrages s'est fait sur la base de données ROE, cette dernière a été complétée en plusieurs étapes entre 2013 et 2014 par consultation d'autorisations administratives ou visites de terrain. Le travail s'est concentré sur les parties aval du bassin où les enjeux de l'hydroélectricité vis-à-vis des poissons migrateurs étaient les plus forts. Pour autant, le recensement des ouvrages en service n'est pas encore complet. En outre, des caractéristiques de turbines suffisamment détaillées pour permettre le calcul à partir de formules complètes n'étaient disponibles que pour 45% des turbines chez les smolts et 36% chez les anguilles argentées. Pourtant dans les formules précédentes, certains paramètres, importants pour le calcul de la mortalité comme le nombre de pales (Leonardsson, 2012) ou le débit d'équipement Q_e ont fait l'objet d'une hypothèse pour le calcul (Tableaux 3.6 et 3.7). Enfin, l'estimation par modélisation donne une estimation moyenne qui peut être localement fautive car les facteurs de mortalité dépendent du site et des caractéristiques propres de la turbine et de certains facteurs supplémentaires comme l'épaisseur des pales, leur orientation, le positionnement des directrices. Il faut donc considérer le calcul de mortalité dans la turbine comme la meilleure expertise disponible à ce jour, qui à l'exception des turbines **Francis** de basse chute sera probablement sans biais, mais ne sera pas suffisamment précise pour prédire la mortalité réelle à l'échelle d'un site donné.

4.6 Calcul de la mortalité dans les ouvrages

Le franchissement d'obstacles dépend de nombreux paramètres environnementaux : débit, température, vitesse du courant, pollution, état physiologique du poisson (stress, saison, taille...) (Thorstad *et al.*, 2008). Pour la dévalaison, le franchissement de l'ouvrage par les ouvrages de décharge dépend également du débit, de la position de la prise d'eau et des exutoires (Gomes et Larinier, 2008), de la présence ou non de grilles fines et de leur espacement (Haro *et al.*, 2000). Les réponses des poissons dévalants doivent varier en fonction des sites, du stade de vie et de l'espèce. Les smolts franchiront les ouvrages préférentiellement par les exutoires de surface car ils migrent en surface en suivant les courants les plus importants (Larinier et Travade, 2002; Scruton *et al.*, 2007; Haro *et al.*, 1998). Les anguilles préféreront des exutoires de fond (Durif *et al.*, 2002; Gosset *et al.*, 2005; Marohn *et al.*, 2013; Behrmann-Godel et Eckmann, 2003).

Les anguilles montrent en général deux types de réponse, avec soit une migration directe vers

la prise d'eau et au travers de la grille, soit un comportement exploratoire pendant lequel elles vont faire la recherche d'une route alternative voire remonter vers l'amont et rester dans la rivière jusqu'au prochain coup d'eau (Brown et al., 2007; Durif et al., 2002; Behrmann-Godel et Eckmann, 2003).

L'évitement du plan de grilles ne semble toutefois n'intervenir que lorsque les vitesses de courants sont suffisamment faibles, inférieurs à 0.5 m.s^{-1} (Behrmann-Godel et Eckmann, 2003). Le franchissement d'un obstacle par la prise d'eau, même si il ne se traduit pas par une mortalité ou une blessure peut se traduire par une désorientation du poisson dans le bassin dissipateur (Ferguson et al., 2006).

L'espacement des barreaux du plan de grille et son angle sont importants pour déterminer les tailles de poissons susceptibles de passer au travers (Russon et al., 2010; Calles et al., 2013), mais un plan de grilles avec des vitesses trop importantes peut également se traduire par des mortalités supplémentaires (Calles et al., 2010; Marohn et al., 2013).

Dans une première version non publiée Jouanin et al. (2011), nous avons testé un modèle équivalent au modèle dévalpomi mais se basant sur une régression logistique pour décrire le niveau d'échappement au niveau des ouvrages en fonction du débit évacué par les déversoirs de décharge. Cette relation, basée sur l'ouvrage de Baight (Travade et al., 2010) et plus tard étendue à quatre autres ouvrages sur le Gave de Pau (Bau et al., 2013) reste assez spécifique. Nous avons choisi de considérer que l'échappement par les ouvrages de décharge se fait au *prorata* du débit. Dans tous les cas, le niveau d'équipement des ouvrages déterminera la part des poissons échappant aux turbines pour un débit donné et reste un des paramètres les plus importants pour expliquer les mortalités d'anguilles au niveau de l'ouvrage.

4.6.1 Dévalaison en fonction des débits chez les smolts

Le modèle ouvrage repose sur la modélisation de la *dévalaison* sur 5 classes de débits et l'intensité de la *dévalaison* en fonction du débit reste l'un des points incertains de notre modèle. Chez les smolts, la migration a été calculée sur cinq classes de débits correspondant aux percentiles 0-20 20-40 40-60 60-80 et 80-100% des débits journaliers de mars à mai (voir Paragraphe 2.7.5). Les smolts descendent plutôt passivement, dans la couche de surface de la rivière où la vitesse est la plus grande, et descendent en plus grand nombre par fort débit. Les variations de débit sont considérées comme l'un des facteurs déclencheur de la migration d'avalaison (McCormick et al., 1998; Jonsson, 1991). Nous avons essayé de déterminer l'intensité de la *dévalaison* des smolts en fonction du débit en utilisant les données collectées dans la station de piègeage du Scorff. Aucune relation n'a été trouvée mais le système de piègeage à la *dévalaison* ne barre qu'une partie de la rivière et son efficacité n'est pas constante (dispositif moins efficace à fort débit).

4.6.2 Dévalaison en fonction des débits chez les anguilles argentées

Le modèle de migration en fonction des débits (5 classes dans les percentiles 75 à 99) utilisé pour l'anguille se base sur les suivis du Gave de Pau (Bau et al., 2013). Or cette rivière à une hydrologie particulière, liée à un régime pluvio-nival avec des coups d'eau marqués. Bien que l'influence du débit ou du niveau d'eau sur les migrations d'anguilles est bien établie (Deelder, 1984; Lowe, 1952; Deelder, 1984; Tesch et Thorpe, 2003; Brujjs et Durif, 2009), il semble qu'en fonction des caractéristiques des rivières et des bassins versant, les conclusions divergent. Ainsi, Brujjs et al. (2003) et Winter et al. (2006) ont montré que les pics de migration correspondaient à des pics de débit sur la Meuse et Behrmann-Godel et Eckmann (2003) ont fait de même sur la Moselle. Sur la rivière Imsa (Norvège), l'augmentation des débits explique également la précocité des migrations (Vøllestad et Jonsson, 1988), bien qu'il apparaisse, notamment dans le contexte particulier des bassins versant disposant de lacs situés en amont, que la migration la plus importante des anguilles intervient lors de périodes de diminutions de dé-

bit Haraldstad et al. (1985). Dans la rivière Bann (Irlande du Nord), qui coule depuis le Lough Neagh, la capture est liée à une augmentation du niveau d'eau dans le lac (Frost, 1950) mais l'effet du débit n'est pas significatif pour expliquer l'importance de la migration annuelle (Allen et al., 2006). Les migrations sur le Girnock Burn (Ecosse), cours d'eau de petite taille (8 km) interviennent en majorité en août et en septembre (Chadwick et al., 2007) alors que les débits moyens interannuels restent faibles par rapport aux débits automnaux. L'analyse interannuelle des patrons de migration, ne met pas en évidence l'effet du débit mensuel, mais n'exclut pas la dévalaison lors de premières augmentations de débits. Dans une analyse interannuelle de la migration sur la rivière Shannon, Cullen et McCarthy (2003) ont montré que le débit expliquait bien les augmentations de capture certaines années, mais pas forcément toutes. Ainsi, dans une analyse en ACP description, le débit explique positivement les captures sur le deuxième axe factoriel, mais d'autres facteurs interviennent comme la température ou les vents dans ce système de grande taille comportant de nombreux lacs. Ce résultat ressemble à celui de la Loire, où l'analyse ne montre pas de corrélation systématique entre les captures et le débit (Durif et Elie, 2008). De même, les suivis de dévalaison réalisés sur un cours d'eau régulier comme la Bresle en Normandie, ne montrent pas de relations évidentes avec les débits. D'autres études chez *Anguilla dieffenbachii*, *Anguilla australis* montrent une relation migration-débit plus marquée (Boubée et al., 2001; Todd, 1981).

Ces résultats parfois contradictoire, peuvent peut-être s'expliquer par une dynamique différente en fonction de la longueur des rivières. Si la rivière est assez courte, la migration est déclenchée sur l'ensemble de la rivière et la migration est bien prédite par le pic de débit (Trancart et al., 2013; Marohn et al., 2013). Mais si la rivière est longue et/ou comporte des lacs, la migration peut être ralentie, les migrations d'anguilles déclenchées lors de pics de débits sur les affluents mettront plus de temps à arriver à l'aval. Il peut arriver aussi que le parcours migratoire prenne plusieurs années (Westerberg et Sjöberg, 2014), Les anguilles argentées peuvent alors revenir au stade jaune mais gardent des yeux plus larges (Dollerup et Graver, 1985). La synthèse d'une migration déclenchée à différents endroits sur le bassin est bien résumée par Haro (2003). La dynamique de la migration est probablement encore compliquée par les arrêts devant les microcentrales ou lors des périodes de faible débit. Ces résultats confirment que dans les bassins de petite taille, les départs peuvent intervenir lors des premiers pics de débits. Dans des rivières régulées par des barrages d'aduction en eau potable comme le Frémur, la régulation des débits et le remplissage des réservoirs en automne décalent les périodes de pics de débits (Acou et al., 2008), et les anguilles ne migrent que lorsque le barrage du Bois Joli déverse, parfois tard au printemps.

Il apparaît donc que la relation entre période de migration et débits dépendra fortement de l'importance du bassin en amont et aussi du niveau d'anthropisation du bassin. Or, nous calculons une relation identique sur toutes les turbines sans avoir vraiment de certitude sur la relation migration / débit.

L'exploration de l'ensemble des gammes de débits rencontrées sur une période de 30 ans permet de rendre compte d'une situation moyenne, mais également d'une situation plus défavorable (percentile 10%), et plus favorable (percentile 90%, c'est-à-dire situation de forts débits très favorables en terme de survie) détaillées dans les taux de mortalité des ouvrages (Tableaux F.4 3.9 H.3 H.1).

L'examen des résultats de mortalité en fonction du débit ne montre pas systématiquement une mortalité plus forte dans la situation de faible débit. Ceci tient au fait que dans certains cas, le débit réservé (débit minimal pour le fonctionnement des turbines) qui correspond au dixième du module interannuel s'approche du débit de quantile 10%. En outre, le modèle ne tient pas compte du débit minimum nécessaire à l'entraînement des turbines, faute de données suffisantes sur leurs caractéristiques. Les résultats pourraient être plus faibles à bas débit, si les débits d'armement étaient pris en compte.

4.6.3 Structure en taille des anguilles

Dans notre étude, nous estimons l'échappement des poissons au *pro rata* des débits, mais ceci est une modélisation très simplifiée de ce qui se passe réellement. En effet, l'efficacité du plan de grilles pour le guidage vers les exutoires de dévalaison ou les déversoirs de décharge est dépendante du site et de l'orientation du plan de grille (Bau et al., 2013; Russon et al., 2010; Calles et al., 2013; Courret et al., 2013; Raynal et al., 2013). D'autre part, Les anguilles doivent franchir le plan de grille qui en fonction de l'espacement des barreaux peut présenter un aspect répulsif pour les anguilles de taille intermédiaire, et constituer un blocage physique pour les grandes anguilles (Travade et al., 2010).

Plus les anguilles sont grandes, plus la mortalité attendue dans les turbines est élevée (Calles et al., 2010). Afin de prendre en compte ce différentiel de mortalité en fonction de la taille, nous avons réalisé une estimation de la structure en taille des anguilles. Malheureusement, la matrice de mortalité appliquée aux différents ouvrages, ne permet pas de prendre en compte des mortalités différenciées au niveau d'un ouvrage (application d'un même taux de mortalité pour un ouvrage). Aussi, pour modéliser ce différentiel de mortalité en fonction de la taille nous avons été contraint d'estimer la structure en taille des anguilles au niveau de chaque ouvrage (à un ouvrage donné toutes les anguilles ont donc la même taille), alors qu'elle devrait correspondre à la structure en taille de chaque tronçon hydrographique dont partent les anguilles. En conséquence, la taille des anguilles dévalant au niveau des ouvrages est sous estimée, particulièrement lorsque le linéaire en amont des ouvrages est important. Sur la Loire la plupart des ouvrages correspondent à la classe de distance la plus élevée (donc sur ces ouvrages les tailles des anguilles correspondent à la taille maximum), et l'effet de la sous-estimation des mortalités sera probablement faible. En Bretagne, les bassins les plus longs (Oust, Blavet) seront ceux pour lesquels le biais sera le plus grand. Cependant, puisque le nombre d'anguille partant des parties amont du bassin reste faible, ce biais peut-être considéré comme modeste. Il est entendu que dans la situation d'un bassin disposant d'un ouvrage important situé à l'aval, ce biais entraînerait une sous-estimation conséquente des mortalités.

4.7 Comparaison à d'autres simulations à l'échelle de bassins

McCleave (2001) a réalisé une simulation de l'effet des ouvrages sur la survie en dévalaison des anguilles américaines dans le bassin du Kennebec. Les taux de survie simulés au niveau du bassin sont bien plus faibles que ceux que nous avons obtenus en Loire et Bretagne, avec une survie globale de 63% des anguilles quand le taux de survie simulé des anguilles au barrage est de 90%; de 40% pour un taux de survie simulé au barrage de 80%, et de 18% pour un taux de survie simulé au barrage de 60%. Ces taux peuvent être comparés aux taux de survie des anguilles calculés en Loire 97.0%, en Bretagne 96.7% et en Vendée 98.0%. Dans l'étude de McCleave (2001), l'effet de l'enlèvement de l'ouvrage le plus impactant augmente entre 5.6 et 7.3% la survie dans le bassin. Cette valeur peut être comparée à l'enlèvement de l'ouvrage le plus impactant dans notre étude (ouvrage situé sur la Sèvre Nantaise) qui augmente de 0.56% la production du bassin de la Loire. Les résultats obtenus dans notre étude diffèrent donc sensiblement des résultats obtenus par McCleave (2001). Ce dernier indique avoir utilisé des données de la littérature pour simuler la distribution des anguilles américaines sur son bassin, il indique cependant que certaines simulations sont effectuées à production constante (1 anguille argentée par ha), et que dans certains scénarios il fait diminuer cette production de 5% par ouvrage, et fait varier le sexe-ratio des anguilles. Ces conditions sont éloignées de la distribution calée sur les rivières de France.

Sur la rivière Erne, une opération impliquant la capture et le transport d'anguilles argentées, et le suivi par une caméra acoustique sur l'aval de la rivière donne une estimation de

survie à 91% et 93% pour deux années 2010 et 2011 (McCarthy et al., 2013). La mortalité est estimée au niveau de deux ouvrages successifs avec une mortalité de l'ordre de 7% à chaque site (ouvrages équipés de turbines Kaplan). Ces résultats sont dans la gamme basse des mortalités simulées sur les ouvrages en Loire et Bretagne, mais correspondent à des mortalités faibles (10 %) telles que simulées sur des turbines de fort diamètre et de relativement faible vitesse de rotation (étude réalisée sur *Anguilla rostrata*) ((Gibson et Myers, 2002))(Figures 4.5 et 4.6).

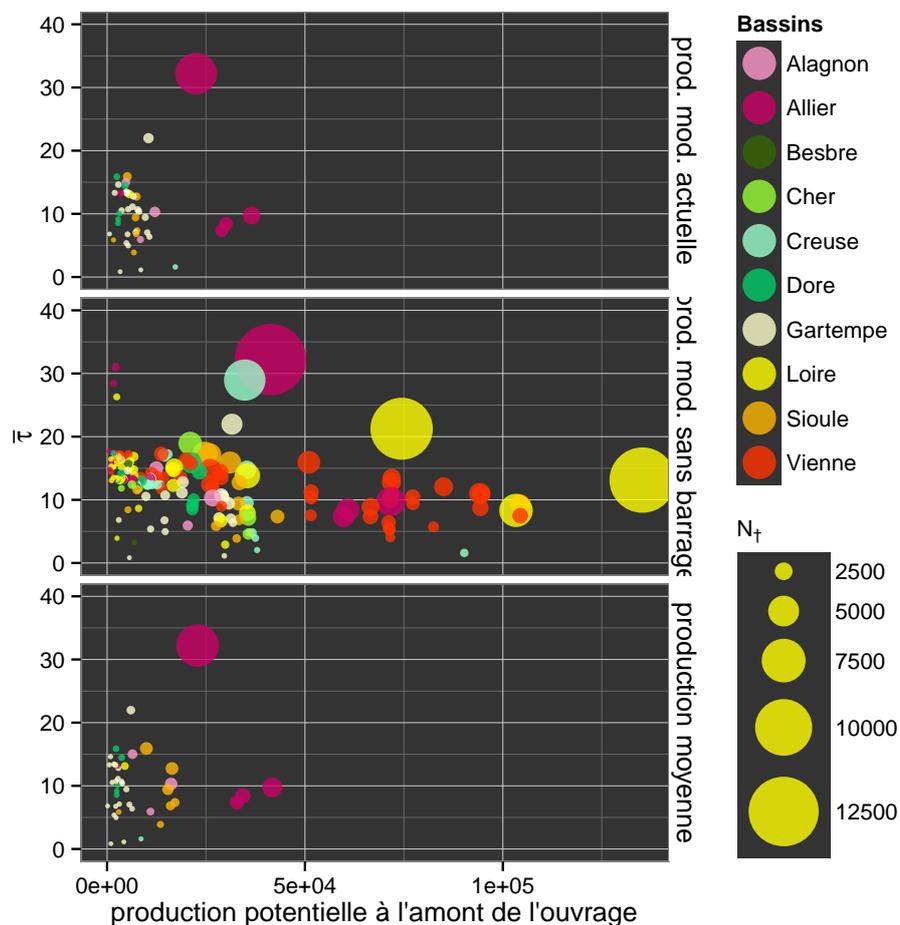


FIGURE 4.3 – Taux de mortalité τ en fonction de la production en amont de l'ouvrage, taille des points en fonction de la mortalité réelle N^+ chez le saumon sur le bassin de la Loire pour les trois scénarios de production.

Les résultats que nous avons obtenus sont conditionnés par le modèle EDA qui calcule la majeure partie de la production d'anguilles dans la zone située en aval du premier ouvrage hydroélectrique⁴ : 91.3 % en Loire, 83.2 % en Bretagne, 97.3 % en Vendée. Au contraire, les modèles de production de smolts prédisent une production beaucoup plus faible pour les parties aval des bassins, particulièrement en Loire avec seulement 15.7% des effectifs produits en aval des turbines. La situation en Bretagne est similaire pour les deux espèces (81.6% des smolts situés en aval des premières turbines).

Les résultats du modèle Sea Hope (Jouanin et al., 2011) donnaient une première estimation des mortalités entre 1 % sur la Charente et 12.5% sur la Dronne. Les bassins du Blavet, de la Mayenne et de la Vilaine avaient des mortalités respectivement de 9%, 5.2% et 2.5% contre

4. Cette zone aval correspond aux tronçons hydrographiques qui ne sont impactés par aucune turbine lors de leur parcours aval

4.7 COMPARAISON À D'AUTRES SIMULATIONS À L'ÉCHELLE DE BASSINS

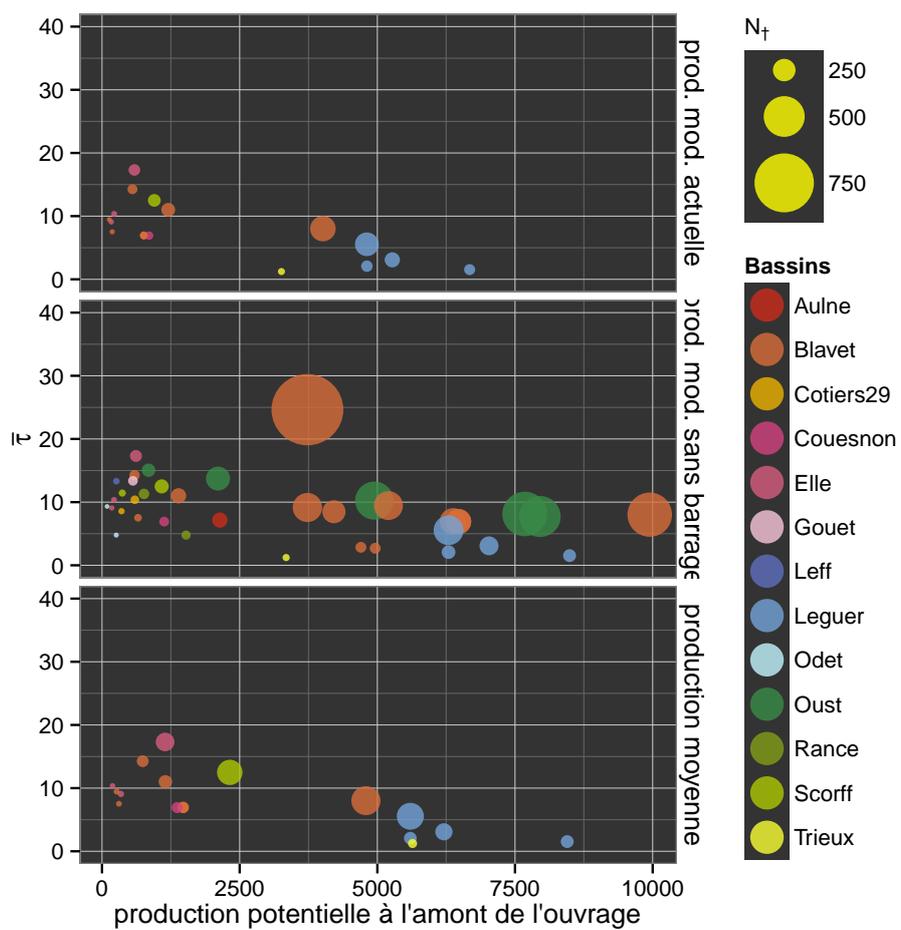


FIGURE 4.4 – Taux de mortalité τ en fonction de la production en amont de l'ouvrage, taille des points en fonction de la mortalité réelle N_+ chez le saumon sur les bassins de Bretagne pour les trois scénarios de production.

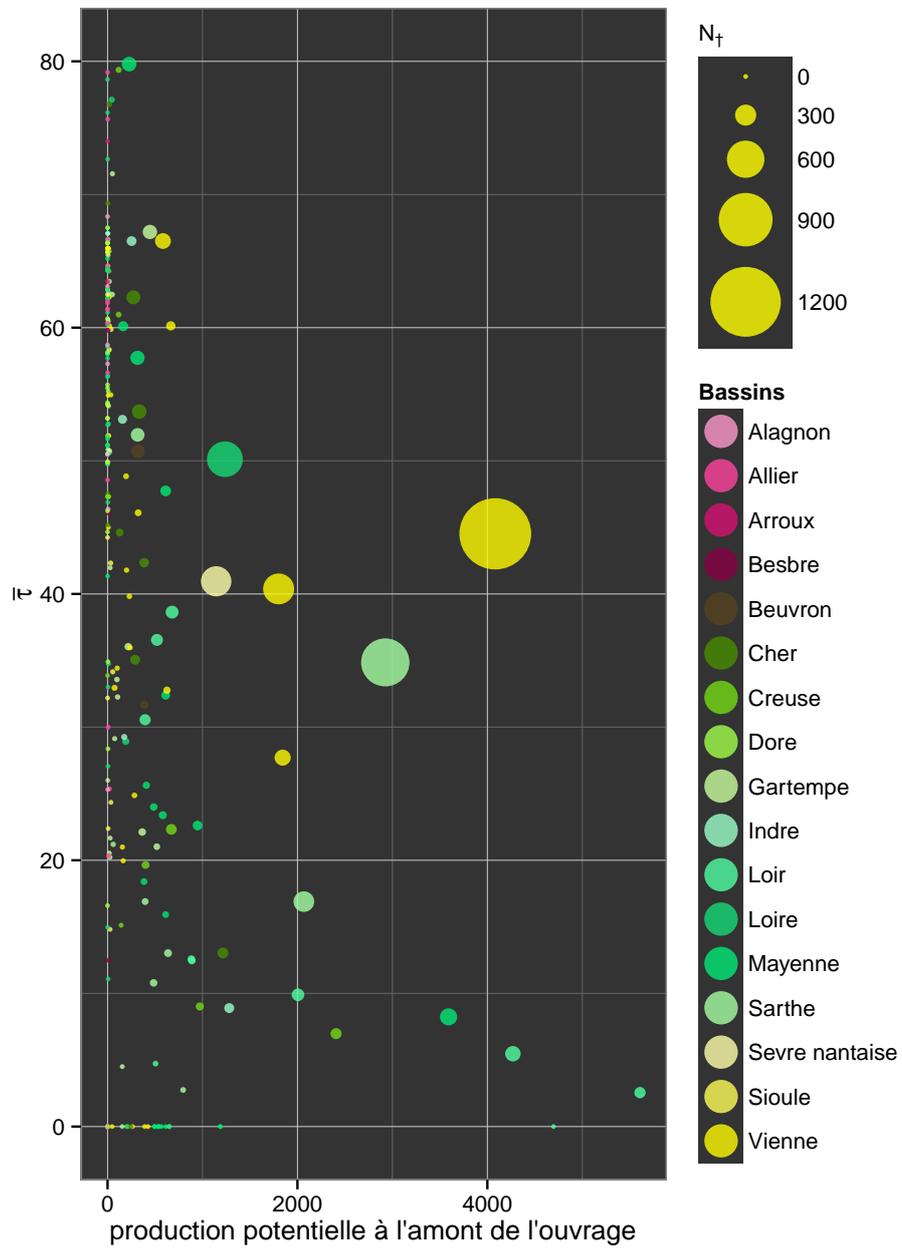


FIGURE 4.5 – Taux de mortalité τ en fonction de la production en amont de l'ouvrage, taille des points en fonction de la mortalité réelle N_{\dagger} chez l'anguille argentée sur le bassin de la Loire pour le scénario de production actuelle.

4.7 COMPARAISON À D'AUTRES SIMULATIONS À L'ÉCHELLE DE BASSINS

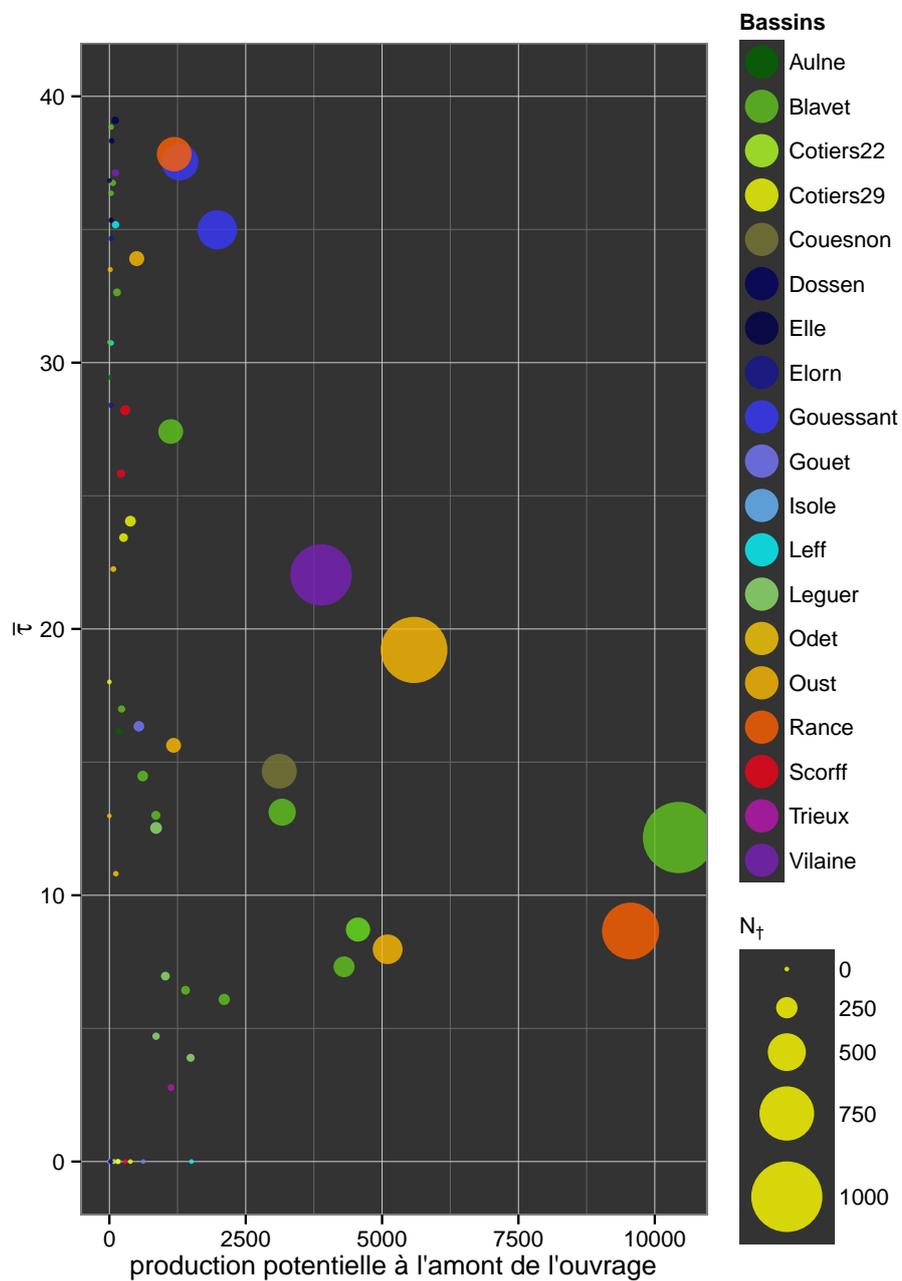


FIGURE 4.6 – Taux de mortalité τ en fonction de la production en amont de l'ouvrage, taille des points en fonction de la mortalité réelle N_{\dagger} chez l'anguille sur les bassins de Bretagne pour le scénario de production actuelle.

19% 13% et 2.8% dans cette étude (Annexe M, Figures M.8 M.6 et M.10). Le même modèle de distribution d'anguilles (EDA) et un modèle proche de répartition de débit a été utilisé dans les deux études, mais les mortalités dans les turbines Francis n'avaient pas été calculées dans Sea Hope. La principale différence vient probablement du fait que les renseignements concernant les caractéristiques des ouvrages ont été complétés.

4.8 Impact des pertes d'habitats

Les productions actuelles de smolts ne représenteraient que la moitié des productions accessibles au début du XVII^e siècle en Bretagne et seulement un sixième de ces dernières sur le bassin de la Loire. La situation relativement meilleure de la Bretagne s'explique par la faible longueur des cours d'eau mais aussi par l'importance des efforts effectués dans le cadre des différents programmes poissons migrateurs. Certains secteurs comme l'Oust, ou dans une moindre mesure l'Aulne montrent la difficulté de maintenir une population dans des rivières canalisées.

Dans une hypothèse de réouverture des axes aujourd'hui condamnés à la montaison, les bassins versant de la Vienne amont, de la Gartempe et de la Creuse amont seraient les zones où les mortalités cumulées à la dévalaison seraient les plus élevées (Figure 3.6). Ainsi, si des projets de réouverture sur ces axes étaient envisagés, il serait primordial que ceux-ci intègrent des solutions efficaces afin de garantir la dévalaison des poissons dans les meilleures conditions.

4.9 Impact des mortalités sur les populations de poissons

L'analyse de la dynamique de population du saumon sur le bassin de la Loire, conclut sur l'importance de minimiser toutes les pressions entre le stade tacon 0+ et l'adulte de retour (Dauphin et Prevost, 2012). Cette étude montre que l'obtention d'une population de saumon viable dans l'Allier passe par l'amélioration du taux de survie des juvéniles aux géniteurs. En effet, ce taux de transition s'est effondré à la fin des années 80 et pour obtenir une population viable (au moins 500 individus par an sans alevinage) il est nécessaire de remonter à la moitié du taux de transition observé avant l'effondrement. Ainsi, tous les efforts doivent porter sur la réduction des mortalités entre ces deux stades. Compte tenu des résultats obtenus dans cette étude, il est évident que les mortalités à la dévalaison sont une des causes de la diminution du taux de transition. En priorisant les ouvrages les plus impactants, cette étude donne des clés pour les gestionnaires de cette espèce, afin de mettre en œuvre les actions qui sont nécessaires pour retrouver une population viable. Bien sûr, d'autres pressions existent (survie en mer, pêche en mer, prédation, etc.) et doivent être également limitées.

Les dix premiers ouvrages les plus impactants de la Loire sont responsables, dans la situation actuelle, de 64% de la mortalité totale dans le scénario de production modélisée actuelle. Leur aménagement correspondrait à un gain de 18 063 smolts.

De même en Bretagne, les dix ouvrages les plus impactants sont responsables de 85% de la mortalité estimée pour l'ensemble des ouvrages. Leur aménagement permettrait de gagner un effectif de 1 395 smolts. Pour l'anguille, l'aménagement des dix ouvrages les plus impactants permettrait également un gain non négligeable en terme de réduction du pourcentage de mortalité dû aux turbines (49 % sur la Loire et 65 % en Bretagne), avec un gain en nombre d'anguilles argentées qui serait plus important sur la Bretagne (6 217) que sur la Loire (4 675).

L'importance relative des populations d'anguilles sur l'aval des bassins, bien qu'incertaine, restera probablement dans l'ordre de grandeur où la majorité des anguilles sont à l'aval des fleuves (4.4). Cette répartition aval explique les mortalités faibles retrouvées à l'échelle du bassin dans cette étude (puisque peu d'anguilles sont situées en amont des turbines). Cependant,

4.9 IMPACT DES MORTALITÉS SUR LES POPULATIONS DE POISSONS

la structure en taille des anguilles, avec une proportion plus grande de grandes femelles vers l'amont du bassin, pourrait se traduire par une importance relative plus grande de l'amont des bassins si le calcul était effectué en terme de dépose d'oeufs (McCleave, 2001). En effet, la fécondité des femelles augmente de manière exponentielle avec la taille (Barbin et McCleave, 1997; Boëtius et Boëtius, 1980; Aoyama et Miller, 2003), et ces dernières sont également jugées plus aptes à effectuer la migration transocéanique (Durif et al., 2006).

Dans cette étude, nous sous-estimons probablement les impacts des turbines, puisque les formules utilisées permettent uniquement d'estimer les mortalités directes et non pas les mortalités indirectes survenant par blessure lors du transit dans les turbines. Cette sous-estimation est d'autant plus grande que les espèces cibles sont des poissons grands migrateurs, qui doivent parcourir plusieurs milliers de kilomètres pour aller se reproduire ou grandir en mer. Le succès reproducteur des anguilles dévalantes, et la survie des smolts en mer, dépendent ainsi très certainement de la bonne condition dans laquelle se trouve les individus ; des blessures mêmes mineures peuvent avoir des conséquences très importantes.

5.1 Autres stades

Notre étude se limite aux mortalités des turbines en **dévalaison** chez les **anguilles argentées** et les smolts. Cependant, les anguilles jaunes peuvent montrer des périodes d'activité migratoire avant le stade argentée à la même période que la migration d'**anguilles argentées** (Hain, 1975). La mortalité des anguilles est donc certainement sous-estimée par le modèle.

De même chez le saumon, il serait utile d'inclure des estimations de la mortalité des saumons adultes dévalants après la reproduction, ou même avant la reproduction lors de la recherche active de frayères (Bach et al., 2011a). Le suivi de la dynamique de la population de saumon mené sur le Scorff montre que le nombre de saumons de second retour a augmenté depuis un nombre très faible avant 2003 (1-4) à un nombre compris entre (3-18). Ceci signifie que si le nombre de ravalés est faible, il n'est peut être pas négligeable au moment du départ du bassin (Caudal, 2013) et présente une importance biologique non négligeable (Calles et Greenberg, 2009) notamment car les femelles saumons de second voire de troisième retour produisent plus d'oeufs. La taille de ces saumons étant beaucoup plus importantes (pouvant dépasser les 1 mètre en Loire), et étant un des paramètres les plus importants pour expliquer les mortalités dans les turbines, les mortalités pour ces individus doivent être considérées comme bien plus grandes que celles estimées pour les smolts (devraient plus se rapprocher des mortalités décrites pour l'anguille).

5.2 Autres migrateurs

En l'état actuel des connaissances sur la **dévalaison** des autres poissons grands migrateurs **amphihalins** (aloses et lamproies), nous pensons qu'il n'est pas réaliste d'entreprendre un travail similaire sur ces espèces, en effet, la façon dont ces juvéniles dévalent n'est pas assez bien connue pour modéliser l'échappement au niveau des ouvrages. Tout ce que nous pouvons dire, en observant la taille des individus lors de la **dévalaison** est que les mortalités dans les turbines pour l'aloise devraient être plus faibles que celles observées pour le saumon (taille lors de la **dévalaison** entre 8 et 9cm). En outre, les zones de production des alosons se répartissent plus en aval que les zones de reproduction du saumon, de telle sorte que la plus grande partie des flux de dévalaison d'alosons devrait échapper à toute mortalité (puisqu'en aval des premières turbines). Toutefois, si les connaissances le permettent, l'impact des turbines mériterait d'être également examiné sur les aloses, dans la mesure où cette espèce est réputée sensible aux chocs et qu'elle dévale à une période où les débits sont généralement faibles ; c'est-à-dire dans des conditions qui augmentent le risque de passage dans les turbines et qui réduit les chances de survie par surverse sur les déversoirs ou dans les organes évacuateurs.

En revanche, pour la lamproie marine qui atteint environ 15cm lors de la migration d'avalaison, les mortalités dans les turbines devraient se rapprocher de celles observées pour le saumon.

5.3 Autres impacts à la dévalaison

La modélisation réalisée dans le cadre de ce projet ne prend en compte que les mortalités dans les turbines, sans considérer les autres formes d'impacts à dévalaison que génèrent les ouvrages. Aussi, l'approche pourrait être complétée en examinant :

- les pertes d'individus à travers les retenues de barrage (grands ouvrages hydroélectriques, réservoirs AEP) qui peuvent être au moins aussi conséquentes que les pertes dans les tur-

bines (d'après les suivis réalisés sur les smolts dans la retenue du barrage Poutès (Bach et al., 2007) et sur les anguilles d'avalaison dans la retenue de Bois-Joli sur le Frémur)

- le risque de mortalités au pied des déversoirs problématiques (hauteur de chute importante et/ou enrochements en pied de chute) ou à l'intérieur d'évacuateurs inadaptés (encombrement, chocs ...)
- le risque de mortalités dans les ouvrages de prises d'eau latérales (centrale thermique de Cordemais sur l'estuaire de la Loire, prise d'eau des centrales nucléaires de la Loire moyenne...).

Les limites des connaissances actuelles sur les comportements migratoires des différentes espèces ne permettent pas d'envisager de quantifier pour l'instant ces impacts supplémentaires. Toutefois, les données (volume de retenue, hauteur de chute, débit prélevé, débit moyen) disponibles sur les plus grands ouvrages (grands barrages hydroélectriques ou AEP) devraient fournir des indicateurs de pression (chute, temps de séjour, débit prélevé/module ...) permettant de cartographier et de hiérarchiser spécifiquement ces formes d'impacts non prises en compte.

5.4 Autres bassins

Les modèles développés dans le cadre de ce projet s'appuient principalement sur des bases de données, des protocoles et des outils nationaux (RHT, EDA, banque hydro, ERR, ROE, dictionnaire ICE, indice d'abondance EPA...). L'important travail de conception et de mise au point réalisé dans le bassin Loire-Bretagne peut donc être valorisé en étendant l'utilisation du modèle à d'autres bassins, jusqu'au niveau national. Pour le saumon, il faudra toutefois adapter certaines composantes de modélisation au contexte de chaque bassin, notamment pour ce qui concerne la productivité des habitats, comme cela a été fait à l'intérieur du bassin Loire-Bretagne, en différenciant les cours d'eau bretons des grands axes du bassin de la Loire. Pour l'anguille, nos résultats sont bien adaptés au besoin d'évaluation, de gestion et de rapportage au niveau national. En effet, le projet dévalpomi s'appuie sur le modèle EDA pour estimer la production d'anguilles de chaque tronçon du réseau hydrographique français. Seule la relation de répartition du flux d'anguilles argentées en fonction des gammes de débits classés est à adapter suivant les différents contextes hydro-éco-régionaux des bassins. L'élargissement de la modélisation à l'ensemble du territoire français nécessite toutefois la généralisation de l'effort de complétude et de mise en qualité des données sur la connaissance des ouvrages hydroélectriques en services, en complétant les informations prioritaires du ROE et les données ICE propre aux ouvrages hydroélectriques. Globalement, parmi l'ensemble des obstacles référencés dans le ROE, il s'agit d'ouvrages importants et singuliers en terme de pression et d'usage qui demandent un effort particulier d'acquisition de données (une minorité d'ouvrage techniquement et administrativement caractérisés au titre de l'hydroélectricité parmi tous ceux du ROE).

5.5 Données

Les données écrites dans ce rapport (cartes, tableaux et de nombreux chiffres du texte) sont générées dynamiquement en accord avec le concept de "recherche reproductible" et d'intégration continue depuis les données vers le résultat du modèle (Gentleman et Temple Lang, 2007; Leisch, 2005). Ceci signifie que des versions de mises à jour pourront être éditées dans des versions futures. Il sera en effet nécessaire de consolider les données, en particulier :

- le recensement exhaustif des ouvrages hydroélectriques en service
- les débits de fonctionnement des turbines

- les types de turbines
- les caractéristiques des machines (hauteur de chute exploitée diamètre, vitesse de rotation, nombre de pales ou d'aubes)
- les caractéristiques des dispositifs de contournement (grilles fines et espacement entre barreaux, exutoires de dévalaison, débit d'exutoire).

5.6 Evaluation des mesures de gestion

Le règlement européen sur l'anguille 1100/2007 demandait aux états membres d'évaluer les niveaux de mortalité effectifs des différents impacts affectant l'anguille à l'échelle des UGA. Une première estimation de la mortalité dans les turbines a été produite lors du premier rapportage national. Les rapports qui doivent être effectués auprès de la commission européenne tous les trois ans doivent également évaluer l'effet des mesures de gestion. Notre rapport se limite à une évaluation des mortalités existantes, il serait donc intéressant de produire une évaluation quantitative de l'effet des mesures de gestion engagées à l'échelle de Loire Bretagne : quel gain de mortalité a été amené par l'équipement en grilles fines, les mesures de gestion des débits et l'implantation de turbines ichtyocompatibles ?

5.7 Améliorations du modèle

Les modifications suivantes sont envisagées :

- Intégration dans le modèle de mortalité à l'ouvrage des mortalités au niveau des déversoirs de décharge en fonction de la hauteur chute.
- Intégration des mortalités dans les prises d'eau et dans les retenues d'alimentation en eau potable. (Van Keeken et al., 2013; van Esch et al., 2014; Buysse et al., 2013).

5.7 AMÉLIORATIONS DU MODÈLE

- Acou, A., Laffaille, P., Legault, A., et Feunteun, E. 2008. Migration pattern of silver eel (*anguilla anguilla*, l.) in an obstructed river system. *Ecology of Freshwater Fish* **17**(3) : 432–442.
- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension the maximum likelihood principle. Rapport technique, Institute of Statistical Mathematics.
- Allen, M., Rosell, R., et Evans, D. 2006. Predicting catches for the lough neagh (northern ireland) eel fishery based on stock inputs, effort and environmental variables. *Fisheries management and ecology* **13**(4) : 251–260.
- Aoyama, J. et Miller, M.J. 2003. The silver eel stage. In *Eel biology*, édité par K. Aida, K. Tsukamoto, et K. Yamauchi, Springer, Tokyo, pp. 107–117.
- Aprahamian, M.W., Walker, A.M., Williams, B., Bark, A., et Knights, B. 2007. On the application of models of european eel (*anguilla anguilla*) production and escapement to the development of eel management plans : the river severn. *ICES Journal of Marine Science* **64** : 1–11.
- Bach, J., Baisez, A., Léon, C., et Parouty, T. 2011a. Suivi de la migration du saumon sur lallier par radiopistage entre vichy et les zones de frayères en 2009. Rapport technique, LOGRAMI.
- Bach, J., Lelièvre, M., et Trotet, M. 2007. Expertise du système de dévalaison de naussac 2 et évaluation globale des conditions de dévalaison des saumons sur l’allier. Rapport technique, LOGRAMI.
- Bach, J., Parouty, T., Léon, C., Sénécal, A., Portafaix, P., Fargeix, S., et Baisez, A. 2011b. rapport d’activité 2011. Rapport technique, LOGRAMI.
- Bachelier, R. 1963. L’histoire du saumon en loire. *Bulletin Français de Pisciculture* (211) : 4970.
- Baglinière, J.L. et Champigneulle, A. 1982. Densité des populations de truite commune (*salmo trutta* l.) et de juvéniles de saumon atlantique (*salmo salar* l.) sur le cours principal du scorff (bretagne) : préférendums physiques et variations annuelles (1976-1980). *Acta oecologica : oecologia applicata* .
- Baran, P. 2000. Réintroduction du saumon atlantique (*salmo salar* l.) dans le bassin de l’Arroux : suivi des déversements de 1998 et 1999. Rapport CSP LOGRAMI .
- Barbin, G. et McCleave, J. 1997. Fecundity of the american eel *anguilla rostrata* at 45° n in maine, u.s.a. *Journal of Fish Biology* **51** : 840–847.
- Bau, F., Gomes, P., Drouineau, H., Baran, P., Larinier, M., Alric, A., Travade, F., et De Oliveira, E. 2013. Anguille et ouvrages : migration de dévalaison. suivi par radiopistage de la dévalaison de l’anguille argentée sur le gave de pau au niveau des ouvrages hydroélectriques d’artix, biron, sapso, castetarbe, baigts et puyoo (2007-2010). rapport de synthèse. Rapport technique, CEMAGREF.
- Behrmann-Godel, J. et Eckmann, R. 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver european eel (*anguilla anguilla* l.) in the river mosel, germany. *Ecology of Freshwater Fish* **12**(3) : 196–202.

- Bosc, S. et Carry, L. 1999. Estimation des potentialités en juvéniles et géniteurs de saumon sur la souvigne et la maronne à l'aval de l'aménagement de haute-fage. représentation cartographique. Rapport MI. GA. DO (D2-99).
- Boëtius, I. et Boëtius, J. 1980. Experimental maturation of female silver eels. *anguilla anguilla*. estimates of fecundity and energy reserves for migration and spawning. *Dana* **1** : 1 :28.
- Boubée, J., Mitchell, J., Chisnall, B., West, D., Bowman, E., et Haro, A. 2001. Factors regulating the downstream migration of mature eels (*anguilla* spp.) at anihenua dam, bay of plenty, new zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **35** : 121–134.
- Briand, C. 2013. stacomirtools : stacom ODBC connection class. R package version 0.3.
- Briand, C., Fatin, D., Fontenelle, G., et Feunteun, E. 2006. Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (vilaine river, southern brittany). *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture* **378** : 67 :86.
- Brown, L., Boubée, J., et Haro, A. 2007. Behaviour and fate of downstream migrating eels at hydroelectric power station intakes. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Ecohydraulics*.
- Bruijs, C. et Durif, C.M. 2009. Chapter 4. silver eel migration and behaviour. In *Spawning Migration of the European Eel*, G. van den Thillart et al. (eds.), pp. 65–95.
- Bruijs, M.C.M., Polman, H.J.G., Van Aerssen, G., Hadderigh, R.H., Winter, H.V., Deerenberg, C., Jansen, H.M., Schwevers, U., Adam, B., et Dumont, U. 2003. Management of silver eel : Human impact on downstream migrating eel in the river meuse. Rapport technique.
- Buysse, D., Mouton, A.M., Stevens, M., den Neucker, T., et Coeck, J. 2013. Mortality of european eel after downstream migration through two types of pumping stations. *Fisheries Management and Ecology* **21**(1) : 13–21.
- Cada, G.F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries* **26**(9) : 14–23.
- Calles, O. et Greenberg, L. 2009. Connectivity is a two-way street-the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River research and applications* **25**(10) : 1268–1286.
- Calles, O., Karlsson, S., Vezza, P., Comoglio, C., et Tielman, J. 2013. Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology* **58**(10) : 2168–2179.
- Calles, O., Olsson, I.C., Comoglio, C., Kemp, P.S., Blunden, L., Schmitz, M., et Greenberg, L.A. 2010. Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology* **55**(10) : 2167–2180.
- Canal, J., Laffaille, P., Bach, J., Parouty, T., Léon, C., Sénécal, A., Portafaix, P., Rivard, Q., Barault, A., et Baisez, A. 2013. Front de colonisation de l'anguille européenne en loire, année 2013. Rapport technique, LOGRAMI.
- Caudal, A. 2013. Bilan du suivi du stock de saumon sur le scorff : synthèse 1994-2012. Rapport technique, FDPPMA 56, Vannes.
- CETMEF 2012. Microcentrales hydroélectriques-note de synthèse. Rapport technique, CETMEF.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chadwick, S., Knights, B., Thorley, J., et Bark, A. 2007. A long term study of population characteristics and downstream migrations of the european eel *anguilla anguilla* (l.) and the effects of a migration barrier in the girnock burn, north-east scotland. *Journal of Fish Biology* **70** : 1535–1553.
- Cohendet, F. 1993. Le saumon de l'Allier : son histoire, sa vie, son devenir. Compagnie Générale des Eaux, Association Internationale de Défense du Saumon Atlantique.
- Cosyns, A., Sénécal, A., et Baisez, A. 2012. Etude des potentialités d'accueil de la gartempe pour le saumon atlantique. Rapport technique, LOGRAMI.
- Courret, D., Larinier, M., David, L., Chatellier, L., et Raynal, S. 2013. Conception et dimensionnement des prises d'eau ichtyocompatibles. CIPMS-IKSMS, Trèves, Germany.
- Croze, O. 2008a. Impact des seuils et barrages sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) : caractérisation et modélisation des processus de franchissement. thèse de doctorat (Ph.D.), Université de toulouse : Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT.
- Croze, O. 2008b. The impact of the channeled part of the aulne river (france) on the upstream migration of returning adult atlantic salmon as determined by radio-tracking. American Fisheries Society.
- Croze, O., Senecal, A., et Woillez, M. 2002. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur l'aulne : campagne 2000. Rapport technique RA03.01 pour FDAAPPMA29, GHAAPPE.
- Cullen, P. et McCarthy, T.K. 2003. Hydrometric and meteorological factors affecting the seaward migration of silver eels (*anguilla anguilla*, l.) in the lower river shannon. *Environmental Biology of Fishes* **67**(4) : 349 :357.
- Dahl, D. 2013. xtable : Export tables to LaTeX or HTML. R package version 1.7-1.
- Dartiguelongue, J. 2010. Bilan des études et actions de restauration du saumon atlantique sur le bassin de l'aulne. Rapport technique, SCEA.
- Dauphin, G. et Prevost, E. 2012. Viability analysis of the natural population of atlantic salmon (*salmo salar* l.) in the allier catchment. Rapport technique, INRA.
- Deelder, C.L. 1984. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Dekker, W., Wickström, H., et Andersson, J. 2011. Status of the eel stock in sweden in 2011. Rapport technique.
- Deng, Z., Carlson, T.J., Dauble, D.D., et Ploskey, G.R. 2011. Fish passage assessment of an advanced hydropower turbine and conventional turbine using blade-strike modeling. *Energies* **4**(1) : 57–67.
- Dollerup, J. et Graver, C.M. 1985. Repeated induction of testicular maturation and spermiation, alternating with periods of feeding and growth in silver eels, *anguilla anguilla* (l.). *Dana* **4** : 19–39.
- Dubois, R.B. et Gloss, S.P. 1993. Mortality of juvenile american shad and striped bass passed through ossberger crossflow turbines at a small-scale hydroelectric site. *North American Journal of Fisheries Management* **13**(1) : 178–185.

- Duncan, J.P. et Carlson, T.J. 2011. Characterization of fish passage conditions through a francis turbine, spillway, and regulating outlet at detroit dam, oregon, using sensor fish, 2009. Rapport technique, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).
- Durif, C. et Elie, P. 2008. Predicting downstream migration of silver eels in a large river catchment based on commercial fishery data. *Fisheries Management and Ecology* **15** : 127–137.
- Durif, C., Gosset, C., Travade, F., et Elie, p. 2002. Behavioral study of downstream migrating eels (*anguilla anguilla*) using radio tracking devices at a small hydroelectric power plant. *American fisheries symposium* .
- Durif, C.M., Dufour, S., et Elie, P. 2006. Impact of silvering stage, age, body size and condition on reproductive potential of the european eel. *Marine Ecology-Progress Series-* **327** : 171.
- Efron, B. et Tibshirani, R.J. 1994. *An Introduction to the Bootstrap*. CRC Press.
- Eicher, G.J., Bell, M.C., Campbell, C.J., Craven, R.E., Wert, M.A., et others 1987. Turbine-related fish mortality : review and evaluation of studies .
- van Esch, B.P.M., Spierts, I.L.Y., et Tierney, K. 2014. Validation of a model to predict fish passage mortality in pumping stations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **71**(999) : 1–14.
- Ferguson, J.W., Absolon, R.F., Carlson, T.J., et Sandford, B.P. 2006. Evidence of delayed mortality on juvenile pacific salmon passing through turbines at columbia river dams. *Transactions of the American Fisheries Society* **135**(1) : 139–150.
- Ferguson, J.W., Ploskey, G.R., Leonardsson, K., Zabel, R.W., et Lundqvist, H. 2008. Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **65**(8) : 1568–1585.
- Feunteun, E., Laffaille, P., Robinet, T., Briand, C., Baisez, A., Olivier, J.M., et Acou, A. 2003. A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels : Toward a general theory. In *Eel biology*, édité par K. Aida, K. Tsukamoto, et K. Yamauchi, Springer, Tokyo, pp. 181–190.
- Fontaine, Y. 1994. L'argenture de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture* **335** : 171–185.
- Forget, G., Nevoux, M., Richard, A., Marchand, F., et Baglinière, J.L. 2014. Estimation des capacités de production en saumon de la sélune après l'arasement des deux barrages. Rapport technique, Pôle de transfert ONEMA-INRA GEST'AQUA.
- Fox, J. et Weisberg, S. 2011. *An R Companion to Applied Regression*. Sage, second edition.
- Frost, W. 1950. The eel fisheries of the river bann, northern ireland, and observations on the age of the silver eels. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* **16** : 358–383.
- Gentleman, R. et Temple Lang, D. 2007. Statistical analyses and reproducible research. *Journal of Computational and Graphical Statistics* **16**(1) : 1–23.
- Gibson, A.J.F. et Myers, R.A. 2002. A logistic regression model for estimating turbine mortality at hydroelectric generating stations. *Transactions of the American Fisheries Society* **131**(4) : 623–633.
- Gomes, P. et Larinier, M. 2008. Dommages subis par les anguilles lors de leur passage au travers des turbines kaplan. Rapport technique, Pole Ecohydraulique - ONEMA - IMFT.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gosset, C., Travade, F., Durif, C., Rives, J., et Elie, P. 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications* 21(10) : 1095–1105.
- Hain, J. 1975. The behaviour of migratory eels, *anguilla rostrata*, in response to current, salinity and lunar period. *Helgoländer wiss. Meeresunters* 27 : 211–233.
- Hansen, L., Jonsson, N., et Jonsson, B. 1995. Factors affecting upstream and downstream migration in anadromous european salmonids and catadromous eel. In *Copenhagen-Denmark ICES*. p. 26 pp.
- Haraldstad, O., Voellestad, L., et Jonsson, B. 1985. Descent of european silver eel, *anguilla anguilla* l., in a norwegian watercourse. *Journal of fish biology* 26 : 37–41.
- Haro, A., Castro-Santos, T., et Boubée, J. 2000. Behaviour and passage of siver phase american eels, *anguilla rostrata* (lesueur), at a small hydroelectric facility. *Dana* 12 : 33–42.
- Haro, A. 2003. Downstream migration of silver-phase anguillid eels. In *Eel Biology*, Springer, pp. 215–222.
- Haro, A., Odeh, M., Noreika, J., et Castro-Santos, T. 1998. Effect of water acceleration on downstream migratory behavior and passage of atlantic salmon smolts and juvenile american shad at surface bypasses. *Transactions of the American Fisheries Society* 127(1) : 118–127.
- Hastie, T.J. et Tibshirani, R.J. 1990. *Generalized additive models*, volume 43. CRC Press.
- Hastie, T. 2008. *GAM generalized additive models*. R package version 1(2).
- Hecker, G.E. et Cook, T.C. 2005. Development and evaluation of a new helical fish-friendly hydroturbine. *Journal of hydraulic engineering* 131(10) : 835–844.
- Heland, M. et Dumas, J. 1994. chapter *Ecologie et comportement des juvéniles*.
- Hlavac, M. 2014. *Stargazer : latex/html code and ascii text for well-formatted regression and summary statistics tables*. Harvard University, Cambridge, USA .
- Ibbotson, A., Smith, J., Scarlett, P., et Aprahamian, M. 2002. Colonisation of freshwater habitat by the european eel *anguilla anguilla*. *Freshwater Biology* 47 : 1696–1706. Negative exponential model=diffusion of particles account for 19 to 90% of the variation in eel density for quantitative data (18 UK rivers) Freshwater colonisation is a two phase dispersion. Phase 1 is a rapid dispersion upstream driven by density at the point source. = Waveform for migration. Phase to = dispersion= yellow eel= random dispersion of particules.
- ICES 2013. The report of the 2013 session of the joint ICES/EIFAC working group on eels. Rapport technique, ICES CM 2013/ACOM :18, 1822 March 2013Sukarietta (Spain), 410 September 2013 Copenhagen (Denmark).
- ICES(WGNAS_2013) 2013. Report of the working group on north atlantic salmon (WGNAS), 312 april 2013, copenhagen (denmark). Rapport technique, ICES CM 2013/ACOM :09, Copenhagen (Denmark).
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic journal of freshwater research* .
- Jouanin, C., Briand, C., Beaulaton, L., et Lambert, P. 2012. Eel density analysis (EDA2.x) : un modèle statistique pour estimer l'échappement des anguilles argentées (*anguilla anguilla*) dans un réseau hydrographique. Rapport technique, IRSTEA, Bordeaux, FRANCE.

- Jouanin, C., Gomes, P., Briand, C., Berger, V., Bau, F., Drouineau, H., Lambert, P., Beaulaton, L., et Baran, P. 2011. Evaluation des mortalités d'anguilles induites par les ouvrages hydroélectriques en France (projet SEA HOPE), rapport non publié. Rapport technique, IRSTEA, Pôle écohydraulique ONEMA-IRSTEA, EPTB Vilaine, ONEMA Paris, OIEau.
- Knapp, W.E., Kynard, B., et Gloss, S.P. 1982. Potential effects of kaplan, ossberger, and bulb turbines on anadromous fishes of the northeast united states .
- Laffaille, P., Acou, A., et Guillouët, J. 2005. The yellow european eel (*anguilla anguilla* l.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. *Ecology of Freshwater Fish* **14** : 191–196.
- Lambert, P. 2005. Exploration multiscalaire des paradigmes de la dynamique de la population d'anguilles européennes à l'aide d'outils de simulation. thèse de doctorat (Ph.D.), Université Bordeaux 1.
- Larinier, M. et 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* (312-313) : 1–87.
- Larinier, M. et Travade, F. 2002. Downstream migration : problems and facilities. *BFPP- Connaissance et Gestion du Patrimoine Aquatique* **364**.
- Lasne, E. et Laffaille, P. 2007. Analysis of distribution patterns of yellow european eel in the loire catchment using logistic models based on presence_absence of different classes. *Ecology of Freshwater Fish* .
- Leisch, F. 2005. Sweave user manual. Citeseer.
- Leonardsson, K. 2012. Modellverktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk. Rapport technique 12 :36, Elforsk, Stockholm.
- Logan, E. 2003. Handbook of Turbomachinery. CRC Press.
- Lowe, R.H. 1952. The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*anguilla anguilla* l.). *The Journal of Animal Ecology* pp. 275–309.
- Malavoi, J.R. 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* (315) : 189210.
- Marohn, L., Prigge, E., et Hanel, R. 2013. Escapement success of silver eels from a german river system is low compared to management-based estimates. *Freshwater Biology* pp. 1–7.
- Mazeau, L. 2006. Modélisation de la remontée du saumon atlantique (*salmo salar*), sur la vienne. Rapport technique, GEONAT.
- McCarthy, T.K., Nowak, D., Grennan, J., Bateman, A., Conneely, B., et MacNamara, R. 2013. Spawner escapement of european eel (*anguilla anguilla*) from the river Erne, Ireland. *Ecology of Freshwater Fish* pp. 21–32. doi :10.1111/eff.12091.
- McCleave, J.D. 2001. Simulation of the impact of dams and fishing weirs on reproductive potential of silver-phase american eels in the Kennebec river basin, Maine. *North American Journal of Fisheries Management* **21** : 592–605.
- McCormick, S., Hansen, L., Quinn, T., et Saunders, R. 1998. Movement, migration, and smolting of atlantic salmon (*salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(S1) : 7792.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Mesnier, P., Léon, C., Parouty, T., et Baisez, A. 2011. Etude des potentialités d'accueil du bassin de la besbre vis-à-vis des espèces migratrices. Rapport technique, LOGRAMI.
- Miller, M.J., Bonhommeau, S., Munk, P., Castonguay, M., Hanel, R., et McCleave, J.D. 2014. A century of research on the larval distributions of the atlantic eels : a re-examination of the data. *Biological Reviews* .
- Minster, A.M. et Bomassi, P. 1999. Repérage et évaluation des surfaces potentielles de développement de juvéniles de saumons atlantiques. Proposition d'un modèle de gestion des stocks sur les bassins de l'Allier et de l'Arroux. Rapport LOGRAMI/CSP DR6 .
- Montén, E. 1985. Fish and turbines : fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Stockholm.
- Naismith, I. et Knights, B. 1988. Migrations of elvers and juvenile european eels, *anguilla anguilla* l., in the river thames. *Journal of fish biology* **33** : 161–175.
- Neitzel, D.A., Dauble, D.D., Cada, G.F., Richmond, M.C., Guensch, G.R., Mueller, R.P., Abernethy, C.S., et Amidan, B. 2004. Survival estimates for juvenile fish subjected to a laboratory-generated shear environment. *Transactions of the American Fisheries Society* **133**(2) : 447–454.
- Pella, H., Lejot, J., Lamouroux, N., et Snelder, T. 2012. Le réseau hydrographique théorique (RHT) français et ses attributs environnementaux. *Géomorphologie* (3) : 317336.
- Philippart, J.C. 1979. Observations concernant l'efficacité de la pêche à l'électricité dans une rivière de la zone à barbeau. *Bulletin Français de Pisciculture* (273) : 157–172.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., et R Core Team 2013. nlme : Linear and nonlinear mixed effects models .
- Prevost, E. et Bagliniere, J.L. 1993. Présentation et premiers éléments de mise au point d'une méthode simple d'évaluation du recrutement en juvéniles de saumon atlantique (*salmo salar*) de l'année en eau courante. Rapport technique, INRA.
- Prevost, E. et Nihouarn, A. 1999. Relationship between abundance indices of CPUE type and density estimates by the removal method for atlantic salmon (*salmo salar* l.) young of the year. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **72**.
- Prévost, E. et Porcher, J.P. 1996. Méthodologie d'élaboration de totaux autorisés de captures (TAC) pour le saumon atlantique (*salmo salar* l.) dans le massif armoricain. Propositions et recommandations scientifiques. Document du GRISAM. Evaluation et gestion des stocks de poissons migrateurs, Document scientifique et technique (1).
- Pujat, C. 2012. Evaluation des potentialités d'accueil des grands migrateurs en vienne amont. Rapport technique, LOGRAMI.
- Raynal, S., Courret, D., Chatellier, L., Larinier, M., et David, L. 2013. An experimental study on fish-friendly trashracks part 1. inclined trashracks. *Journal of Hydraulic Research* **51**(1) : 56–66.
- Russon, I.J., Kemp, P.S., et Calles, O. 2010. Response of downstream migrating adult european eels (*anguilla anguilla*) to bar racks under experimental conditions. *Ecology of Freshwater Fish* **19**(2) : 197–205.
- Schmidt, J. 1909. Remarks on the metamorphosis and distribution of the larvae of the eel (*anguilla vulgaris*, turt.). *Meddelester fra Kommissionen for Havundersøgesler, serie Fiskeri Copenhagen III*(3) : 1–17.

- Schmidt, J. 1922. The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society* **211** : 179–208.
- Scruton, D.A., Pennell, C.J., Bourgeois, C.E., Goosney, R.F., Porter, T.R., et Clarke, K.D. 2007. Assessment of a retrofitted downstream fish bypass system for wild atlantic salmon (*salmo salar*) smolts and kelts at a hydroelectric facility on the exploits river, newfoundland, canada. In *Developments in Fish Telemetry*, pp. 155–169.
- Smogor, R., Angermeier, P., et Gaylord, C. 1995. Distribution and abundance of american eels in virginia streams : test of null models across spatial scales. *Transactions of the American Fisheries Society* **124**(6).
- Solomon, D.J. 1988. Fish passage through tidal energy barrages. Energy Technology Support Unit (ETSU).
- Stefánsson, G. 1996. Analysis of groundfish survey abundance data : combining the GLM and delta approaches. *ICES Journal of Marine Science : Journal du Conseil* **53**(3) : 577588.
- Steinbach, P. 2001. Situation et restauration des populations de poissons migrateurs amphihalins dans le bassin versant de la loire. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* (357-360) : 263276.
- Svedäng, H., Neuman, E., et Wickström, H. 1996. Maturation patterns in female european eel : age and size at the silver eel stage. *Journal of Fish Biology* **48** : 342–351.
- Tesch, F.W. et Thorpe, J.E. 2003. *The eel*. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Tesch, F. 1980. Occurrence of eel *anguilla anguilla* larvae west of the european continental shelf, 1971-1977. *Environmental Biology of Fishes* **5**(3) : 185–190.
- Tesch, F. 1994. Tracking studies in the river weser and elbe. *Fischölogie* **7** : 47–59.
- Thibault, M. 1996. *Ecohistoire du saumon atlantique en bretagne*. Rapport technique, Institut National de Recherche Agronomique, Agence de l'Eau Loire-Bretagne.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Aarestrup, K., et Heggberget, T.G. 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **18**(4) : 345–371.
- Todd, P.R. 1981. Timing and periodicity of migrating new zealand freshwater eels (*anguilla* spp.). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **15**(3) : 225–235.
- Trancart, T., Acou, A., De Oliveira, E., et Feunteun, E. 2013. Forecasting animal migration using SARIMAX : an efficient means of reducing silver eel mortality caused by turbines. *Endangered Species Research* **21** : 181–186.
- Travade, F., Larinier, M., Subra, S., Gomes, P., et De-Oliveira, E. 2010. Behaviour and passage of european silver eels (*anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* (398) : 01.
- Turnpenny, A.W.H., Clough, S., Hanson, K.P., Ramsay, R., et McEwan, D. 2000. Risk assessment for fish passage through small, low-head turbines. Rapport technique, Fawley Aquatic (United Kingdom). Funding organisation : Energy Technology Support Unit, Harwell (United Kingdom).
- UICN 2010. *La liste rouge des espèces menacés en france*. poissons d'eau douce de france métropolitaine. Rapport technique, IUCN.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Van Keeken, O., Winter, H.V., Griffioen, A.B., et De Graaf, M. 2013. Silver eel behaviour in the vicinity of pumping stations : a telemetry study in friesland. Rapport technique Report number C120/13, IMARES Wageningen UR.
- Vion, F. 2005. Analyse des projets d'introduction, d'extension, de réintroduction et de restauration du saumon atlantique (*salmo salar* l.) dans le monde. Rapport technique, Université de Metz, Conseil Supérieur de la Pêche.
- Vøllestad, L. et Jonsson, B. 1988. A 13-year study of the population dynamics and growth of the european eel *anguilla anguilla* in a norwegian river : evidence for density-dependent mortality, and development of a model for predicting yield. *Journal of Animal Ecology* **57** : 983–997.
- Von Raben, K. 1957. Regarding the problem of mutilations of fishes by hydraulic turbines. Originally published in *Die Wasserwirtschaft* **100**(4) : 97.
- Westerberg, H.a., Sjöberg, N., Lagenfelt, I., Aarestrup, K., et Righton, D. 2014. Behaviour of stocked and naturally recruited european eels during migration. *Marine Ecology Progress Series* **496** : 145–157.
- Westerberg, H. et Sjöberg, N. 2014. Overwintering dormancy behaviour of the european eel (*anguilla anguilla* l.) in a large lake. *Ecology of Freshwater Fish* pp. n/a–n/a.
- White, E. et Knights, B. 1997. Dynamic of upstream migration of the european eel, *anguilla anguilla* (l.), in the river severn and avon, england, with special reference to the effect of man-made barriers. *Fisheries Management and Ecology* **4** : 311–324.
- Winter, H.V., Jansen, H.M., et Bruijs, M.C.M. 2006. Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *anguilla anguilla*, by telemetry in the river meuse. *Ecology of Freshwater Fish* **15**(2) : 221–228.
- Zuur, A.F. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology With R*. Springer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Glossaire

0+ Les tacons 0+ sont des juvéniles de saumon issus de l'année. 33, 86, 87

AAPPMA Association Agréée de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques. 29

ACP description . 99

AEP Alimentation en Eau Potable.. 107, 108

Akaike Information Criterion L'Akaike Information Criterion (1973) est un critère de sélection du meilleur modèle, traduisant la qualité de l'ajustement par le nombre de paramètres indépendants du modèle et de la taille de l'échantillon.. 143, 151

Amphihalín Espèce migratrice dont le cycle de vie alterne entre le milieu marin et l'eau douce. 24, 107

Anadrome Poisson amphihalín qui, de la mer, remonte les fleuves pour y pondre. 23

Anguille argentée Anguille subadulte qui, à la fin de sa phase de vie continentale, subit les modifications physiologiques qui la préparent à sa migration marine vers la Mer des Sargasses, et dévale les fleuves. 13, 17, 25, 34, 35, 39, 55, 56, 69, 72, 77, 93, 99, 100, 107, 159–161, 225

Banque hydro La banque hydro (service de l'état) stocke les mesures de hauteur (à pas de temps variable) en provenance de 3 500 stations de mesure (dont 2 400 sont actuellement en service) implantées sur les cours d'eau français. Elle fournit également les débits instantanés, journaliers et mensuels à partir de ces hauteurs et de courbes de tarages. 42, 168, 169

Barrage Obstacle créant une retenue s'étendant au delà du lit mineur du cours d'eau. 9, 21, 22, 24, 27, 31, 60, 77, 79, 80, 85–87, 90, 91, 99, 100, 108, 127, 142

BD Carthage Base de Données sur la CARTographie THématique des AGences de l'Eau. 27, 124, 136, 147, 154

BGM Association Bretagne Grands Migrateurs. 7

bootstrap Le calcul en bootstrap consiste à effectuer un tirage aléatoire avec remise parmi les données disponibles pour donner une estimation de la précision d'un estimateur statistique (par exemple la moyenne). 33, 47, 89

CSP Conseil supérieur de la pêche (remplacé par l'ONEMA en 2007). 33, 90, 151

Débit d'équipement Q_e Le débit d'équipement d'un ouvrage correspond à la somme des débits nominaux des turbines de l'ouvrage. 41, 97, 199

Débit nominal Le débit nominal d'un ouvrage correspond au débit pour lequel le rendement de la turbine est maximal ou proche du maximum. Les turbines sont dimensionnées pour des conditions de hauteur de chute pour lesquelles elles fournissent le maximum d'énergie. Pour une turbine, dans cette étude, on utilise donc généralement le débit nominal qui correspond à la valeur donnée par le fournisseur (CETMEF, 2012). 38–40, 203

Débit turbiné Q_t Le débit turbiné correspond au débit passant dans une des turbines d'un ouvrage, à plein rendement, il correspond au débit nominal de la turbine. 22, 36, 41, 42

Dévalaison Migration de l'amont vers l'aval des cours d'eau, qui peut être réalisée par les anguilles argentées pour aller se reproduire dans l'océan, ou par les smolts de saumons

pour aller y effectuer leur croissance. Cette migration générique occasionne des mortalités lors du franchissement des ouvrages hydroélectriques. 21, 22, 25, 38, 41, 42, 58, 64, 69, 71, 72, 74, 77, 97–100, 105, 107, 169, 235, 236, 238, 240, 242, 246, 250, 253, 255, 258

Diadrome Poisson qui effectue une partie de son cycle vital en fleuve-rivière et le reste en mer. 23

EDA Eel density analysis. Il s'agit d'un modèle de production d'anguilles argentées développé en France et utilisé notamment dans le cadre du rapportage français pour le règlement européen sur l'anguille (1100/2007).. 22, 34, 35, 43, 55, 91, 101, 105

ERR Equivalent Radier Rapide, surfaces regroupant les faciès d'écoulement (radiers, rapides et plats courants) utilisés comme habitats par les juvéniles de saumons (Malavoi, 1989). 13, 14, 17, 26, 30, 31, 48, 49, 52, 83–87, 89, 127, 131, 134–136, 138, 141, 150, 157

Faciès d'écoulement Portion de cours d'eau située dans le lit mouillé et présentant sur une certaine longueur, une physionomie générale homogène sur le plan des hauteurs d'eau, vitesse, substrat (paramètres utilisés dans la description de l'habitat de la faune piscicole) ainsi que du profil en long et des profils en travers. 30, 31, 84, 122

Francis Les turbines Francis dirigent le débit d'eau vers l'intérieur d'une roue à aube, à l'aide d'une bache spirale. Elles sont adaptées au domaine des chutes moyennes à fortes (30 à 300m), mais on les trouve sur des basses chutes sur des installations anciennes. 36, 38–41, 55, 56, 92–95, 97, 105, 199, 201

Frayère Zone de reproduction du poisson dans la rivière. 21, 23, 25, 50

GAM General Additive Model, modèle GLM incluant une forme quadratique dans les courbes de réponse, et qui permet d'ajuster une réponse non linéaire par rapport à certains termes du modèle. Dans ce rapport l'ajustement est réalisé à l'aide du package mgcv, qui permet d'ajuster également le nombre de degrés de liberté du smoother, c'est à dire le nombre de points d'inflexions dans la courbe de réponse. 14, 35, 89, 143–145, 147

GLM Generalized Linear Model, modèle GLM correspondant à une généralisation de la régression linéaire simple. Cette dernière permet, entre autre, à la variable de réponse d'avoir une distribution d'erreur différente de la distribution normale. 130, 146, 151

IAV Insitution d'Aménagement de la Vilaine, l'IAV est l'Etablissement Public Territorial du Bassin de la Vilaine. 7

ICE Le protocole ICE (informations sur la continuité écologique) est un protocole national standardisé de recueil de données sur les ouvrages et d'évaluation du risque d'entrave à la libre circulation piscicole développé par l'ONEMA. 36, 108

INRA Institut national de la recherche agronomique . 7, 31

Intensité de l'étiage Pour un inventaire donné, différence entre le module et le débit mensuel au moment de l'inventaire pour le même bassin versant, rapporté au module. $\frac{Q_i - Q_{\text{étiage}}}{Q_i}$ avec Q_i = module interannuel. 47, 127, 128, 130, 131

Intercept Ordonnée à l'origine dans le cas d'une régression linéaire simple, l'intercept correspond à la valeur de la variable dépendante quand toutes les autres variables indépendantes sont égales à zéro dans un GLM. Dans le cas d'un modèle mixte, l'intercept peut correspondre à la valeur pour chaque modalité de la variable utilisée dans la partie mixte du modèle (ex : une constante pour chaque bassin versant). 85, 130

Kaplan Les turbines Kaplan comportent des hélices de type propulsion, dont l'inclinaison des pales varie en fonction du débit. 36, 38–41, 55, 56, 92, 95

LOGRAMI Association Loire Grands Migrateurs. 7, 31

MEDDE Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et de l'Énergie. 42

Modèle mixte Modèle d'inférence statistique comportant à la fois des effets fixes, et des effets aléatoires. Les effets aléatoires permettent de préciser la structure de la variance du modèle. 31, 47, 50, 151, 153

Module Débit moyen inter-annuel. 27, 31, 40–42, 127, 128, 130, 169

Montaison Migration d'aval en amont des cours d'eau. 21

Mortalité potentielle Mortalité calculée sur les ouvrages hydroélectriques en supposant que les ouvrages en amont n'ont pas d'impact. . 44, 59–61, 65–68, 70, 71, 73, 75, 76, 78, 172, 173, 175, 180, 181, 188, 195, 197, 235, 237, 239, 241, 243, 247, 248, 251, 252, 254, 256, 257, 259

Mortalité réelle Mortalité calculée sur les ouvrages hydroélectriques qui prend en compte l'effet des ouvrages en amont sur la diminution du nombre d'individus dévalants au niveau de l'ouvrage. A l'extrême un ouvrage situé en aval d'un ouvrage tuant tous les dévalants potentiels peut avoir une mortalité réelle nulle.. 44, 59, 60, 62, 65, 67, 68, 70–73, 76–80, 101–104, 172, 173, 175, 180, 181, 188, 195, 197, 235, 237, 241, 243, 247, 248, 251, 252, 254, 256, 257, 259

ONEMA Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. 7, 28, 31, 35, 36

Ossberger La turbine Ossberger ou Banki Mitchell est une turbine à impulsion avec un cylindre recouvert d'aubes sur lequel l'eau est envoyée par un injecteur. Les turbines Ossberger peuvent équiper une grande gamme de hauteur de chute.. 97

Ouvrage Obstacle à l'écoulement sur un tronçon de rivière, pouvant correspondre à plusieurs parties de seuils ou barrages, mais formant, du point de vue du calcul des mortalités à la dévalaison, un seul ouvrage, pour lequel les mortalités dans les différentes parties sont calculées au pro-rata du débit. 21, 36, 55

Pelton La turbine Pelton est une turbine à impulsion. La roue Pelton extrait l'énergie hydraulique de l'impact du jet d'eau. Les turbines Pelton sont adaptées aux sites de forte dénivellation et faible débit, c'est à dire les zones montagneuses en tête de bassin de la Loire. 38, 39

Production modélisée actuelle Nombre de smolts, calculé à partir d'un modèle de répartition des frayères et d'un modèle de production de smolts. L'aire de répartition correspond à l'aire actuellement connue. 17, 27, 34, 50, 51, 53, 54, 58–60, 63, 64, 67, 68, 88, 89, 105, 136, 247, 251, 256, 259

Production modélisée sans barrage Nombre théorique de smolts calculé à partir du modèle de répartition des frayères projeté sur l'ensemble de l'aire de répartition historique du saumon et du modèle de production des cours d'eau. Dans ce scénario, nous faisons l'hypothèse d'une transparence migratoire à la montaison (ça revient à imaginer que tous les ouvrages sont rendus franchissables à 100% à la montaison). 17, 27, 28, 50, 51, 53, 54, 59, 60, 63, 66, 89, 90, 127, 136, 175, 180, 248, 252, 254, 257

Production moyenne Nombre de smolts, calculé à partir d'un modèle de répartition des frayères et de la moyenne des productivités par bassin observées par pêche électrique. Cette production correspond à l'aire de répartition actuellement connue et intègre l'effet des entraves à la montaison et des repeuplements. 17, 27, 32, 50, 51, 53, 54, 59, 60, 63, 64, 88, 89, 172, 173

Ratio Ratio entre la surfaces d'équivalent radier rapide et la surface total d'un tronçon du RHT. 31, 130

Résidus Erreur de prédiction c'est à dire la différence entre la valeur observée de la variable dépendante (i.e. prédite) pour une observation donnée et la valeur de la variable dépendante prédite pour cette observation. L'examen des résidus permet de vérifier que

les hypothèses sous-jacentes à la modélisation sont respectées, et elle permet de détecter des tendances systématiques d'erreur dans le modèle qui doivent conduire à modifier la structure du modèle. 34, 130, 131, 133, 143–145, 151, 152

RHT Le RHT (Réseau Hydrographique Théorique) est une base de données qui modélise les attributs physiques des cours d'eau de France divisés en tronçons (Pella et al., 2012). 27, 29–31, 34, 42, 83, 84, 130, 168, 169

ROE Référentiel des Obstacles à l'Écoulement. 34–36, 55, 67, 68, 71, 76, 108, 172, 173, 175, 180, 181, 188, 195, 197

Sédimentaire Substrat provenant de l'accumulation de sédiments détritiques (limons, argiles) ou calcaires. Ce substrat est retrouvé dans des zones peu courantes, moins propices à la croissance des saumons. 152

Seuil Obstacle barrant le lit mineur. 21, 36, 142

Smolt Juvénile de saumon qui a subi des transformations nécessaires à l'adaptation en mer. 23, 27, 33, 36, 38, 42, 50, 53, 54, 56, 59, 60, 65, 88, 92, 105, 151

Socle Le socle ou socle cristallin correspond aux substrats géologiques, généralement d'origines précambriennes, où les roches sont d'origine métamorphiques ou magmatiques. Les zones de socle ont une hydrogéologie favorable à la production de juvéniles de saumons, en effet l'habitat occupé par les jeunes saumons en rivière se caractérise par la présence d'un courant d'eau rapide et une granulométrie grossière. Les zones de rapides ou rapides dont le substrat pierreux est généralement constitué d'un mélange de graviers, cailloux ou blocs correspondent aux zones pour lesquelles les densités de saumon les plus fortes sont observées. (Heland et Dumas, 1994). 152, 153

Strahler Classification du rang des tronçons de cours d'eau lorsqu'on considère que le réseau hydrographique forme un arbre orienté. En tête de cours d'eau, deux tronçons de rang 1 forment un rang 2 après leur confluence, deux tronçons de rang 2 forment un cours d'eau de rang 3... 29

Tacon Juvénile de saumon lors de sa phase en eau douce. 23, 31, 33, 88

Tronçon hydrographique Unité élémentaire hydrographique de la BD Carthage. 31, 47, 55, 58, 64, 70, 73, 75, 78, 81, 86, 100, 235, 237, 239, 241, 243, 247, 248, 251, 252, 254, 256, 257, 259

UGA Unité de Gestion Anguille, unité administrative de découpage pour le plan de gestion anguille. Les territoires de la Loire et de la Bretagne forment deux UGA séparées. 35, 109

VLH Les turbines VLH (very low head) sont des turbines intégrées dans un bloc autoporteur qui fonctionnent à très basse chute et pour un fort débit. Ces turbines ont été conçues pour que la mortalité engendrée par la rotation de la roue sur les poissons soit nulle. 38, 39

II ANNEXES



Une des principales critiques qui puisse être faite des résultats de mortalité dans les turbines, qui utilisent le croisement des modèles de répartition de poissons et des mortalités dans les turbines, est que dans certains cas, les mortalités faibles sont le reflet de problèmes d'accessibilité. Ainsi, le calcul de productions dans les conditions "pristine" (scénario appelé **production modélisée sans barrage**), c'est à dire sans aménagement, a pour objectif de relativiser certains des résultats obtenus et de comparer les productions actuelles avec les productions du bassin sans barrages.

A.1 Construction du jeu de données ERR

Les variables proviennent du jeu de données RHT (cf paragraphe 2.3) la topologie du bassin permet d'obtenir des variables d'hydrologie (débit) et d'attributs physiques du lit du cours d'eau (pente, largeur) à l'échelle des tronçons RHT. Les variables ont été transformées pour homogénéiser la distribution (Figure A.1).

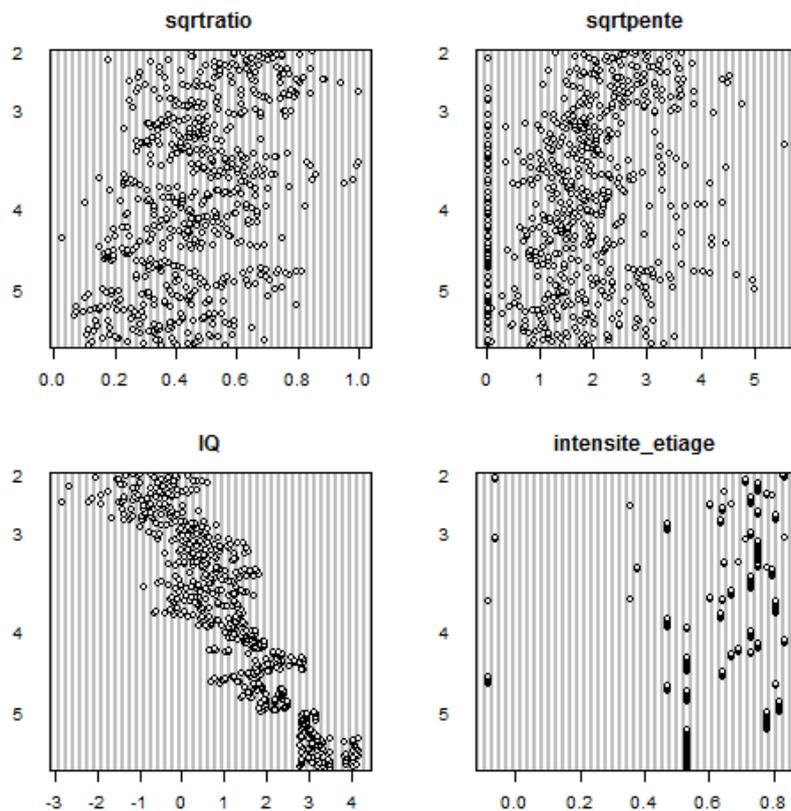


FIGURE A.1 – Distribution des variables sélectionnées dans le modèle final des ERR. Les variables sont ordonnées en fonction du rang de Strahler en ordonnée. $\text{sqrt}(\text{ratio}) = \sqrt{\text{ratio}}$, $lQ = \log(Q)$, $\text{sqrt}(\text{pente}) = \sqrt{\text{pente}}$, intensite_etiage : voir A.2

Un calcul supplémentaire a été effectué pour tenter de quantifier l'importance de l'étiage (intensité de l'étiage). Le débit moyen mensuel au moment de l'inventaire a été comparé au module interannuel calculé sur la période disponible (pour la plupart des bassins il s'agit de la période 1982-2012, Tableaux E.1 et E.2). Les cours d'eau du Pont du Roch' et la partie amont

du Couesnon présentent des débits supérieurs au *module* lors de leurs inventaires. D'autres cours d'eau comme l'Arroux ont été inventoriés dans des conditions d'étiage sévères. Les informations concernant les périodes d'inventaires sont incomplètes sur le Finistère (Mignonne, Camfrou), pour ces cours d'eau une valeur moyenne de 0.75 a été attribuée (Figure A.2).

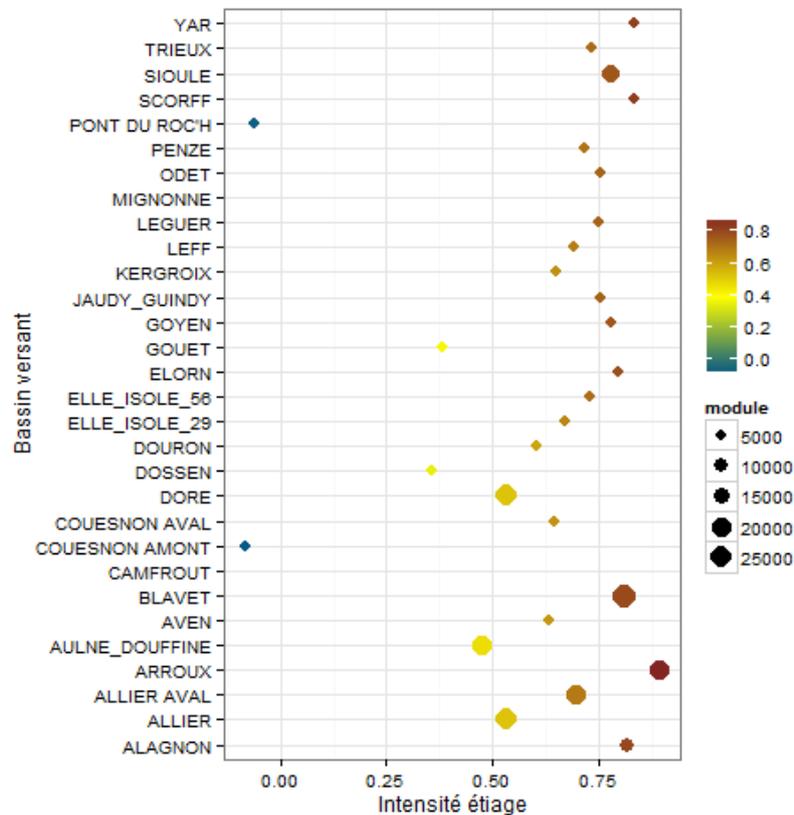


FIGURE A.2 – $Q_{\text{étage}}$ = Mesure du débit moyen au niveau de la station hydrographique du bassin versant pour le ou les mois correspondant à l'inventaire. L'intensité de l'étiage est mesurée comme $\frac{Q_i - Q_{\text{étage}}}{Q_i}$ avec Q_i = *module* interannuel.

Les variables présentant une corrélation importante avec les meilleures variables de réponse du modèle ont été exclues de l'analyse. Par exemple le rang de Strahler, variable discrète, était corrélé au débit (Figure A.1). La corrélation qui n'était pas apparente entre l'altitude et le débit (corrélation un peu supérieure à 50 %) n'apparaît de manière forte que lorsqu'on examine la relation entre ces deux variables au sein de chaque sous bassin (Figure A.3).

La multi-collinéarité des variables du modèle a été testée à partir du coefficient d'inflation de la variance (VIF) ; tous les coefficients \sqrt{VIF} sont inférieurs à 1.5 ce qui indique que l'erreur type des variables de réponse reste proche de l'erreur type d'un modèle où les variables seraient toutes orthogonales (Zuur, 2009, p 255).

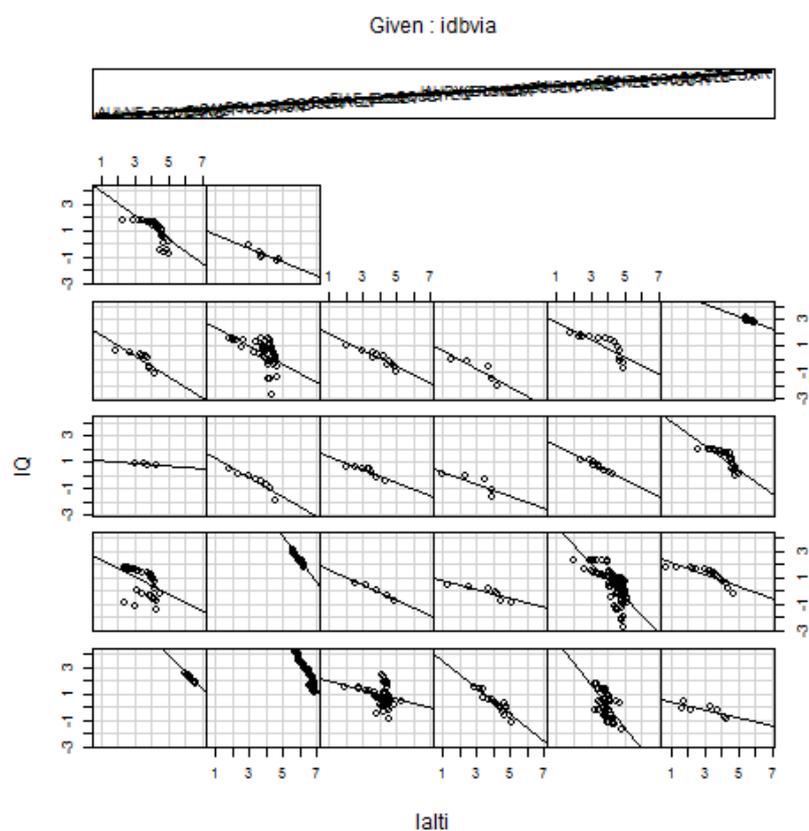


FIGURE A.3 – Nuage de points montrant la corrélation entre le débit $IQ = \log(\text{module})$ et l'altitude $lalti = \log(\text{alti})$ lorsqu'on examine la relation au sein de chaque bassin (bv). Il existe une corrélation entre les deux variables au sein de chaque bassin alors que cette corrélation restait faible dans le jeu de données de l'ensemble des bassins.

A.2 Ajustement des modèles

Le meilleur modèle GLM s'écrit

$$\begin{aligned}\sqrt{\text{ratio}} &\approx \alpha \log(Q) + \beta \sqrt{\text{pente}} + \gamma ie + \delta_{bv} bv + \zeta + \epsilon \\ \epsilon &\sim N(0, \sigma^2)\end{aligned}\tag{A.1}$$

avec $\sqrt{\text{ratio}}$ = racine carrée du **ratio** de la surface d'équivalents radiers rapides inventoriés sur le tronçon à la surface totale du tronçon RHT, bv = bassin versant, ie = coefficient d'intensité de l'étiage lors de l'inventaire, $\sqrt{\text{pente}}$ = racine carrée de la pente du tronçon RHT, $\log(Q)$ = log du **module** du tronçon considéré, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = coefficients du modèle, ζ = **intercept**, ϵ = **résidus**.

Tableau A.1 – Test des variables utilisées dans le glm A.1. Le test (*drop1*) retire une à une les variables, et utilise le rapport de vraisemblance des deux modèles pour tester la significativité de l'inclusion de la variable à l'aide d'un χ^2 .

Variable	Df	Deviance	AIC	Scaled dev.	Pr(> Chi)
(intercept)		10.50	-777.25		
$\log(Q)$	1	11.73	-707.17	72.09	<0.001
$\sqrt{\text{pente}}$	1	11.53	-718.33	60.92	<0.001
ie	1	10.57	-774.64	4.61	0.03
bv	25	13.41	-668.25	159.00	<0.001

Après avoir enlevé trois outliers, le modèle explique 51 % de la déviance totale. Les variables les plus importantes dans le modèle sont dans l'ordre, les bassins versants, le débit et la pente (Tableau A.1).

Il est nécessaire d'inclure les différents bassins pour éviter la corrélation spatiale des **résidus** du modèle. Cette variable améliore aussi le pourcentage de déviance expliqué par le modèle. Cependant, l'inclusion d'une variable bassin pose problème lors de l'extrapolation vers de nouveaux bassins ré-ouverts à la colonisation.

En effet, pour ces derniers il faut alors choisir un bassin de référence pour l'extrapolation, et ce choix n'est pas toujours possible compte tenu des connaissances disponibles sur les habitats historiques. Par exemple quel bassin de référence doit-on choisir pour l'Oust, ou les affluents de la Vilaine? A un choix un peu arbitraire est préféré l'application d'un modèle "moyen", prenant en compte la variabilité possible d'un bassin à un autre. Cette dernière est expliquée en utilisant des modèles mixtes pour lesquels un composant aléatoire est ajouté pour chaque bassin.

1. Le premier niveau de modèle est un modèle sans effet aléatoire, qui correspond au modèle précédent (modèle A.1) mais sans effet bassin (modèle A.2). L'**intercept** est δ , et les **résidus** ϵ suivent une distribution normale.
2. Un modèle incluant un composant aléatoire -un intercept δ - qui décrit l'ensemble des intercepts des bassins par une loi normale de variance D (modèle A.3). Cette écriture permet de rendre compte de la non indépendance des stations au sein de chaque bassin.
3. Un modèle incluant un composant aléatoire qui décrit la variation de l'intercept entre chaque bassin mais également l'effet du débit par une loi normale de variance F (modèle A.4). Ce modèle est référencé comme un modèle mixte avec intercept et pente.

$$\begin{aligned}\sqrt{\text{ratio}} &\approx \alpha \ln(Q) + \beta \sqrt{\text{pente}} + \gamma ie + \delta + \epsilon \\ \epsilon &\sim N(0, \sigma^2)\end{aligned}\tag{A.2}$$

$$\begin{aligned}\sqrt{ratio} &\approx \alpha_{ij}\ln(Q) + \beta_{ij}\sqrt{pente} + \gamma_{ij}ie + \delta + \delta_j + \epsilon_{ij} \\ \delta_j &\sim N(0, D) \\ \epsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2) \\ i &= station, j = bassin\end{aligned}\tag{A.3}$$

$$\begin{aligned}\sqrt{ratio} &\approx \alpha_{ij}\ln(Q) + \beta_{ij}\sqrt{pente} + \gamma_{ij}ie + \delta + \delta_j + \zeta_j\ln(Q) + \epsilon_{ij} \\ \delta_j &\sim N(0, D) \\ \zeta_j &\sim N(0, F) \\ \epsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2)\end{aligned}\tag{A.4}$$

Les modèles sont ajustés à partir de la procédure "REML" du package nmle, et la comparaison

Tableau A.2 – Comparaison des modèles A.2, A.3 et A.4, le modèle A.4 est le meilleur modèle.

Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
A.2	5	-636.98	-614.62	323.49			
A.3	6	-719.50	-692.67	365.75	A.2 vs A.3	84.52	<.0001
A.4	8	-749.82	-714.05	382.91	A.3 vs A.4	34.32	<.0001

des modèles (Tableau A.2) montre que le meilleur modèle est un modèle incluant un intercept et une pente par bassin pour l'effet débit (Tableaux A.3 et A.4).

L'inclusion d'une variable bassin permet d'égaliser les résidus en fonction des bassins, mais il reste une variabilité différente, qui est attribuée au nombre de données trop faibles pour certains bassins (Figure A.4).

Tableau A.3 – Ajustement du modèle mixte A.4, coefficients et probabilités pour la partie fixe du modèle.

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
δ (intercept)	0.39	0.04	621.00	9.23	<0.001
$\log(Q)$	-0.06	0.01	621.00	-4.11	<0.001
\sqrt{pente}	0.05	0.01	621.00	8.24	<0.001
ie	0.11	0.05	621.00	2.21	0.03

L'examen de la cartographie des résidus montre qu'il reste une part de variation attribuable au niveau du sous bassin, par exemple sur les affluents du Blavet.

L'inclusion de l'effet intensité de l'étiage au moment de l'inventaire permet d'expliquer beaucoup mieux les résultats de l'amont du Couesnon que dans les premiers modèles. Les résidus négatifs sur l'aval des bassins de la Sioule et la Dore (en haut du graphique), s'expliquent par le noyage des surfaces d'ERR dans les retenues (Figures B.1, A.6). En effet, les parties de cours d'eau où apparaissent ces résidus négatifs correspondent aux linéaires les plus touchés par la perte d'habitat due à l'effet retenue des seuils (28% d'étagement sur la Sioule en aval d'Ebreuil; 13 % d'étagement sur la Dore en aval de Courpière).

Les prédictions du modèle mixte indiquent une diminution de la proportion d'ERR en fonction du débit Figure A.7). Ramenée en échelle normale cette relation montre que la proportion d'ERR passe de 50 % de la surface d'un tronçon RHT et qu'elle diminue rapidement pour des modules entre 0 et 5 m³.s⁻¹.

Pour des rivières assez larges -entre 10 et 60 m³.s⁻¹ de débit moyen- la proportion d'ERR reste stable autour de 10% (Figures A.7 et A.8). La pente a moins d'influence, et pour un débit de l'ordre de 3 m³.s⁻¹ la proportion passe de 15 % à 38 % pour des pentes allant de 0 à 5 % (Figures A.9, A.10).

Tableau A.4 – Ajustement du modèle mixte A.4, coefficients et probabilités pour la partie aléatoire du modèle.

	δ_j (intercept)	ζ_j (log(Q)) (pente)
ALAGNON	0.038	0.019
ALLIER	0.152	-0.026
DORE	0.227	-0.096
SIOULE	0.070	-0.026
AULNE_DOUFFINE	-0.108	0.036
AVEN	-0.048	0.085
BLAVET	0.020	-0.072
CAMFROUT	-0.111	0.024
COUESNON	-0.138	-0.009
DOSEN	0.150	-0.049
DOURON	0.111	-0.001
ELLE_ISOLE	0.029	0.026
ELORN	0.018	-0.027
GOUET	-0.079	0.003
GOYEN	-0.097	0.070
JAUDY_GUINDY	-0.121	-0.016
KERGROIX	0.002	-0.037
LEFF	-0.082	-0.036
LEGUER	-0.069	0.061
MIGNONNE	-0.064	0.008
ODET	-0.092	0.029
PENZE	0.009	0.051
PONT DU ROC'H	0.056	0.003
SCORFF	0.114	-0.046
TRIEUX	0.024	0.011
YAR	-0.012	0.013

ANNEXE A. CALCUL DES SURFACES D'ÉQUIVALENT RADIER RAPIDES

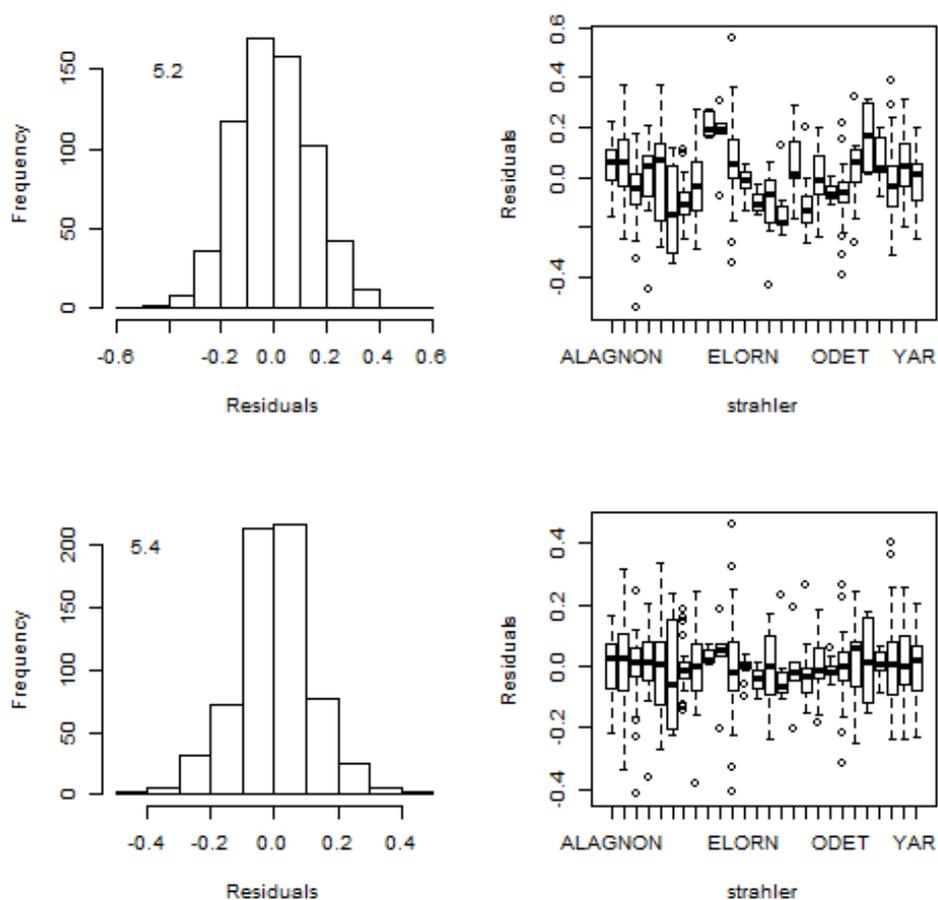


FIGURE A.4 – Histogrammes des *résidus*, et *résidus* en fonction des bassins pour les modèles A.2 en haut et A.4 en bas.

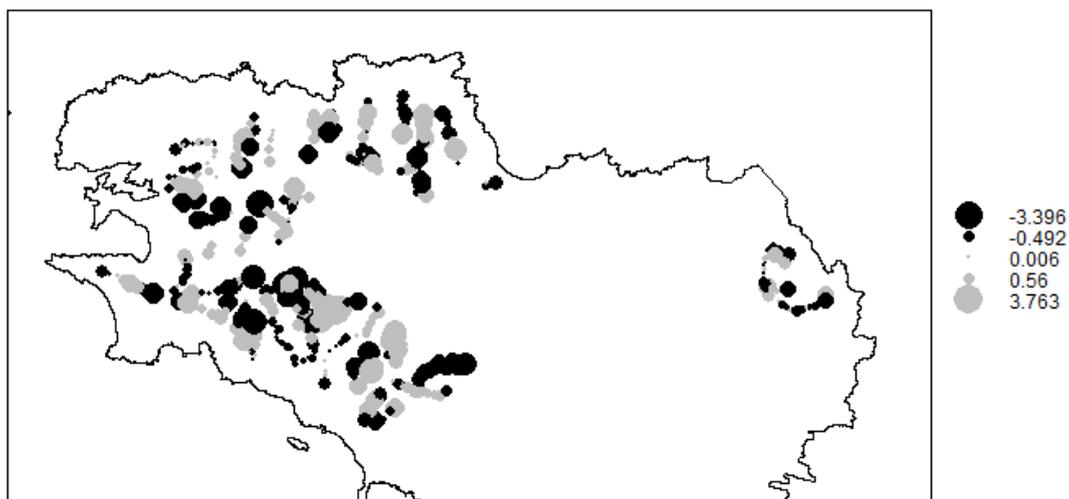


FIGURE A.5 – *Résidus* normalisés pour le modèle A.4 sur la Bretagne.

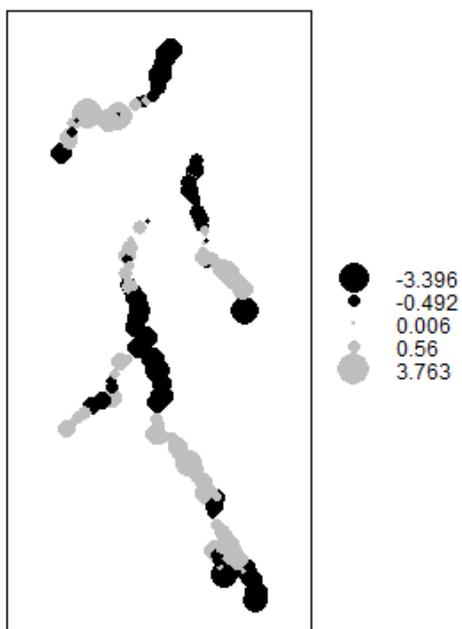


FIGURE A.6 – Résidus normalisés pour le modèle A.4 sur la Loire (Allier).

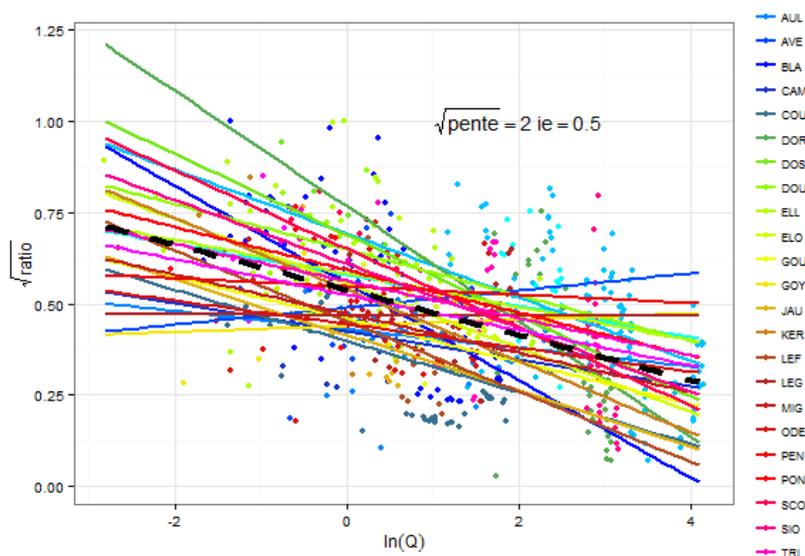


FIGURE A.7 – Relation $\sqrt{\widehat{\text{ratio}}} \sim \log(Q)$ pour les ERR pour le modèle A.4.

ANNEXE A. CALCUL DES SURFACES D'ÉQUIVALENT RADIER RAPIDES

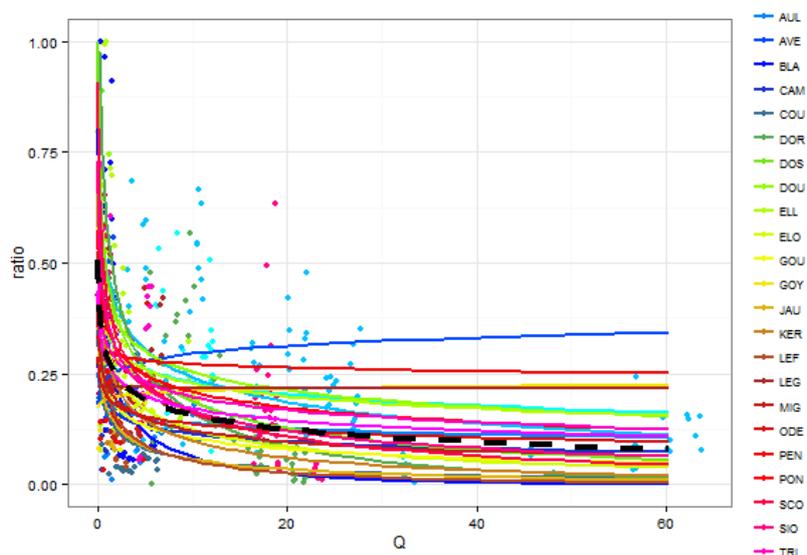


FIGURE A.8 – Relation $\widehat{ratio} \sim Q$ pour les *ERR* pour le modèle A.4, variables retransformées dans leurs formats d'origine.

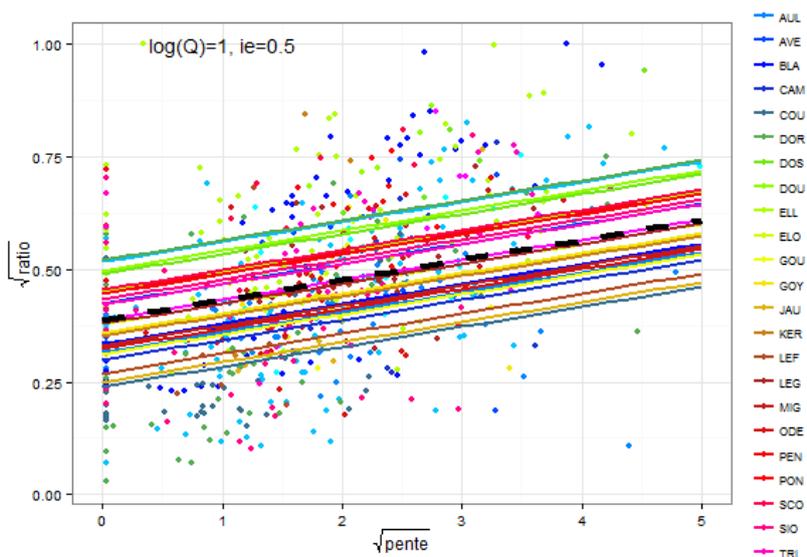


FIGURE A.9 – Relation $\sqrt{\widehat{ratio}} \sim \sqrt{pente}$ pour les *ERR* pour le modèle A.4.

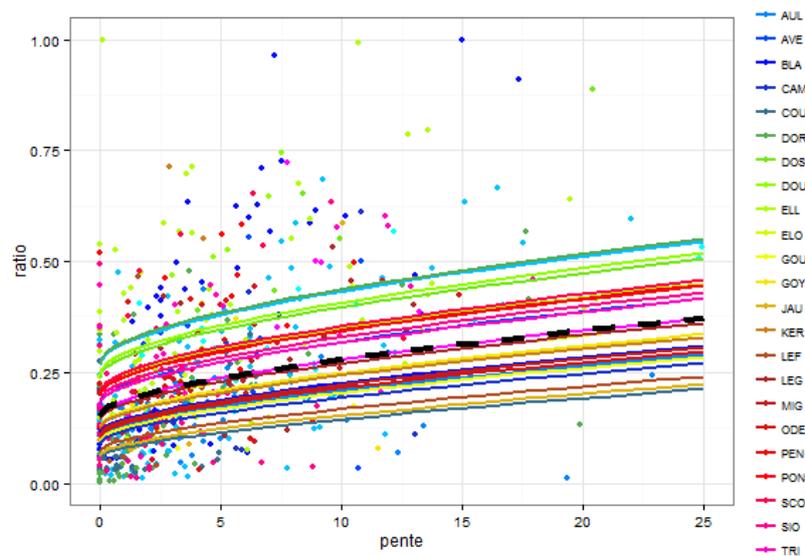


FIGURE A.10 – Relation $\widehat{\text{ratio}} \sim \text{pente}$ pour le modèle A.4, variables retransformées dans leurs formats d'origine.

A.3 Prédiction de surfaces ERR

Le modèle mixte complet est appliqué pour prédire les résultats du modèle pour le jeu de données de calage. Ces données correspondent au jeu de données de **production modélisée actuelle**. La **production modélisée sans barrage** est calculée en rajoutant au jeu de données précédent les segments de rivière inaccessibles actuellement. Les segments de rivière se trouvant sur des bassins utilisés pour caler le modèle sont extrapolés en utilisant le niveau d'abondance moyenne du bassin calée dans le modèle. Lorsque le nouveau bassin ne se trouve pas dans le jeu de données de calage (exemple de l'Oust), le niveau de facteur "moyen" est utilisé pour extrapoler le modèle. Les résultats par bassin versant hydrographique sont détaillés aux Tableaux A.5 et A.6.

Tableau A.5 – Surfaces d'ERR en Bretagne. Secteur=sous secteur hydrographique de la BD Carthage, Surfaces en hectares d'ERR, S_a = observées actuellement, \widehat{S}_a prédites par le modèle dans les conditions actuelles \widehat{S}_h prédites pour les surfaces accessibles historiquement (à ajouter aux surfaces de la colonne \widehat{S}_a), Ratio= ratio de la surface des tronçons RHT à partir des données d'observations.

Bassin	Secteur	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h	Ratio
ARGUENON	l'arguenon de sa source à la mer			7.2	0.18
AULNE	l'aulne de sa source à l'hyere	13.2	12.4	2.5	0.16
AULNE	l'hyere et ses affluents			16.1	0.18
AULNE	l'aulne de l'hyere à la mer	6.0	7.7	20.8	0.14
AVEN	côtiers de l'aven à la laita	12.4	9.7	2.9	0.25
BLAVET	le blavet de sa source au canal de nantes à brest			13.4	0.31
BLAVET	le canal de nantes à brest jusqu 'au blavet			8.0	0.31
BLAVET	le blavet canalisé			12.0	0.23
BLAVET	l'evel de sa source au blavet	9.7	11.1	1.3	0.21
BLAVET	le blavet du canal de nantes à brest à l'evel	11.6	6.7	7.1	0.21
BLAVET	le blavet de l'evel à la mer	8.9	7.2	1.6	0.28
CAMFROUT	côtiers de l'elorn à l'aulne	6.1	5.8		0.22
COTIERS	côtiers de l'aber-vrac 'h à l'aber-benoit			10.2	0.30
COTIERS	côtiers de la pointe de bloscon au keralle			6.9	0.29
COTIERS	la marle et le liziec de leur source à la mer et côtiers de l'ile de conleau à port navalo			1.7	0.33

ANNEXE A. CALCUL DES SURFACES D'ÉQUIVALENT RADIER RAPIDES

Tableau A.5 – (continued)

Bassin	Secteur	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h	Ratio
COTIERS	côtiers du keralle à l'aber-frac 'h			5.0	0.30
COTIERS	côtiers de l'aber-benoit à l'elorn			3.0	0.26
COTIERS	côtiers de port navalo à la r de penerf			0.6	0.35
COTIERS	la laita ou elle de l'isole à la mer et côtiers de la laita aux roches de toulhars			1.8	0.42
COTIERS	le dourduff de sa source à la mer et côtiers du douron au jarlot			2.4	0.33
COTIERS	côtiers du j410400 à la r de pont-l'abbe			3.0	0.35
COTIERS	côtiers de l'aulne à la pointe du raz			1.5	0.36
COUESNON	le couesnon de sa source au général	2.0	2.8	0.9	0.12
COUESNON	le couesnon du général à la loisance	7.4	6.5	2.5	0.14
COUESNON	le couesnon de la loisance à la mer	0.8	1.1	1.3	0.24
DOSSEN	r de morlaix ou jarlot de sa source à la mer et côtiers du dourduff à la penze	5.6	5.3	7.1	0.59
DOURON	le douron de sa source à la mer	7.7	8.4		0.46
ELLE ISOLE	l'elle et ses affluents	46.8	43.0	4.3	0.33
ELLE ISOLE	l'isole et ses affluents	14.1	14.0	1.3	0.33
ELORN	l'elorn de sa source à la mer	10.2	9.0	5.7	0.31
GOUESSANT	le gouessant de sa source à la mer			0.7	0.19
GOUESSANT	l'urne de sa source à la mer et côtiers du gouessant au gouet			1.3	0.31
GOUET	le gouet de sa source à la mer	1.3	2.3	4.1	0.21
GOYEN	raux de la pointe du raz au j410400	3.1	2.6	1.0	0.20
JAUDY	le jaudy de sa source à la mer et côtiers du bouillenou au jaudy	3.6	2.9	4.5	0.23
KERGROIX	r d 'etel de sa source à la mer et côtiers du blavet au rau de l'étang	6.9	6.7		0.39
LEFF	le leff et ses affluents	5.3	4.8	4.3	0.21
LEGUER	le leguer de sa source à la mer et côtiers du leguer au rau du coat tredrez	17.1	14.6	5.0	0.23
ODET	l'odet de sa source au steir	14.6	9.9	2.5	0.20
ODET	le steir et ses affluents	4.9	4.8	2.2	0.20
ODET	l'odet du steir à la mer			1.9	0.24
ODET	côtiers de l'odet à l'aven			3.0	0.24
OUST	le lie et ses affluents			15.8	0.25
OUST	l'oust de sa source au lie			17.1	0.25
OUST	l'oust du lie au ninian			9.7	0.18

A.3 PRÉDICTIONS DE SURFACES ERR

Tableau A.5 – (continued)

Bassin	Secteur	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h	Ratio
OUST	l'oust du ninian à la claie			20.2	0.17
OUST	l'oust de l'aff à la vilaine			11.2	0.21
OUST	l'oust de la claie à l'aff			2.3	0.08
OUST	la vilaine de l'isac à la mer			1.9	0.35
OUST	l'etier de billiers de sa source à la mer			4.8	0.26
PENZE	la penze de sa source à la mer et côtiers de la rivière de morlaix à la pointe de bloscon	10.3	10.9		0.32
R.AURAY	le loc 'h ou r d 'auray de sa source à la mer et côtiers entre les pointes de kerpenhir et loc-mique			5.6	0.23
RANCE	la rance de sa source au linon			12.2	0.24
RANCE	la rance du linon à la mer			2.7	0.13
SCORFF	le scorff de sa source au rau de pont er bellec	9.3	7.5	5.9	0.43
SCORFF	le scorff du rau de pont er bellec à la mer	10.8	9.6	5.6	0.37
TRIEUX	le trieux de sa source au leff	19.6	16.3		0.26
YAR	côtiers du rau de coat tredrez au douron	3.7	4.3	1.1	0.38

Tableau A.6 – Surface d'ERR en ha sur le bassin de la Loire, voir légende du tableau A.5 pour détails.

Bassin	Secteur	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h	Ratio
ALAGNON	l'alagnon et ses affluents	33.90	28.4	19.0	0.32
ALLIER	l'allier de sa source au chapeauroux	25.00	23.0	10.8	0.37
ALLIER	le chapeauroux et ses affluents	12.70	12.5	13.4	0.49
ALLIER	l'allier du chapeauroux à la desges	36.90	28.8	15.5	0.32
ALLIER	l'allier de la desges à la senouire	23.50	20.3	32.8	0.37
ALLIER	l'allier de la senouire à l'alagnon	3.40	13.6		0.12
ALLIER	l'allier de l'alagnon à l'auzon	17.50	22.7	57.8	0.41
ALLIER	l'allier de l'auzon à la dore	12.80	9.0		0.09
ALLIER	l'allier de la dore au beron			10.2	0.50
ARROUX	l'arroux de sa source au mechet	0.00	17.1	3.1	0.23
ARROUX	l'arroux du mechet à la loire			25.8	0.10
BESBRE	la besbre et ses affluents			23.5	0.21
CHER	la tardes et ses affluents			23.3	0.21
CHER	le cher de sa source à la tardes			9.1	0.27
CHER	l'aumance et ses affluents			17.3	0.21
CHER	le cher de la tardes à l'aumance			18.7	0.11
CREUSE	la creuse de sa source à la rozeille			10.2	0.26
CREUSE	la creuse de la rozeille au rau de chezalet			9.9	0.14
CREUSE	la petite creuse de sa source au rau de l'étang de la cellette			11.4	0.24
CREUSE	la creuse du rau de chezalet à la petite creuse			17.3	0.13
CREUSE	la petite creuse du rau de l'étang de la cellette à la creuse			13.2	0.15
CREUSE	la creuse de la petite creuse à la bouzanne			17.2	0.12
DORE	la dore de sa source à la faye	15.90	11.2	29.4	0.37
DORE	la dore de la faye à l'allier	12.50	12.9	19.4	0.30
GARTEMPE	la gartempe de sa source à l'ardour	11.94	8.0	10.3	0.23
GARTEMPE	la gartempe de l'ardour au vincou	21.10	13.5	11.6	0.18
GARTEMPE	le vincou et ses affluents			12.6	0.28
GARTEMPE	la gartempe du vincou à la brame	15.26	7.3		0.11
GARTEMPE	la benaize et ses affluents			22.4	0.24
GARTEMPE	l'anglin de sa source à la benaize	0.00	13.9		0.23
GARTEMPE	la gartempe de la brame à l'anglin	0.17	18.0		0.08
GARTEMPE	l'anglin de la benaize à la gartempe			8.8	0.10
GARTEMPE	la creuse de la bouzanne à la gartempe			19.8	0.09

ANNEXE A. CALCUL DES SURFACES D'ÉQUIVALENT RADIER RAPIDES

Tableau A.6 – (continued)

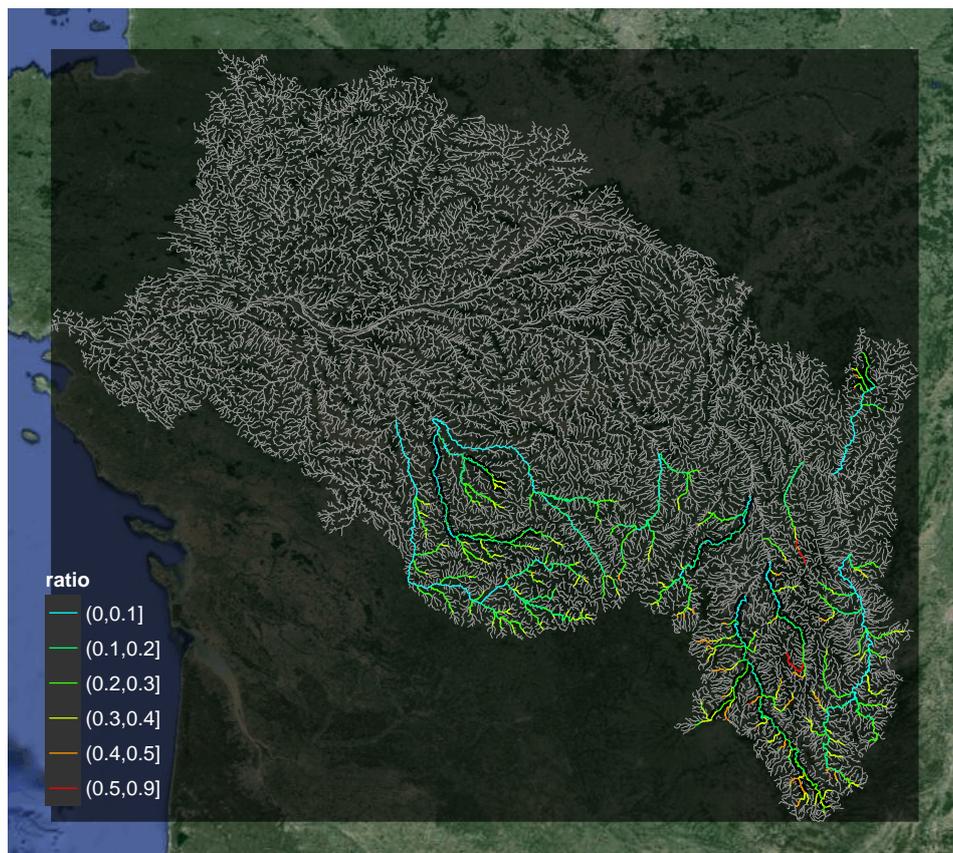
Bassin	Secteur	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h	Ratio
GARTEMPE	la gartempe de l'anglin a la creuse			3.5	0.06
LOIRE	la loire de sa source à la mejeanne			16.1	0.28
LOIRE	la loire de la mejeanne à la laussonne			15.0	0.23
LOIRE	la loire de la laussonne à la sumene			16.9	0.25
LOIRE	le lignon et ses affluents			29.5	0.24
LOIRE	la loire de la sumene au lignon			22.8	0.19
LOIRE	la loire du lignon au barrage de grangent			38.1	0.20
LOIRE	la loire du barrage de grangent au gand			30.1	0.23
LOIRE	la loire du gand à l'aix			25.1	0.16
LOIRE	l'aix et ses affluents			10.1	0.24
LOIRE	la loire de l'aix au rhins			27.2	0.16
SIOULE	la sioule de sa source à la viouze			40.6	0.30

A.3 PRÉDICTIONS DE SURFACES ERR

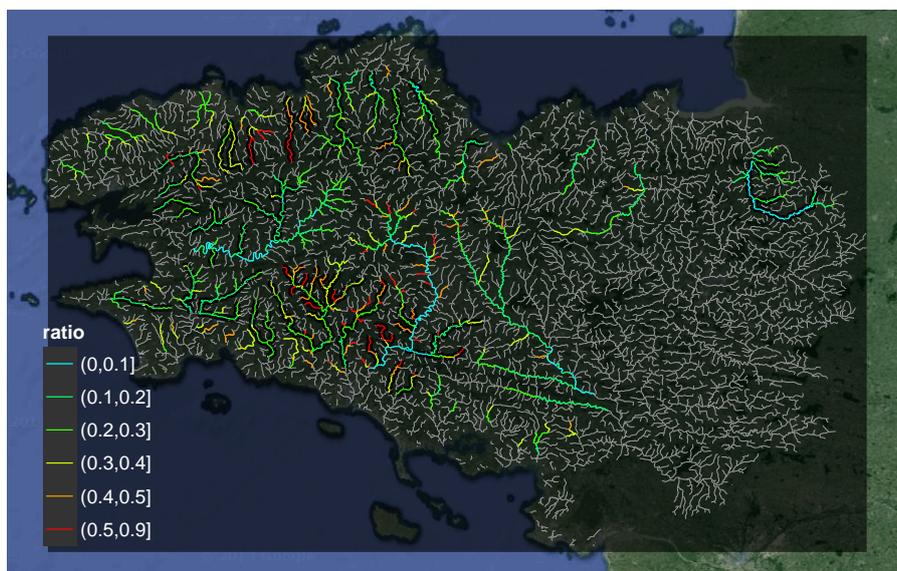
Tableau A.6 – (continued)

Bassin	Secteur	S_a	\widehat{S}_a	\widehat{S}_h	Ratio
SIOULE	la sioule de la viouze à l'allier	31.30	27.8	18.3	0.18
VIENNE	le taurion de sa source à la leyrenne			19.2	0.22
VIENNE	la vienne de sa source à la combade			33.8	0.24
VIENNE	la vienne de la combade au taurion			19.3	0.17
VIENNE	le taurion de la leyrenne à la vienne			19.7	0.22
VIENNE	la briançe et ses affluents			21.9	0.25
VIENNE	la vienne du taurion à la briançe			6.7	0.06
VIENNE	la vienne de la briançe à l'aixelle			7.5	0.22
VIENNE	la glane et ses affluents			7.7	0.22
VIENNE	la vienne de l'aixelle à la glane			9.4	0.06
VIENNE	la vienne de la glane à la goire			23.2	0.13
VIENNE	l'issoire et ses affluents			7.6	0.24
VIENNE	la vienne de la goire à l'issoire			5.5	0.21
VIENNE	la blourde et ses affluents			12.6	0.28
VIENNE	la vienne de l'issoire à la blourde			14.9	0.05
VIENNE	la vienne de la blourde au talbat			8.9	0.04
VIENNE	la vienne du talbat au clain			9.9	0.05

ANNEXE A. CALCUL DES SURFACES D'ÉQUIVALENT RADIER RAPIDES



(a) Loire



(b) Bretagne

FIGURE A.11 – Ratio des surfaces d' ERR $\frac{S_{ERR}}{S_{RHT}}$ mesurées -souligné en noir et blanc- et prédites par le modèle A.4 sur les territoires identifiés comme des zones historiques potentielles de présence du saumon.

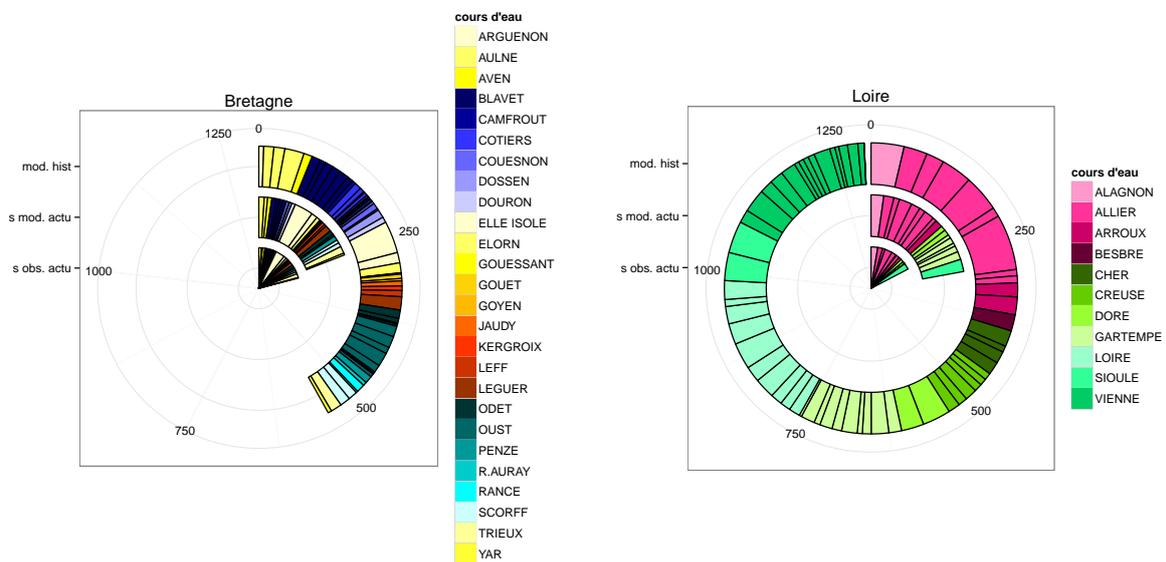


FIGURE A.12 – Surfaces d'équivalents radiers rapides (en ha) prédites par bassin sur le bassin de la Loire (à droite) et en Bretagne (à gauche). Comparaison des surfaces de production actuelles, des surfaces modélisées accessibles actuellement, et des surfaces accessibles historiquement avant l'aménagement des rivières canalisées et la construction des principaux seuils et barrages. Attention pour la lecture du graphique : comparer les angles des différentes sections, et non leur amplitude ; la représentation des données est amplifiée vers l'extérieur par une plus grande surface.

Les indices d'abondance de la Loire et de la Bretagne reflètent deux situations différentes. En Loire, le stock est très fortement diminué par rapport à la situation historique et les abondances de tacons reflètent l'effet des opérations de déversement. En Bretagne, les indices d'abondance reflètent une situation "naturelle" du stock, avec des variations d'un bassin à l'autre qui sont aussi le reflet de l'état du stock local et de l'effet des mesures de gestion. En effet, le stock de saumon est géré par des totaux de captures acceptables, qui donnent pour chaque bassin une cible de dépose d'oeufs. En raison de cette différence, il a été décidé de faire deux modèles séparés pour la Bretagne et pour la Loire.

B.1 Relation smolts - tacons 0⁺

Les indices d'abondances de juvéniles de saumons sont utilisés pour calculer les productions de smolts. Leur structure de départ correspond donc à des données de comptage. Elles sont transformées en données de densité à l'aide de la relation 2.3 calée sur des données collectées de pêches complètes et comparées aux indices d'abondances sur l'ensemble du massif armoricain (Prevost et Nihouarn, 1999).

B.2 Ajustement du modèle

L'examen de la répartition spatiale des données montre clairement une structuration avec certains bassins pour lesquels en moyenne, des nombres de tacons élevés sont obtenus lors des indices d'abondance, et d'autres, comme l'Aulne, où les indices d'abondance sont systématiquement plus faibles (Figure B.2). Deux choix sont alors possibles. Dans une première stratégie, on peut utiliser une variable "bassin" qui explique la variabilité d'un bassin à l'autre (Formule B.1). Cette stratégie pose un problème lors de l'extrapolation du modèle à l'ensemble de la Bretagne.

L'utilisation d'un modèle spatialisé permet de décrire la variabilité spatiale de la répartition entre bassins mais également au sein des bassins. Un smoother en x et y est utilisé dans le calage d'un modèle GAM non linéaire (Formule B.3). L'ajustement du modèle GAM donne un meilleur Akaike Information Criterion même si le nombre de degrés de libertés utilisés est proche du modèle B.1 (29 pour le composant du smoother, contre 25 degrés de liberté pour le bassin).

Des performances similaires sont obtenues pour le modèle bassin et le modèle spatial en ajoutant une variable représentant la distance mer dans le modèle bassin (modèle B.2). Le pourcentage de déviance expliquée par le modèle B.3 est de 0.44, contre 0.42 pour le modèle B.2 (Tableau B.1).

La normalisation des résidus du modèle nécessite d'enlever les données nulles qui correspondent à 7 % des données. Certaines stations présentent à plusieurs reprises des données nulles (comme le Couesnon par exemple).

$$d^{0.1} \approx \beta_{annee}annee + \gamma_{bv}bv + \zeta + \epsilon \quad (\text{B.1})$$

$$d^{0.1} \approx \alpha_{altitude} + \beta_{annee}annee + \gamma_{bv}bv + \zeta + \epsilon \quad (\text{B.2})$$

$$d^{0.1} \approx \beta_{annee}annee + f(x, y)(x, y) + \zeta + \epsilon \quad (\text{B.3})$$

avec $d^{0.1}$ = densité de smolts 0+, bv = bassin versant, $altitude$ =altitude du tronçon considéré, $annee$ =année de pêche, $dmer$ =distance mer, α, β, γ coefficients du modèle, ζ intercept, (x, y) fonction de lissage, ϵ résidus, $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Les réponses des modèles B.1 B.2 et B.3 en fonction de l'altitude des bassins et de l'année sont indiquées en Tableau B.2 et en Figure B.4. L'ajustement du smoother est donné en Figure B.2. L'examen des réponses du modèle montre que les densités sont plus faibles sur le Yar (Côtes d'Armor) et sur l'Aulne. Les faibles densités de l'Aulne correspondent à un problème d'accessibilité. Pour cette raison le modèle en conditions "primitives" historiques est ajusté dans les données de l'Aulne. Il n'est pas détaillé ici mais le graphique du smoother est donné en figure B.3.

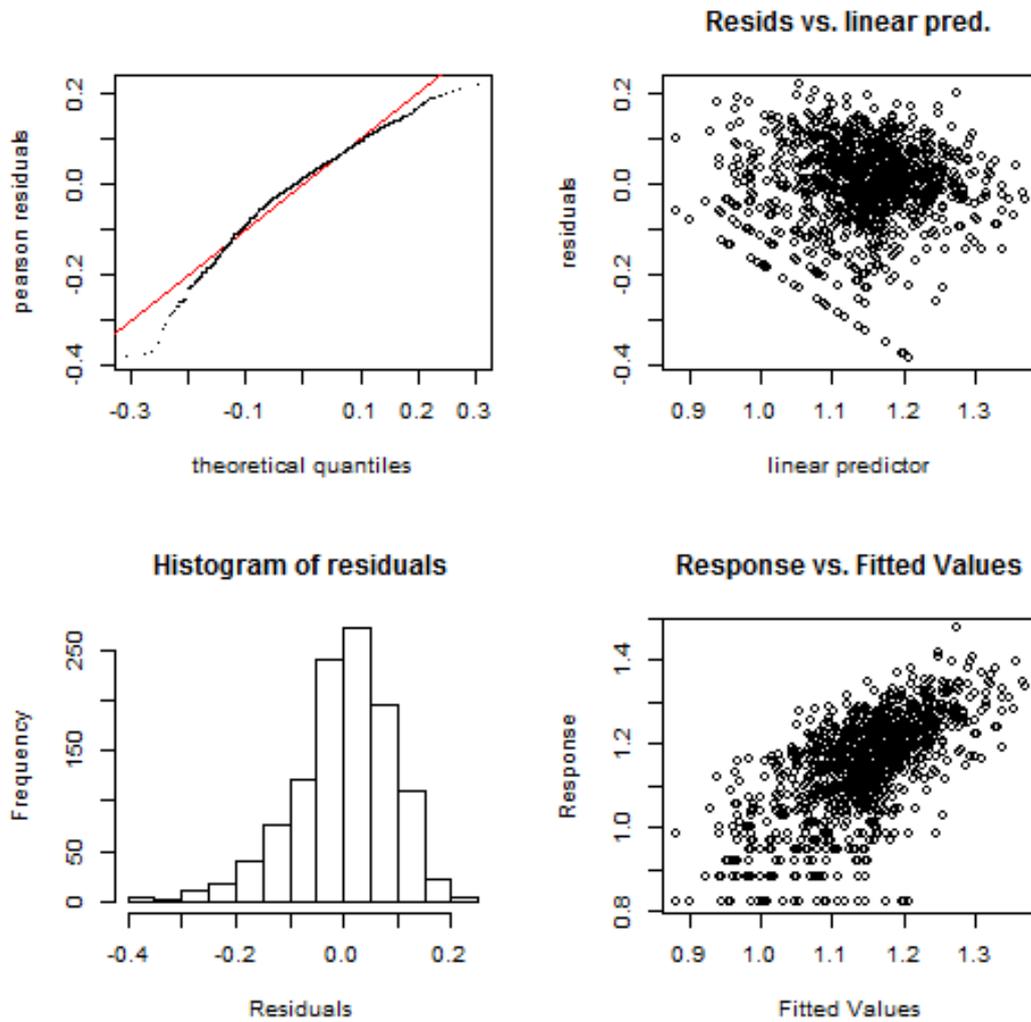


FIGURE B.1 – Sorties de validation du modèle GAM B.3 en Bretagne.

Tableau B.1 – Comparaison des modèles B.1, B.2, B.3, le modèle B.3 est le meilleur modèle

	Resid. Df	Resid. Dev	Df	Deviance	Pr(>)
B.1	1086	9.93			
B.2 ⇔ B.1	1085	9.40	1	0.52	0.0000
B.3 ⇔ B.2	1080	9.19	5	0.22	0.0001

ANNEXE B. PRÉDICTION DES DENSITÉS DE SMOLTS EN BRETAGNE

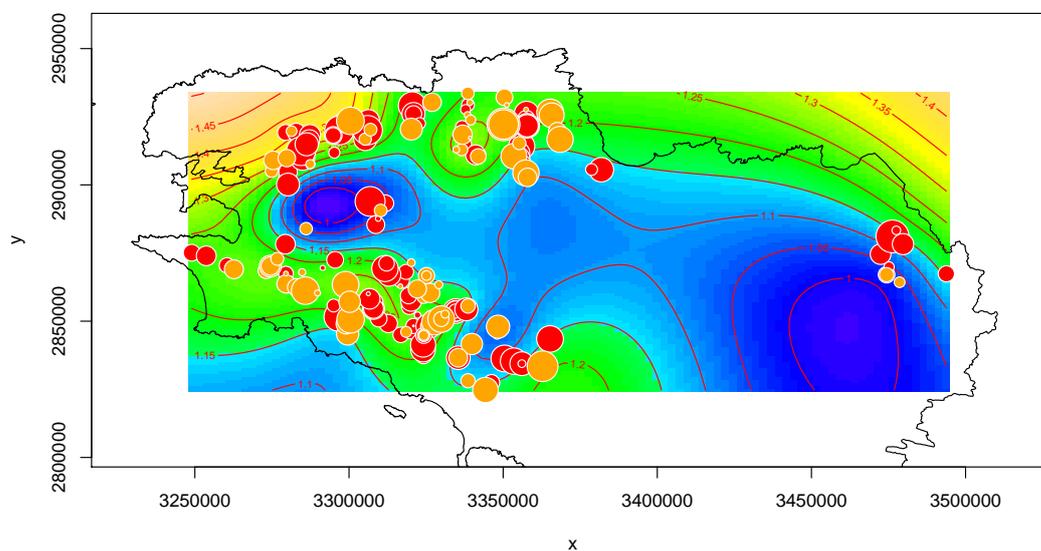


FIGURE B.2 – Ajustement du smoother $s(x,y)$ pour le modèle GAM B.3 sur la Bretagne. En rouge, résidus >0 pour les données de l'année 2010 en Bretagne, en orange, résidus négatifs.

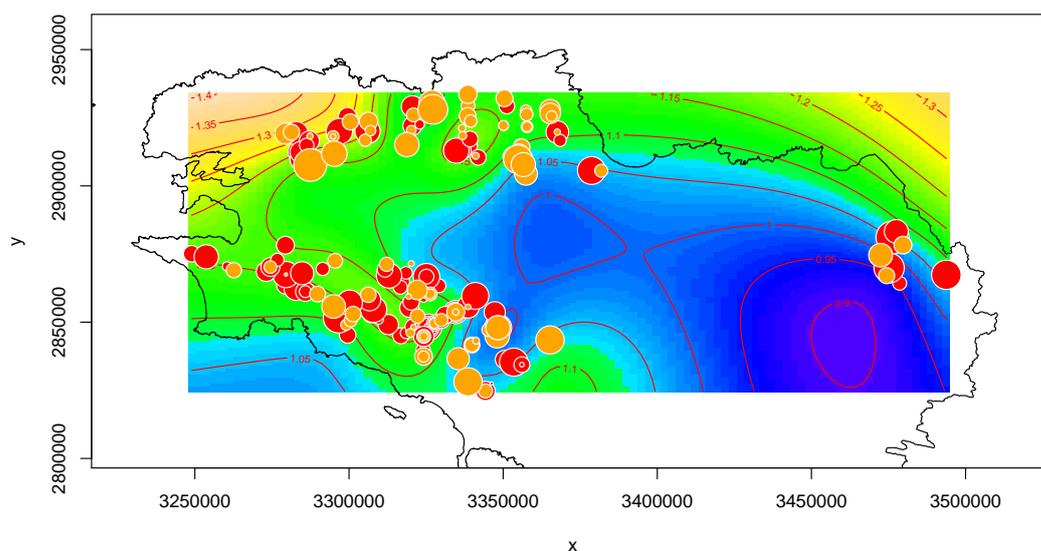


FIGURE B.3 – Ajustement du smoother $s(x,y)$ pour le modèle GAM B.3 sur la Bretagne, les prédictions "historiques" se font sans l'Aulne, dont la faible franchissabilité des ouvrages pénalise les productions actuelles. En rouge, résidus >0 pour les données de l'année 2010 en Bretagne, en orange, résidus négatifs.

Tableau B.2 – Ajustement des modèle GLM B.1 gam B.2 et B.3 de densités de smolts en Bretagne, coefficients (erreur standard) et probabilités ($P(>|t|)$). edf = nombre de degrés de libertés estimés pour la fonction de lissage.

	Variable dépendante : $\widehat{d}^{0.1}$		
	GLM (B.1)	GLM (B.2)	GAM (B.3)
AVEN	0.145 (0.019) ***	0.132 (0.019) ***	
BLAVET	0.075 (0.016) ***	0.054 (0.016) ***	
CAMFROUT	0.214 (0.057) ***	0.202 (0.055) ***	
COTIERS	0.278 (0.034) ***	0.291 (0.033) ***	
COUESNON	0.051 (0.018) ***	0.032 (0.018) *	
DOSSEN	0.279 (0.027) ***	0.262 (0.026) ***	
DOURON	0.169 (0.020) ***	0.165 (0.020) ***	
ELLE ISOLE	0.185 (0.014) ***	0.190 (0.014) ***	
ELORN	0.274 (0.017) ***	0.267 (0.017) ***	
GOUET	0.097 (0.041) **	0.067 (0.040) *	
GOYEN	0.189 (0.025) ***	0.164 (0.024) ***	
JAUDY	0.165 (0.022) ***	0.155 (0.022) ***	
KERGROIX	0.116 (0.027) ***	0.079 (0.027) ***	
LEFF	0.155 (0.020) ***	0.130 (0.020) ***	
LEGUER	0.222 (0.016) ***	0.224 (0.016) ***	
MIGNONNE	0.229 (0.069) ***	0.212 (0.067) ***	
ODET	0.203 (0.016) ***	0.184 (0.016) ***	
PENZE	0.253 (0.019) ***	0.240 (0.019) ***	
P. DU ROC'H	0.048 (0.031)	0.009 (0.031)	
SCORFF	0.180 (0.014) ***	0.168 (0.013) ***	
TRIEUX	0.147 (0.016) ***	0.140 (0.015) ***	
YAR	0.014 (0.027)	-0.009 (0.027)	
altitude		-0.001 (0.0001) ***	
date2009	0.043 (0.009) ***	0.043 (0.009) ***	0.041 (0.009) ***
date2010	0.018 (0.009) *	0.018 (0.009) **	0.017 (0.009) *
date2011	0.079 (0.009) ***	0.079 (0.009) ***	0.079 (0.009) ***
date2012	-0.004 (0.009)	-0.004 (0.009)	-0.003 (0.009)
s(x,y)			edf=28.9 ***
Constant	0.956 (0.013) ***	1.005 (0.014) ***	1.117 (0.006) ***
N Obs.	1 113	1 113	1 113
% déviance expl.	39	42.2	43.6
Log Lik.	1 046	1 076	1 056
AIC	-2 038.2	-2 096.5	-2 113.1

Note :

* p<0.1 ; ** p<0.05 ; *** p<0.01

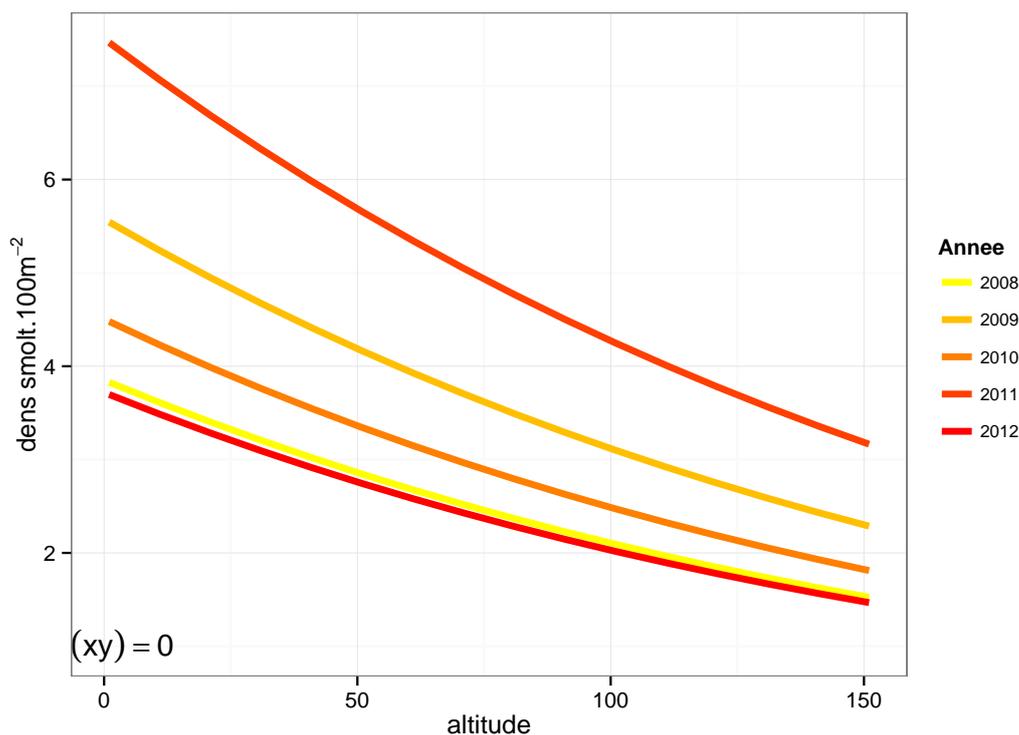


FIGURE B.4 – Réponse du modèle *GAM B.2* en Bretagne, densités prédites en fonction du débit et pour 5 années de 2008 à 2012, le choix du smoother en xy correspond à une prédiction sur le Trieux.

B.3 Prédiction

Les prédictions pour la Bretagne posent un problème d'interpolation au niveau des Abers dans le Finistère (Figure B.5). Le modèle y prédit des densités très importantes car le smoother tend à expliquer les fortes densités sur l'Elorn et le Trieux. En prenant en compte le fait que les abers sont surtout des cours d'eau à truites de mer assez peu productifs en saumons, les densités sont limitées à 5 smolts pour 100 m².

Tableau B.3 – Densités de smolts en Bretagne. Secteur=sous secteur hydrographique de la *BD Carthage*, \widehat{ia}_a = indices d'abondance de juvéniles 0⁺ médians par secteur et pour les années 2008 à 2012, production de smolt (N.100 m⁻²) : \widetilde{d}_a = médianes par secteur observées actuellement de 2008 à 2012, \widehat{d}_a moyennes des densités prédites par le modèle dans les conditions actuelles pour l'année 2010, \widehat{d}_h moyennes des densités prédites par le modèle historique sur les secteurs non accessibles actuellement pour l'année 2010.

Bassin	Secteur	\widehat{ia}_a	\widetilde{d}_a	\widehat{d}_a	\widehat{d}_h
ARGUENON	l'arguenon de sa source à la mer				1.60
AULNE	l'aulne de sa source à l'hyere	7.5	1.07	0.92	3.60
AULNE	l'hyere et ses affluents				2.79
AULNE	l'aulne de l'hyere à la mer	3.0	0.43	0.57	4.04
AVEN	côtiers de l'aven à la laita	25.0	3.58	4.27	4.11
BLAVET	le blavet de sa source au canal de nantes à brest				1.41
BLAVET	le canal de nantes à brest jusqu'au blavet				1.62
BLAVET	le blavet canalisé				1.23
BLAVET	l'evel de sa source au blavet	32.5	4.65	2.21	2.08
BLAVET	le blavet du canal de nantes à brest à l'evel	7.0	1.00	1.19	1.33
BLAVET	le blavet de l'evel à la mer	13.0	1.86	1.91	1.90

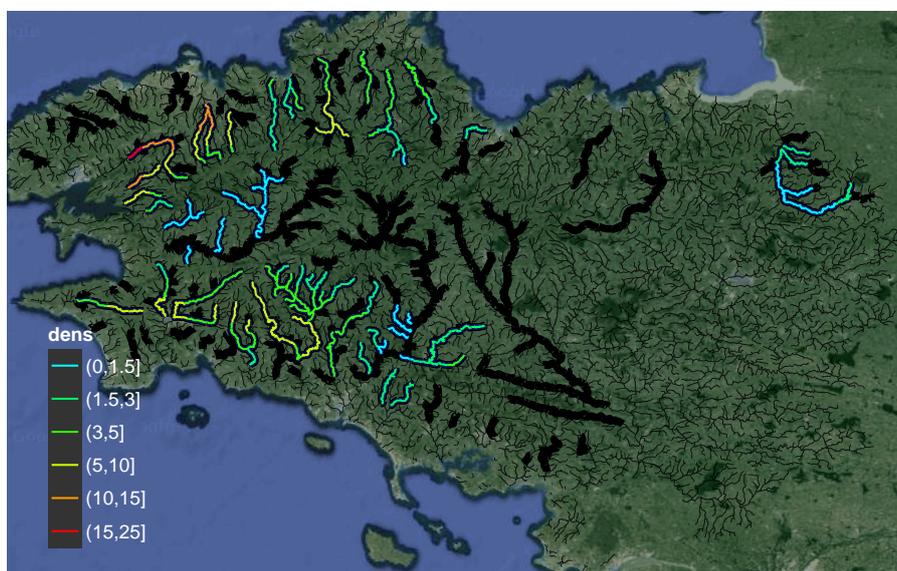
Tableau B.3 – (continued)

Bassin	Secteur	\widetilde{ia}_a	\widetilde{d}_a	\widehat{d}_a	\widehat{d}_h
CAMFROUT	côtiers de l'elorn à l'aulne	33.0	4.73	7.31	
COTIERS	côtiers de l'aber-frac'h à l'aber-benoit				5.00
COTIERS	côtiers de la pointe de bloscon au keralle				5.00
COTIERS	la marle et le liziec de leur source à la mer et côtiers de l'île de conleau à port navalo				3.33
COTIERS	côtiers du keralle à l'aber-frac'h				5.00
COTIERS	côtiers de l'aber-benoit à l'elorn				5.00
COTIERS	côtiers de port navalo à la r de penerf				2.72
COTIERS	la laita ou elle de l'isole à la mer et côtiers de la laita aux roches de toulhars				4.49
COTIERS	le dourduff de sa source à la mer et côtiers du douron au jarlot				4.73
COTIERS	côtiers du j410400 à la r de pont-l'abbe				4.07
COTIERS	côtiers de l'aulne à la pointe du raz				5.00
COUESNON	le couesnon de sa source au général	24.0	3.44	1.56	2.57
COUESNON	le couesnon du général à la loisance	7.0	1.00	1.14	1.84
COUESNON	le couesnon de la loisance à la mer	9.0	1.29	2.56	3.45
DOSEN	r de morlaix ou jarlot de sa source à la mer et côtiers du dourduff à la penze	70.5	10.10	6.26	6.91
DOURON	le douron de sa source à la mer	34.0	4.87	2.87	
ELLE ISOLE	l'elle et ses affluents	30.0	4.30	3.73	2.68
ELLE ISOLE	l'isole et ses affluents	53.0	7.59	5.99	5.80
ELORN	l'elorn de sa source à la mer	85.5	12.24	12.26	11.03

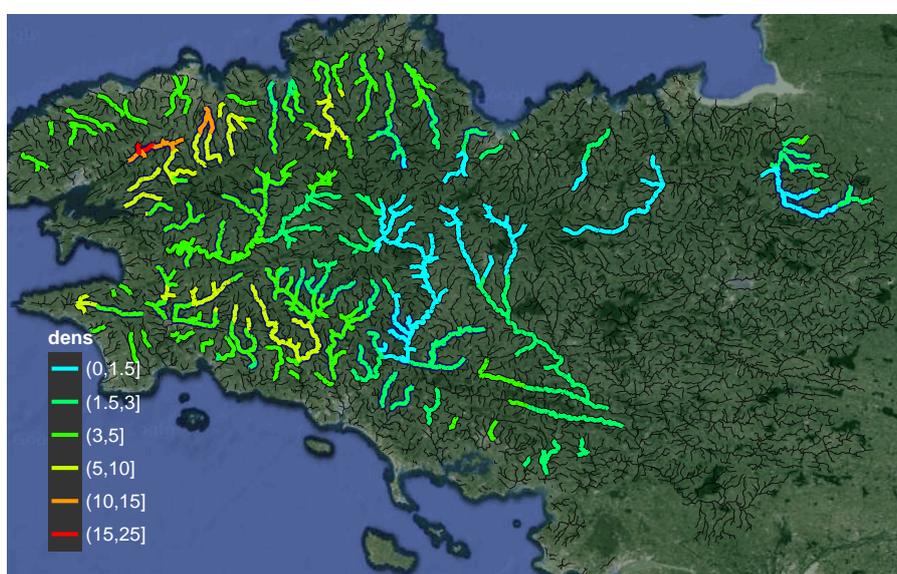
ANNEXE B. PRÉDICTION DES DENSITÉS DE SMOLTS EN BRETAGNE

Tableau B.3 – (continued)

Bassin	Secteur	\widetilde{ia}_a	\widetilde{d}_a	\widehat{d}_a	\widehat{d}_h
GOUESSANT	le gouessant de sa source à la mer				1.90
GOUESSANT	l'urne de sa source à la mer et côtiers du gouessant au gouet				1.58
GOUET	le gouet de sa source à la mer	16.0	2.29	1.94	1.41
GOYEN	raux de la pointe du raz au j410400	47.0	6.73	5.08	5.27
JAUDY	le jaudy de sa source à la mer et côtiers du bouillenou au jaudy	40.0	5.73	4.48	4.57
KERGROIX	r d 'etel de sa source à la mer et côtiers du blavet au rau de l'étang	17.0	2.43	2.11	
LEFF	le leff et ses affluents	27.0	3.87	3.66	3.03
LEGUER	le leguer de sa source à la mer et côtiers du leguer au rau du coat tredrez	46.5	6.66	5.77	4.58
ODET	l'odet de sa source au steir	39.0	5.58	4.40	4.94
ODET	le steir et ses affluents	40.0	5.73	3.86	4.98
ODET	l'odet du steir à la mer				3.95
ODET	côtiers de l'odet à l'aven				3.14
OUST	le lie et ses affluents				1.36
OUST	l'oust de sa source au lie				1.36
OUST	l'oust du lie au ninian				2.36
OUST	l'oust du ninian à la claie				2.57
OUST	l'oust de l'aff à la vilaine				2.63
OUST	l'oust de la claie à l'aff				1.70
OUST	la vilaine de l'isac à la mer				1.96
OUST	l'etier de billiers de sa source à la mer				2.45
PENZE	la penze de sa source à la mer et côtiers de la rivière de morlaix à la pointe de bloscon	80.0	11.46	8.65	
R.AURAY	le loc 'h ou r d 'auray de sa source à la mer et côtiers entre les pointes de kerpenhir et loc-mique				2.96
RANCE	la rance de sa source au linon				0.98
RANCE	la rance du linon à la mer				1.16
SCORFF	le scorff de sa source au rau de pont er bellec	33.0	4.73	2.57	3.06
SCORFF	le scorff du rau de pont er bellec à la mer	35.0	5.01	4.35	4.12
TRIEUX	le trieux de sa source au leff	27.5	3.94	2.82	
YAR	côtiers du rau de coat tredrez au douron	8.0	1.15	2.89	2.96



(a) Situation actuelle



(b) Situation sans barrage

FIGURE B.5 – Nombre de smolts produits pour 100 m^2 de surface d'ERR sur les habitats colonisés actuellement -souligné en bleu- et sur les habitats potentiels historiques en Bretagne - soulignés en noir.

Sur la Loire l'objectif du modèle est de refléter l'état du stock lorsque la cible de dépose d'oeufs est optimale. La modélisation des productions historiques reflétera donc des niveaux de production pour lesquelles le nombre de géniteurs n'est pas limitant. La stratégie de repeuplement n'est pas restée toujours la même sur l'Allier, et de 2002 à 2006, les meilleurs habitats en amont de Langeac ont été utilisés pour le déversement. A partir de 2007 les déversements ont été effectués sur des habitats considérés comme moins favorables, sur l'Allier en aval de Langeac. L'utilisation, comme en Bretagne, des données de 2008 à 2012 aurait eu comme conséquence de sous estimer les productivités des meilleures zones, et de surestimer les productivités des habitats déversés en aval de Langeac. Pour cette raison, en amont de Langeac, des données comparables sont utilisées, c'est à dire des données de déversement de 2002 à 2006. L'année 2007 n'est pas utilisée car c'est une année de transition dans la stratégie de repeuplement. Le calage du modèle est donc effectué en utilisant toujours les mêmes conditions, *i.e.* les indices d'abondances sur les secteurs déversés.

C.1 Calcul des productions de smolts à partir des données d'indice d'abondance de tacons 0⁺

La même relation entre la production de **smolts** et les indices d'abondances a été utilisée sur la Loire et en Bretagne. En effet, une étude similaire à celle de [Prevost et Nihouarn \(1999\)](#) a été utilisée. Le coefficient directeur de la régression était respectivement de 0.353 pour l'Allier (CSP, non publié) et 0.333 pour la Gartempe (CSP, non publié). Ces données, très proches de la relation de [Prevost et Nihouarn \(1999\)](#), ont conduit à appliquer cette régression sur l'ensemble du territoire

C.2 Ajustement du modèle

Comme en Bretagne, la normalisation des **résidus** du modèle nécessite d'enlever les données nulles qui correspondent à 11 % des données. L'ajustement de la densité conduit à sélectionner un **modèle mixte** (Formule C.3) incluant un effet bassin et l'altitude dans la partie aléatoire du modèle, et un effet géologie et largeur pour la partie fixe du modèle (Tableaux C.2 et C.3). Il n'a pas été possible d'utiliser un modèle spatialisé comme dans le cas de la Bretagne, les données ne couvrent pas un territoire suffisant et les extrapolations du modèle se révèlent hasardeuses. Des descripteurs habituels de la productivité des cours d'eau comme le débit, la pente, ou la température estivale ne sont pas significatifs. La comparaison des ajustements d'un **GLM** simple avec la variable bassin comme réponse discrète (C.2), et un modèle mixte (C.3) qui ne comporte pas la variable continue altitude dans les effets aléatoires du modèle, montre que le modèle choisi (C.3) est le meilleur modèle suivant le critère d'**Akaike Information Criterion** (Tableau C.1).

Tableau C.1 – Comparaison des modèles C.1,C.2,C.3, le modèle C.3 est le meilleur modèle

Modele	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	Pr(>)
C.1	1	10	970.20	1008.07	-475.10		
C.2	2	6	978.05	1000.86	-483.03	C.1 ⇔ C.2	15.85 0.00
C.3	3	7	949.53	976.17	-467.77	C.2 ⇔ C.3	30.52 0.00

$$\ln(d) \approx \alpha \text{altitude} + \beta_{\text{geol}} \text{geol} + \gamma \text{largeur} + \delta b v \delta + \epsilon \quad (\text{C.1})$$

$$\begin{aligned} \ln(d) &\approx \alpha_{ij}altitude + \beta_{geolij}geol + \gamma_{ij}largeur + \delta_{ij} + \zeta_i + \epsilon_{ij} \\ \epsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2) \\ i &= station, j = bassin \end{aligned} \quad (C.2)$$

$$\begin{aligned} \ln(d) &\approx \alpha_i altitude + \beta_{geolij} geol + \gamma_{ij} largeur + \delta_{ij} + \zeta_i + \epsilon_{ij} \\ \epsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2), \alpha_j \sim N(0, D), \zeta_j \sim N(0, F), \epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2) \\ i &= station, j = bassin \end{aligned} \quad (C.3)$$

avec $\ln(d)$ = densité de smolts log transformée, bv = bassin versant, α , β_{geol} , γ coefficients du modèle, $altitude$ = altitude du tronçon hydrographique, $geol$ = substrat géologique **socle** ou **sédimentaire**, δ et ζ intercepts, ϵ résidus.

Tableau C.2 – Ajustement du modèle mixte C.3, coefficients et probabilités pour la partie fixe du modèle

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
δ (intercept)	1.66	0.30	327.00	5.49	0.00
β_{geol} (geol=socle)	0.72	0.15	327.00	4.80	0.00
γ (largeur)	-0.04	0.01	327.00	-4.43	0.00

Tableau C.3 – Ajustement du modèle mixte C.3, coefficients et probabilités pour la partie aléatoire du modèle

	(BV) (intercept)	α (altitude) (pente)
ALA	1.096	-0.001
ALL	2.494	-0.003
ARR	-1.851	0.002
DOR	-2.019	0.003
GAR	-2.149	0.003
SIO	0.513	-0.001

Les **résidus** du modèle respectent la condition de normalité (Figure C.1). Un effet de l'altitude a été rentré pour la partie aléatoire du modèle. Cet effet permet de faire des prédictions en fonction de l'altitude pour les bassins non inclus dans le jeu de calage. Pour la partie aléatoire du modèle, les coefficients θ de réponse en fonction de l'altitude diffèrent entre bassins, avec des réponses positives (la densité augmente avec l'altitude) dans le cas de l'Arroux, de la Dore et de la Gartempe, et négatives (la densité diminue avec l'altitude), dans le cas de l'Allier et dans une moindre mesure de l'Alagnon et de la Sioule (Tableau C.3, Figure C.2). Ces résultats s'expliquent par le fait que les premiers bassins sont des bassins dont la qualité de l'habitat se dégrade fortement sur l'aval, et par le fait que les zones amont des secteurs Allier, Alagnon et Sioule sont moins facilement accessibles que les secteur aval. On y voit peut être l'effet de la reproduction naturelle. La réponse du modèle en fonction de la largeur montre une augmentation de la productivité vers l'amont. La réponse du modèle en fonction du substrat est également significative et montre, comme attendu, une augmentation de la production sur des secteurs de socle. (Figure C.3, Tableau C.2).

ANNEXE C. PRÉDICTION DES DENSITÉS DE SMOLTS SUR LA LOIRE

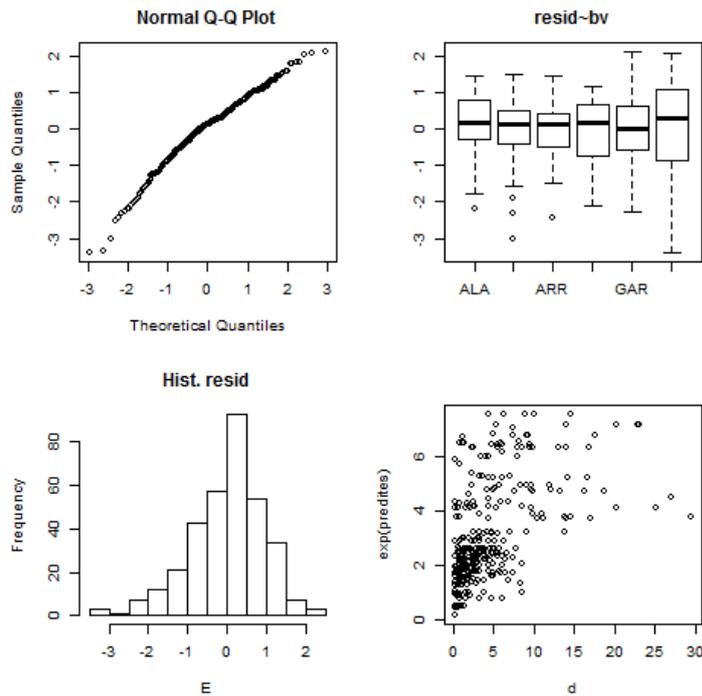


FIGURE C.1 – Sorties de validation du modèle mixte C.3 sur le bassin de la Loire.

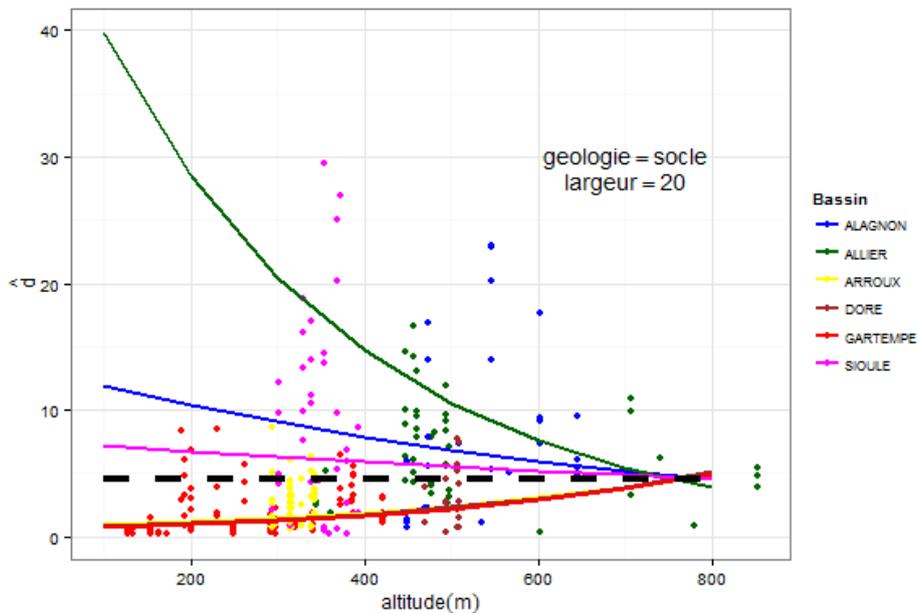


FIGURE C.2 – Prédications du modèle C.3 sur le bassin de la Loire, densités observées et prédites en fonction de l'altitude. Prédications du modèle mixte avec une réponse par bassin, en noir, prédiction pour un modèle "moyen". Les prédictions sont effectuées pour une largeur proche de la médiane des largeurs observées (20) et pour un substrat géologique de type socle.

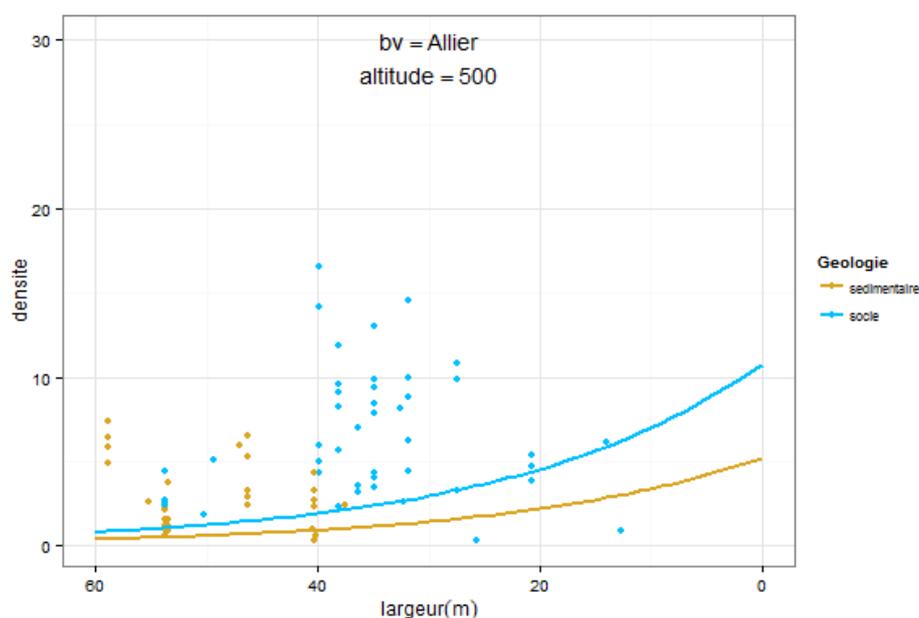


FIGURE C.3 – Réponse du modèle C.3 sur le bassin de la Loire en fonction de la largeur et du substrat, données et prédictions limitées à l'Allier, prédiction pour une altitude de 500m.

C.3 Prédiction

Tableau C.4 – Densités de smolts sur le bassin de la Loire. Secteur=sous secteur hydrographique de la BD Carthage, N nombre de données dans le jeu de calage du modèle, \widetilde{ia}_a = medianes des indices d'abondance de juvéniles 0^+ moyens par secteur et pour les années 2008 à 2012 (2002 à 2006 sur l'Allier en amont de Langeac), production de smolt ($N.100\ m^{-2}$) : \widetilde{d}_a = médianes observées actuellement de 2008 à 2012 (2002 à 2006 sur l'Allier en amont de Langeac), $\widehat{\widetilde{d}}_a$ moyennes prédites par le modèle dans les conditions actuelles pour l'année 2010, $\widehat{\widetilde{d}}_h$ = moyennes prédites par le modèle sans barrage sur les secteurs non accessibles actuellement pour l'année 2010.

Bassin	Secteur	N	\widetilde{ia}_a	\widetilde{d}_a	$\widehat{\widetilde{d}}_a$	$\widehat{\widetilde{d}}_h$
ALAGNON	l'alagnon et ses affluents	34	41.5	5.94	5.16	7.71
ALLIER	l'allier de sa source au chapeauroux	3	33.0	4.73	4.98	7.75
ALLIER	le chapeauroux et ses affluents	2	24.5	3.51	6.32	7.99
ALLIER	l'allier du chapeauroux à la desges	4	46.0	6.59	3.18	7.73
ALLIER	l'allier de la desges à la senouire	32	52.0	7.45	3.47	8.01
ALLIER	l'allier de la senouire à l'alagnon	8	16.5	2.36	1.81	
ALLIER	l'allier de l'alagnon à l'auzon	24	21.5	3.08	1.61	6.31
ALLIER	l'allier de l'auzon à la dore	5	11.0	1.58	1.61	
ALLIER	l'allier de la dore au beron					7.38
ARROUX	l'arroux de sa source au mechet	76	17.5	2.51	3.87	3.44
ARROUX	l'arroux du mechet à la loire					2.95
BESBRE	la besbre et ses affluents					4.61
CHER	la tardes et ses affluents					6.18
CHER	le cher de sa source à la tardes					7.08
CHER	l'aumance et ses affluents					6.45
CHER	le cher de la tardes à l'aumance					1.98
CREUSE	la creuse de sa source à la rozeille					6.92

ANNEXE C. PRÉDICTION DES DENSITÉS DE SMOLTS SUR LA LOIRE

Tableau C.4 – (continued)

Bassin	Secteur	N	\widetilde{ia}_a	\widetilde{d}_a	\widehat{d}_a	\widehat{d}_h
CREUSE	la creuse de la rozeille au rau de chezalet					4.23
CREUSE	la petite creuse de sa source au rau de l'étang de la cellette					6.87
CREUSE	la creuse du rau de chezalet à la petite creuse					3.50
CREUSE	la petite creuse du rau de l'étang de la cellette à la creuse					4.73
CREUSE	la creuse de la petite creuse à la bouzanne					2.95
DORE	la dore de sa source à la faye	17	19.0	2.72	3.55	4.97
DORE	la dore de la faye à l'allier	1	1.0	0.14	1.70	6.80
GARTEMPE	la gartempe de sa source à l'ardour	34	13.0	1.86	4.84	6.39
GARTEMPE	la gartempe de l'ardour au vincou	31	12.0	1.72	3.11	6.21
GARTEMPE	le vincou et ses affluents	1	1.0	0.14		7.31
GARTEMPE	la gartempe du vincou à la brame	18	2.0	0.29	1.94	
GARTEMPE	la benaize et ses affluents					5.74
GARTEMPE	l'anglin de sa source à la benaize				4.11	
GARTEMPE	la gartempe de la brame à l'anglin	1	2.0	0.29	1.56	
GARTEMPE	l'anglin de la benaize à la gartempe					1.65
GARTEMPE	la creuse de la bouzanne à la gartempe					0.95
GARTEMPE	la gartempe de l'anglin a la creuse					0.74
LOIRE	la loire de sa source à la mejeanne					6.24
LOIRE	la loire de la mejeanne à la laussonne					5.36
LOIRE	la loire de la laussonne à la sumene					6.29
LOIRE	le lignon et ses affluents					6.20
LOIRE	la loire de la sumene au lignon					4.50
LOIRE	la loire du lignon au barrage de grangent					5.11
LOIRE	la loire du barrage de grangent au gand					4.72
LOIRE	la loire du gand à l'aix					3.27
LOIRE	l'aix et ses affluents					5.43
LOIRE	la loire de l'aix au rhins					3.58
SIOULE	la sioule de sa source à la viouze					6.25

Tableau C.4 – (continued)

Bassin	Secteur	N	\widetilde{ia}_a	\widetilde{d}_a	\widehat{d}_a	\widehat{d}_h
SIOULE	la sioule de la viouze à l'allier	44	36.0	5.16	2.69	5.82
VIENNE	le taurion de sa source à la leyrenne					6.16
VIENNE	la vienne de sa source à la combade					6.22
VIENNE	la vienne de la combade au taurion					4.54
VIENNE	le taurion de la leyrenne à la vienne					5.33
VIENNE	la briançe et ses affluents					6.85
VIENNE	la vienne du taurion à la briançe					1.33
VIENNE	la vienne de la briançe à l'aixelle					5.71
VIENNE	la glane et ses affluents					6.77
VIENNE	la vienne de l'aixelle à la glane					1.04
VIENNE	la vienne de la glane à la goire					3.24
VIENNE	l'issoire et ses affluents					7.03
VIENNE	la vienne de la goire à l'issoire					5.70
VIENNE	la blourde et ses affluents					7.38
VIENNE	la vienne de l'issoire à la blourde					0.67
VIENNE	la vienne de la blourde au talbat					0.26
VIENNE	la vienne du talbat au clain					0.27

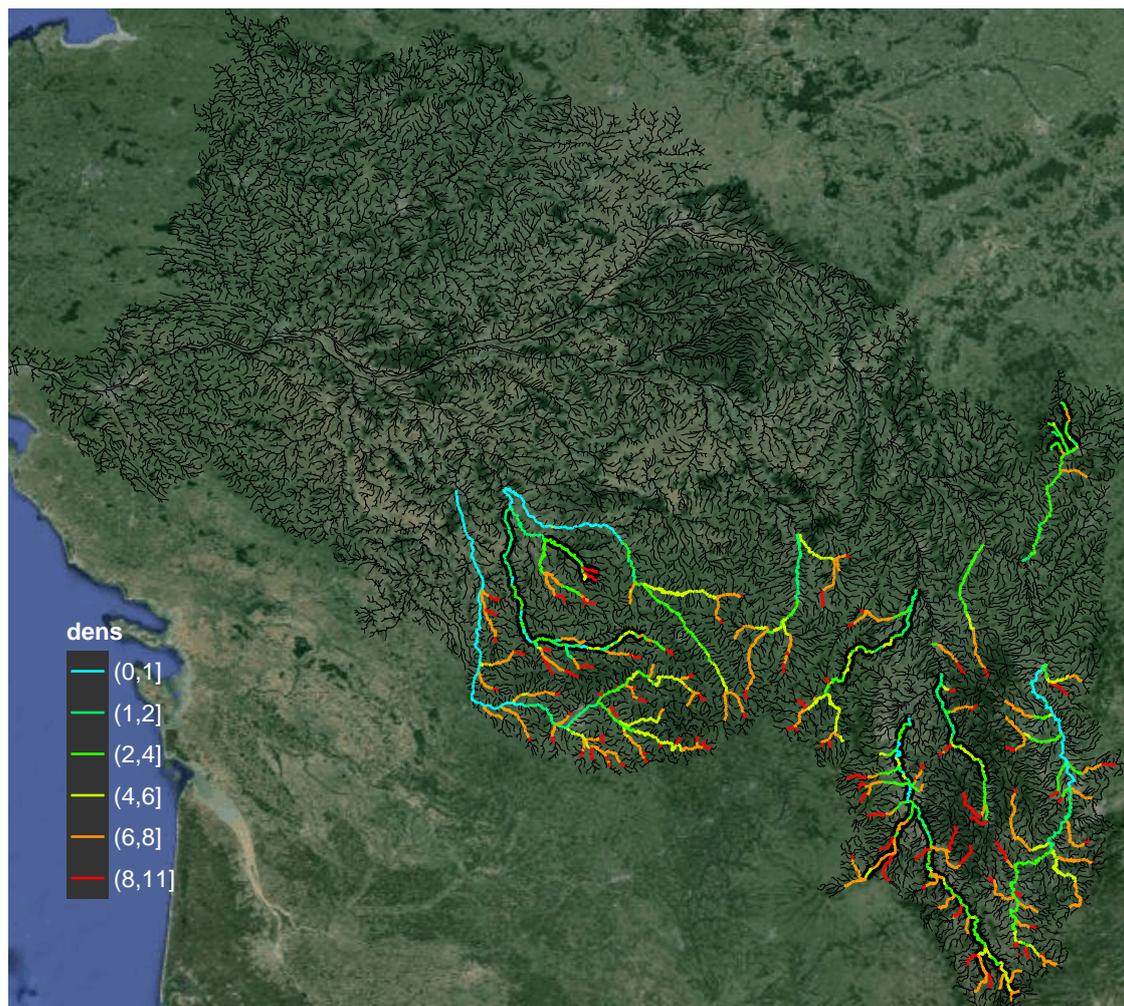


FIGURE C.4 – Nombre de smolts produits pour 100 m² de surface d'ERR sur les habitats colonisés actuellement et sur les habitats potentiels historiques du bassin de la Loire (soulignés en noir).

Tableau D.1 – Productions en milliers d'anguilles argentées par cours d'eau en Bretagne estimée par le modèle EDA2.0

Secteur	Nb
côtiers de la rance au trieux	18.70
côtiers du blavet à la vilaine	26.60
côtiers du couesnon à la rance	26.50
côtiers du trieux à la pointe de bloscon	14.40
l'oust et ses affluents	24.40
L'Yonne de sa source au confluent de la Seine	0.00
la loire de la sevre nantaise à la mer	16.50
La Sélune de sa source à l'embouchure	0.40
la vilaine de sa source au canal de nantes à brest	33.80
la vilaine du canal de nantes à brest à la mer et côtiers de la vilaine à la loire	34.80
le blavet de sa source à la mer	28.00
	2.40
TOTAL	306.70

Tableau D.2 – Productions en milliers d'anguilles argentées par cours d'eau sur la Loire estimée par le modèle EDA2.0

Secteur	Nb
l'allier de la dore à la loire	0.60
l'allier de sa source à la dore	0.30
l'indre de sa source à la loire et la loire de l'indre à la vienne	4.20
la creuse de la gartempe à la vienne	2.00
la creuse de sa source à la gartempe	1.00
la gartempe et ses affluents	1.30
la loire de l'èvre à la sevre nantaise	58.60
la loire de l'allier au cher	11.70
la loire de l'authion à la maine	5.20
la loire de la maine à l'èvre	25.10
la loire de la sevre nantaise à la mer	119.40
la loire de la vienne à l'authion	20.40
la loire de sa source au rhins	0.20
la loire du rhins à l'allier	1.30
la mayenne et la sarthe de la vieille maine à la maine et la maine jusqu'à la loire	4.20
la mayenne de sa source à la vieille maine	8.10
la sarthe de sa source au loir	9.40
la sarthe du loir à la vieille maine	0.60
la sevre nantaise et ses affluents	15.10
la vienne de la creuse à la loire	5.40
la vienne de la goire au clain	1.80
la vienne de sa source à la goire	0.40
la vienne du clain à la creuse	1.70
la vilaine du canal de nantes à brest à la mer et côtiers de la vilaine à la loire	0.00
le cher de l'arnon à la loire et la loire du cher à l'indre (nc)	7.70
le cher de sa source à l'arnon	0.80
le clain et ses affluents	1.50
le loir et ses affluents	6.60
	0.00
TOTAL	314.90

ANNEXE D. PRODUCTIONS D'ANGUILLES

Tableau D.3 – Productions en milliers d'anguilles argentées par cours d'eau en Vendée estimée par le modèle EDA2.0

Secteur	Nb
côtiers de la loire à la vie	16.70
côtiers de la vie à la r du goulet	9.60
l'autize et ses affluents	2.90
la sevre niortaise de l'autize à la vendee	13.20
la sevre niortaise de la vendee à la mer et	27.80
côtiers du chenal de la raque à angoulins	
la sevre niortaise de sa source à l'autize	11.90
la vendee et ses affluents	6.80
la vie et ses affluents	13.50
Le canal de Port-Punay	0.00
le lay et ses affluents	22.00
TOTAL	124.40

E.1 Bassins et stations pour les débits

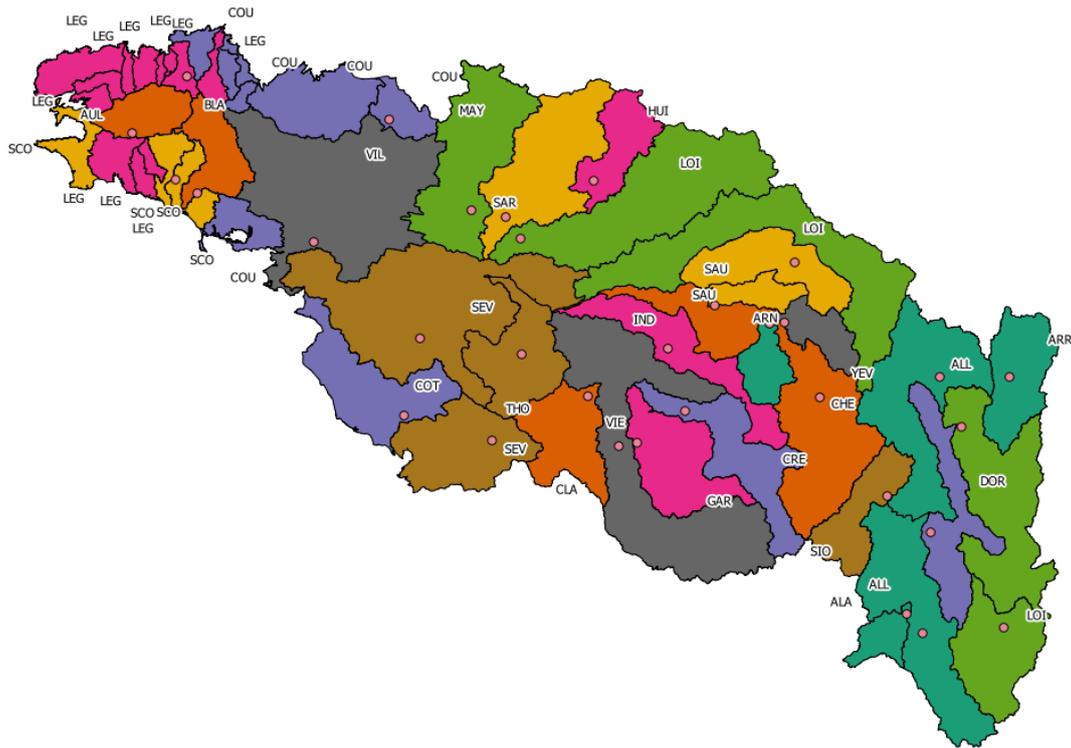


FIGURE E.1 – Stations hydrométriques sélectionnées pour le calcul des débits classés et zones d'influence

E.1 BASSINS ET STATIONS POUR LES DÉBITS

Tableau E.1 – Stations hydrométriques utilisées pour calculer les débits classés sur le bassin de la Loire (Carte E.1).

Code hydro	Nom de station	Year min	Year max	Bassin	code
K2593010	L'Alagnon à Lempdes	1983	2012	ALAGNON	ALA
K2330810	L'Allier à Vieille-Brioude	1983	2012	ALLIER	ALL
K6192420	L'Arnon à Méreau [Alnay]	1996	2012	ARNON	ARN
K1321810	L'Arroux à Étang-sur-Arroux [Pont du Tacot]	1983	2012	ARROUX	ARR
K5400920	Le Cher à Saint-Amand-Montrond	1983	2012	CHER AMONT	CHE
L2501610	Le Clain à Dissay	1983	2012	CLAIN	CLA
L4710710	La Creuse à Ciron [Scoury]	1983	2012	CREUSE	CRE
K2981910	La Dore à Dorat	1991	2012	DORE	DOR
L5411810	La Gartempe à Montmorillon	1983	2012	GARTEMPE	GAR
M0421510	L'Huisne à Montfort-le-Gesnois [La Pécardière]	1983	2012	HUISNE	HUI
K7312610	L'Indre à Saint-Cyran-du-Jambot	1983	2012	INDRE	IND
M1531610	Le Loir à Durtal	1983	2012	LOIR	LOI
K0550010	La Loire à Bas-en-Basset	1983	2012	LOIRE AMONT	LOI
K1440010	La Loire à Gilly-sur-Loire	1983	2012	LOIRE MOYENNE	LOI
M3600910	La Mayenne à Château-Gontier	1983	2012	MAYENNE	MAY
M0680610	La Sarthe à Saint-Denis-d'Anjou [Beffes]	1983	2012	SARTHE	SAR
K6492510	La Sauldre à Selles-sur-Cher	1983	2012	SAULDRE	SAU
K6332520	La Grande Sauldre à Brinon-sur-Sauldre [2]	1989	2012	SAULDRE AMONT	SAU
M7112410	La Sèvre Nantaise à Tiffauges [La Moulinette]	1983	2012	SEVRE TAISE	NAN- SEV
K3322010	La Sioule à Ébreuil	1983	2012	SIOULE	SIO
L8222110	Le Thouet à Missé	1992	2012	THOUET	THO
L1400610	La Vienne à Lussac-les-Châteaux	1985	2012	VIENNE	VIE
K5712310	L'Yèvre à Foëcy	2000	2012	YEVRE	YEV

Tableau E.2 – Stations hydrométriques utilisées pour calculer les débits classés sur le bassin de Vendée et Bretagne (Carte E.1).

Code hydro	Nom de station	Year min	Year max	Bassin	code
J3811810	Châteauneuf-du-Faou (Pont Pol)	1982	2012	AULNE	AUL
J5712130	Le Blavet à Languidic [Quellenec]	1983	2012	BLAVET	BLA
J0121510	Romazy	1982	2012	COUESNON	COU
J2233010	Belle-Isle-en-Terre	1982	2012	LEGUER	LEG
J5102210	Le Scorff à Plouay [Pont Kerlo]	1982	2012	SCORFF	SCO
J9300610	La Vilaine à Rieux	1982	2012	VILAINE	VIL
N3301610	Le Lay à Mareuil-sur-Lay- Dissais	1983	2012	COTIERS DEENS	VEN- COT
N4110620	La Sèvre Niortaise à Échiré [Chateau Salbart]	1988	2012	SEVRE TAISE	NIOR- SEV

E.1 BASSINS ET STATIONS POUR LES DÉBITS

Tableau E.3 – Comparaison des modules de débits du RHT et de la banque hydro

bassin	Q_i^{BH}	Q_i^{RHT}	Q_i^{RHT}/Q_i^{BH}
Aulne	22	23	1.06
Blavet	27	29	1.06
Couesnon	5	5	1.01
Leguer	5	4	0.75
Scorff	5	5	1.09
Vilaine	71	86	1.20
Cotiers vendeens	9	11	1.19
Sevre niortaise	16	9	0.58
Alagnon	12	12	1.04
Allier	25	28	1.12
Arnon	12	13	1.12
Arroux	22	23	1.08
Cher amont	25	26	1.01
Clain	22	27	1.23
Creuse	34	36	1.06
Dore	19	21	1.06
Gartempe	21	24	1.16
Huisne	13	12	0.96
Indre	12	13	1.07
Loir	32	34	1.07
Loire amont	34	44	1.29
Loire moyenne	124	139	1.13
Mayenne	37	40	1.06
Sarthe	49	53	1.08
Sauldre	14	15	1.09
Sauldre amont	4	5	1.08
Sevre nantaise	9	10	1.04
Sioule	19	18	0.96
Thouet	10	8	0.79
Vienne	80	92	1.15
Yevre	15	12	0.84

E.2 Les débits classés - résultats

Les débits classés ont été calculés sur 31 bassins versants. Les données des modules sont globalement très proches entre celles calculées depuis la **banque hydro** et le **module** calculé sur chaque tronçon donné par le **RHT**. (Tableau E.3 et Tableau E.4). Les coefficients du tableau E.4 représentent un nombre sans dimension qui, multiplié par la valeur du **module RHT** donne le débit de la rivière, pendant la période de **dévalaison** pour la classe de débit considérée.

Tableau E.4 – Coefficients à multiplier par le débit du **RHT** pour donner les valeurs de débit classés en tout point du bassin

Bassin	Saumon (mars-mai)					Anguille (octobre-avril)				
	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Aulne	0.30	0.52	0.79	1.22	2.11	2.01	3.14	4.05	5.10	6.78
Blavet	0.44	0.67	0.90	1.21	1.92	1.67	2.78	3.74	4.87	6.62
Couesnon	0.31	0.52	0.77	1.22	2.29	1.76	3.25	4.38	5.40	6.98
Leguer	0.63	0.97	1.32	1.83	2.93	2.41	3.86	5.15	6.48	7.89
Scorff	0.48	0.70	0.93	1.23	1.85	1.60	2.51	3.41	4.41	5.84
Vilaine	0.26	0.42	0.69	1.08	1.97	1.58	2.97	4.12	5.36	6.91
Cotiers vendeens	0.12	0.25	0.44	0.77	1.68	1.48	3.20	4.91	6.77	9.70
Sevre niortaise	0.22	0.34	0.52	0.88	1.62	1.42	2.42	3.40	4.62	6.73
Alagnon	0.42	0.75	1.13	1.62	2.82	1.60	2.61	3.45	4.38	5.87
Allier	0.37	0.59	0.89	1.34	2.35	1.28	2.10	2.76	3.56	5.50
Arnon	0.43	0.63	0.89	1.31	2.23	1.42	2.21	3.04	3.93	5.91
Arroux	0.26	0.45	0.71	1.15	2.51	1.66	2.98	4.21	5.49	7.34
Cher amont	0.21	0.47	0.86	1.52	2.88	1.65	2.74	3.79	5.17	7.33
Clain	0.26	0.44	0.70	1.20	2.07	1.44	2.20	2.88	3.62	4.78
Creuse	0.30	0.55	0.93	1.53	2.55	1.64	2.60	3.66	4.89	6.83
Dore	0.33	0.64	0.93	1.29	2.38	1.45	2.46	3.26	4.14	5.33
Gartempe	0.36	0.54	0.82	1.29	2.48	1.42	2.43	3.24	4.12	5.36
Huisne	0.58	0.71	0.87	1.16	2.02	1.40	2.46	3.50	4.36	5.97
Indre	0.41	0.59	0.91	1.30	2.53	1.59	2.68	3.47	4.88	6.74
Loir	0.42	0.60	0.80	1.05	2.25	1.34	2.71	3.72	4.88	6.36
Loire amont	0.28	0.51	0.76	1.16	2.06	1.18	1.84	2.45	3.31	4.87
Loire moyenne	0.27	0.52	0.82	1.21	2.22	1.50	2.38	3.18	4.10	5.38
Mayenne	0.33	0.51	0.75	1.17	2.22	1.73	3.15	4.29	5.42	6.86
Sarthe	0.39	0.54	0.73	1.09	2.31	1.50	2.86	4.01	5.34	6.78
Sauldre	0.33	0.55	0.83	1.34	2.88	1.56	2.81	3.86	4.80	6.44
Sauldre amont	0.28	0.49	0.71	1.03	2.19	1.48	2.70	3.96	5.29	7.42
Sevre nantaise	0.27	0.46	0.67	1.00	1.99	1.63	3.23	4.98	6.97	9.86
Sioule	0.28	0.54	1.06	1.69	2.81	1.81	2.70	3.01	3.50	4.69
Thouet	0.20	0.31	0.44	0.81	2.30	2.00	3.89	6.19	9.67	14.46
Vienne	0.36	0.54	0.82	1.22	2.19	1.41	2.36	3.17	3.96	5.53
Yevre	0.44	0.70	0.95	1.49	3.37	1.99	3.11	3.77	4.37	4.95

E.2 LES DÉBITS CLASSÉS - RÉSULTATS

Le scénario de production moyenne est un scénario alternatif de modélisation, avec un modèle plus simple de moyenne de production par bassin, qui ne prend pas en compte les gradients amont-aval de productivité. Il est donné pour illustrer ce que seraient les résultats avec cette méthode.

Tableau F.1 – Mortalité des ouvrages de la Loire pour le saumon pour un scénario de production moyenne de smolts. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.7, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE28711	22888	32.2	27.9	28.8	7370	7262	Allier
2	ROE9885	41730	9.7	3.5	15.3	4058	2935	Allier
3	ROE9934	34278	8.4	2.7	16.6	2889	2092	Allier
4	ROE9949	32816	7.4	2.9	9.8	2415	1856	Allier
5	ROE29781	9932	15.9	10.4	14.1	1581	1553	Sioule
6	ROE29187	16398	12.7	6.4	13.1	2090	1544	Sioule
7	ROE10036	16174	10.3	5.1	11.6	1667	1507	Alagnon
8	ROE29614	15360	9.4	3.2	13.7	1446	1241	Sioule
9	ROE81638	6414	15.0	8.7	15.4	963	963	Alagnon
10	ROE29268	16006	6.8	2.9	8.3	1095	861	Sioule
.	ROE27316	17157	7.4	3.7	7.6	1262	834	Sioule
.	ROE21937	6005	22.0	10.6	23.6	1320	761	Gartempe
.	ROE10050	10962	5.9	2.2	9.8	650	593	Alagnon
.	ROE19169	4484	13.1	6.3	14.7	589	589	Loire
.	ROE29625	13476	3.9	0.9	9.5	523	456	Sioule
.	ROE41951	3681	14.5	8.2	14.0	532	402	Dore
.	ROE11458	2258	15.9	11.8	14.0	359	359	Dore
.	ROE49054	2546	13.2	6.4	14.7	337	337	Allier
.	ROE21982	4876	9.4	3.1	14.6	460	268	Gartempe
.	ROE21940	5624	7.0	2.0	13.9	396	233	Gartempe
.	ROE15391	3665	10.7	3.4	17.3	391	222	Gartempe
.	ROE15367	3813	10.4	3.4	16.4	396	208	Gartempe
.	ROE16986	2091	13.3	6.1	14.6	278	201	Gartempe
.	ROE16834	2841	12.8	7.9	12.2	364	201	Gartempe
.	ROE16989	1764	13.4	6.3	14.6	237	194	Gartempe
.	ROE11294	2634	10.0	6.0	9.5	265	193	Dore
.	ROE21918	6319	6.4	1.8	12.6	402	192	Gartempe
.	ROE11301	2441	9.1	3.5	14.0	223	190	Dore
.	ROE16851	2748	11.1	5.2	12.1	306	185	Gartempe
.	ROE11453	2441	8.5	3.4	11.5	208	177	Dore
.	ROE4573	2940	5.9	1.7	11.8	172	172	Sioule
.	ROE16975	2259	10.7	4.3	13.1	242	149	Gartempe
.	ROE16788	3088	7.1	2.8	8.8	220	115	Gartempe
.	ROE6137	1272	10.5	5.7	10.8	134	113	Gartempe
.	ROE5344	853	14.6	7.1	15.6	125	113	Gartempe
.	ROE16982	2190	6.8	3.1	7.4	148	95	Gartempe
.	ROE12750	8574	1.6	0.5	3.1	137	81	Creuse
.	ROE6206	1764	5.4	1.5	10.6	95	78	Gartempe
.	ROE8272	566	13.3	6.1	14.6	75	74	Gartempe
.	ROE16979	2259	5.0	1.4	9.8	112	69	Gartempe
.	ROE22048	4238	1.1	0.3	2.2	48	25	Gartempe
.	ROE8674	141	6.8	2.0	13.5	10	10	Gartempe
.	ROE5511	964	0.8	0.2	1.7	8	6	Gartempe

Tableau F.2 – Mortalité des ouvrages de Bretagne pour le saumon pour le scénario de *production moyenne de smolts*. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.11b, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE11400	4793	8.0	5.0	8.3	384	340	Blavet
2	ROE22530	5599	5.5	2.2	10.3	310	310	Leguer
3	ROE33001	2321	12.5	6.7	15.5	290	290	Scorff
4	ROE30394	1146	17.3	18.6	15.5	198	198	Elle
5	ROE22332	6209	3.1	1.2	5.7	191	178	Leguer
6	ROE10033	1151	11.0	5.0	17.0	127	127	Blavet
7	ROE22333	8448	1.5	0.6	2.9	130	120	Leguer
8	ROE22533	5599	2.1	0.8	3.9	117	117	Leguer
9	ROE35710	739	14.3	7.9	16.2	105	105	Blavet
10	ROE14178	1474	7.0	4.7	7.0	103	99	Blavet
.	ROE11878	1364	6.9	2.0	14.5	94	94	Couesnon
.	ROE14165	1474	6.9	4.6	7.0	102	92	Blavet
.	ROE14155	1474	6.9	4.6	7.0	102	92	Blavet
.	ROE23245	5639	1.2	0.5	2.3	69	69	Trioux
.	ROE31215	343	9.1	4.4	14.1	31	31	Elle
.	ROE14804	266	9.5	6.5	9.3	25	25	Blavet
.	ROE15076	308	7.5	3.1	13.7	23	23	Blavet
.	ROE31387	191	10.4	5.1	15.1	20	20	Elle

Tableau F.3 – Mortalité dans les ouvrages de la Loire pour le saumon pour un scénario de *production modélisée actuelle* de smolts. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.7, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE28711	22489	32.2	27.9	28.8	7242	7096	Allier
2	ROE9885	36516	9.7	3.5	15.3	3551	2492	Allier
3	ROE9934	30053	8.4	2.7	16.6	2533	1764	Allier
4	ROE9949	28956	7.4	2.9	9.8	2131	1576	Allier
5	ROE10036	12071	10.3	5.1	11.6	1244	1123	Alagnon
6	ROE21937	10456	22.0	10.6	23.6	2298	1077	Gartempe
7	ROE29781	5105	15.9	10.4	14.1	813	797	Sioule
8	ROE19169	5616	13.1	6.3	14.7	737	737	Loire
9	ROE81638	4775	15.0	8.7	15.4	717	717	Alagnon
10	ROE29187	7442	12.7	6.4	13.1	949	684	Sioule
.	ROE29614	7193	9.4	3.2	13.7	677	572	Sioule
.	ROE16989	4867	13.4	6.3	14.6	653	518	Gartempe
.	ROE41951	4542	14.5	8.2	14.0	657	509	Dore
.	ROE21982	9640	9.4	3.1	14.6	910	462	Gartempe
.	ROE10050	8422	5.9	2.2	9.8	499	457	Alagnon
.	ROE49054	3421	13.2	6.4	14.7	452	452	Allier
.	ROE16986	5102	13.3	6.1	14.6	678	452	Gartempe
.	ROE16834	6634	12.8	7.9	12.2	849	438	Gartempe
.	ROE15391	7759	10.7	3.4	17.3	827	411	Gartempe
.	ROE16851	6422	11.1	5.2	12.1	715	402	Gartempe
.	ROE11458	2463	15.9	11.8	14.0	391	391	Dore
.	ROE15367	8058	10.4	3.4	16.4	837	389	Gartempe
.	ROE29268	7352	6.8	2.9	8.3	503	387	Sioule
.	ROE5344	2843	14.6	7.1	15.6	416	373	Gartempe
.	ROE27316	7594	7.4	3.7	7.6	559	355	Sioule
.	ROE21940	10155	7.0	2.0	13.9	715	348	Gartempe
.	ROE16975	5338	10.7	4.3	13.1	572	320	Gartempe
.	ROE6137	3682	10.5	5.7	10.8	388	316	Gartempe
.	ROE21918	10694	6.4	1.8	12.6	681	259	Gartempe
.	ROE16788	7209	7.1	2.8	8.8	513	253	Gartempe
.	ROE8272	1921	13.3	6.1	14.6	256	250	Gartempe
.	ROE11294	3083	10.0	6.0	9.5	310	230	Dore
.	ROE29625	6776	3.9	0.9	9.5	263	228	Sioule
.	ROE11301	2774	9.1	3.5	14.0	254	218	Dore
.	ROE6206	4867	5.4	1.5	10.6	262	208	Gartempe
.	ROE16982	5163	6.8	3.1	7.4	349	203	Gartempe
.	ROE11453	2774	8.5	3.4	11.5	236	203	Dore
.	ROE12750	17228	1.6	0.5	3.1	275	165	Creuse
.	ROE16979	5338	5.0	1.4	9.8	265	148	Gartempe
.	ROE4573	1611	5.9	1.7	11.8	94	94	Sioule
.	ROE22048	8523	1.1	0.3	2.2	96	43	Gartempe
.	ROE8674	625	6.8	2.0	13.5	43	43	Gartempe
.	ROE5511	3293	0.8	0.2	1.7	28	22	Gartempe

ANNEXE F. MORTALITÉ DE SMOLTS - PRODUCTION MOYENNE

Tableau F.4 – Mortalité dans les ouvrages de la Loire pour le saumon pour un scénario de *production modélisée actuelle* de smolts. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.7, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE28711	22489	32.2	27.9	28.8	7242	7096	Allier
2	ROE9885	36516	9.7	3.5	15.3	3551	2492	Allier
3	ROE9934	30053	8.4	2.7	16.6	2533	1764	Allier
4	ROE9949	28956	7.4	2.9	9.8	2131	1576	Allier
5	ROE10036	12071	10.3	5.1	11.6	1244	1123	Alagnon
6	ROE21937	10456	22.0	10.6	23.6	2298	1077	Gartempe
7	ROE29781	5105	15.9	10.4	14.1	813	797	Sioule
8	ROE19169	5616	13.1	6.3	14.7	737	737	Loire
9	ROE81638	4775	15.0	8.7	15.4	717	717	Alagnon
10	ROE29187	7442	12.7	6.4	13.1	949	684	Sioule
.	ROE29614	7193	9.4	3.2	13.7	677	572	Sioule
.	ROE16989	4867	13.4	6.3	14.6	653	518	Gartempe
.	ROE41951	4542	14.5	8.2	14.0	657	509	Dore
.	ROE21982	9640	9.4	3.1	14.6	910	462	Gartempe
.	ROE10050	8422	5.9	2.2	9.8	499	457	Alagnon
.	ROE49054	3421	13.2	6.4	14.7	452	452	Allier
.	ROE16986	5102	13.3	6.1	14.6	678	452	Gartempe
.	ROE16834	6634	12.8	7.9	12.2	849	438	Gartempe
.	ROE15391	7759	10.7	3.4	17.3	827	411	Gartempe
.	ROE16851	6422	11.1	5.2	12.1	715	402	Gartempe
.	ROE11458	2463	15.9	11.8	14.0	391	391	Dore
.	ROE15367	8058	10.4	3.4	16.4	837	389	Gartempe
.	ROE29268	7352	6.8	2.9	8.3	503	387	Sioule
.	ROE5344	2843	14.6	7.1	15.6	416	373	Gartempe
.	ROE27316	7594	7.4	3.7	7.6	559	355	Sioule
.	ROE21940	10155	7.0	2.0	13.9	715	348	Gartempe
.	ROE16975	5338	10.7	4.3	13.1	572	320	Gartempe
.	ROE6137	3682	10.5	5.7	10.8	388	316	Gartempe
.	ROE21918	10694	6.4	1.8	12.6	681	259	Gartempe
.	ROE16788	7209	7.1	2.8	8.8	513	253	Gartempe
.	ROE8272	1921	13.3	6.1	14.6	256	250	Gartempe
.	ROE11294	3083	10.0	6.0	9.5	310	230	Dore
.	ROE29625	6776	3.9	0.9	9.5	263	228	Sioule
.	ROE11301	2774	9.1	3.5	14.0	254	218	Dore
.	ROE6206	4867	5.4	1.5	10.6	262	208	Gartempe
.	ROE16982	5163	6.8	3.1	7.4	349	203	Gartempe
.	ROE11453	2774	8.5	3.4	11.5	236	203	Dore
.	ROE12750	17228	1.6	0.5	3.1	275	165	Creuse
.	ROE16979	5338	5.0	1.4	9.8	265	148	Gartempe
.	ROE4573	1611	5.9	1.7	11.8	94	94	Sioule
.	ROE22048	8523	1.1	0.3	2.2	96	43	Gartempe
.	ROE8674	625	6.8	2.0	13.5	43	43	Gartempe
.	ROE5511	3293	0.8	0.2	1.7	28	22	Gartempe

G MORTALITÉ DE SMOLTS - LIBRE CIRCULATION MONTAISON

Tableau G.1 – Mortalité dans les ouvrages de la Loire pour le saumon pour un scénario de *production modélisée sans barrage* de smolts. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.7, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\dagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\dagger}	N_{+}	bassin
1	ROE28711	41280	32.2	27.9	28.8	13293	12834	Allier
2	ROE19169	135263	13.1	6.3	14.7	17759	11708	Loire
3	ROE26980	74414	21.3	19.6	16.9	15816	11031	Loire
4	ROE59503	34780	29.0	32.6	22.6	10072	7034	Creuse
5	ROE45229	103321	8.3	9.5	6.3	8602	5485	Loire
6	ROE9885	71693	9.7	3.5	15.3	6972	4752	Allier
7	ROE24673	35433	13.8	8.1	13.0	4900	3977	Loire
8	ROE4211	24685	17.2	19.4	13.0	4246	3976	Sioule
9	ROE11621	20995	18.9	22.3	12.1	3975	3586	Cher
10	ROE9934	60844	8.4	2.7	16.6	5127	3498	Allier
.	ROE4222	25936	17.1	19.1	13.0	4446	3495	Sioule
.	ROE8282	50979	15.9	12.5	14.6	8122	3432	Vienne
.	ROE29781	31066	15.9	10.4	14.1	4944	3333	Sioule
.	ROE9949	59747	7.4	2.9	9.8	4398	3211	Allier
.	ROE11458	21238	15.9	11.8	14.0	3373	3192	Dore
.	ROE29086	94163	11.0	6.2	11.2	10351	3178	Vienne
.	ROE21937	31549	22.0	10.6	23.6	6933	3133	Gartempe
.	ROE9092	26017	14.9	9.2	14.6	3871	3029	Vienne
.	ROE60573	104371	9.4	4.3	10.9	9761	2907	Vienne
.	ROE9550	71831	12.8	6.0	14.6	9190	2747	Vienne
.	ROE51553	85027	12.1	5.4	14.6	10267	2716	Vienne
.	ROE59464	35328	14.8	16.6	11.5	5217	2629	Creuse
.	ROE29073	94487	10.9	7.1	10.4	10307	2596	Vienne
.	ROE9584	66554	8.9	3.1	14.6	5923	2558	Vienne
.	ROE9084	26017	12.5	5.8	14.6	3248	2542	Vienne
.	ROE9548	71881	13.5	6.8	14.6	9722	2539	Vienne
.	ROE40376	16950	15.2	11.6	12.8	2570	2499	Loire
.	ROE19881	104513	9.4	5.0	10.0	9858	2472	Vienne
.	ROE9556	71577	10.0	3.7	14.6	7189	2469	Vienne
.	ROE10036	26660	10.3	5.1	11.6	2748	2397	Alagnon
.	ROE9035	28617	14.4	8.3	14.6	4119	2286	Vienne
.	ROE24611	35433	7.9	3.9	8.1	2816	2285	Loire
.	ROE29116	94328	8.7	5.9	8.2	8226	2259	Vienne
.	ROE27903	35677	7.1	2.9	7.1	2547	2145	Cher
.	ROE9578	66554	7.4	2.4	14.3	4900	2116	Vienne
.	ROE21331	104391	7.5	2.5	13.6	7829	2115	Vienne
.	ROE41951	23318	14.5	8.2	14.0	3372	2113	Dore
.	ROE29187	33402	12.7	6.4	13.1	4258	2068	Sioule
.	ROE9527	77226	10.4	3.9	14.6	8056	2066	Vienne
.	ROE9541	71881	10.9	4.3	14.6	7869	2056	Vienne

Tableau G.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE6802	19996	16.3	14.4	14.6	3263	2018	Vienne
.	ROE40096	16691	14.8	9.8	13.0	2465	1994	Loire
.	ROE9594	51548	11.3	4.7	14.6	5824	1952	Vienne
.	ROE15391	28852	10.7	3.4	17.3	3075	1908	Gartempe
.	ROE9146	13706	17.3	19.2	14.6	2368	1901	Vienne
.	ROE9044	26512	12.0	5.3	14.6	3188	1883	Vienne
.	ROE9033	28893	13.5	6.7	14.6	3897	1871	Vienne
.	ROE9565	71111	6.4	2.1	12.6	4581	1856	Vienne
.	ROE8305	21174	15.8	11.6	14.6	3335	1815	Vienne
.	ROE9588	51548	10.4	3.3	20.3	5363	1798	Vienne
.	ROE81638	12444	15.0	8.7	15.4	1867	1786	Alagnon
.	ROE29614	33154	9.4	3.2	13.7	3121	1783	Sioule
.	ROE27316	43045	7.4	3.7	7.6	3167	1751	Sioule
.	ROE31221	18540	13.6	6.9	14.6	2520	1716	Vienne
.	ROE59462	35328	9.5	4.8	9.7	3362	1694	Creuse
.	ROE15367	29151	10.4	3.4	16.4	3027	1691	Gartempe
.	ROE9523	77301	9.4	3.4	14.6	7283	1678	Vienne
.	ROE40094	16691	12.3	5.9	13.0	2050	1658	Loire
.	ROE90157	28749	6.7	2.3	11.0	1917	1656	Loire
.	ROE9116	11231	14.2	8.0	14.6	1594	1594	Vienne
.	ROE11301	21550	9.1	3.5	14.0	1971	1575	Dore
.	ROE9148	12609	13.6	6.9	14.6	1714	1558	Vienne
.	ROE21982	30733	9.4	3.1	14.6	2902	1512	Gartempe
.	ROE5868	71236	5.5	1.8	10.7	3918	1489	Vienne
.	ROE11294	21859	10.0	6.0	9.5	2196	1469	Dore
.	ROE11453	21550	8.5	3.4	11.5	1837	1468	Dore
.	ROE9099	13745	11.8	5.1	14.6	1620	1432	Vienne
.	ROE49054	10767	13.2	6.4	14.7	1424	1424	Allier
.	ROE9605	51446	7.6	2.4	14.6	3886	1403	Vienne
.	ROE16834	19117	12.8	7.9	12.2	2447	1393	Gartempe
.	ROE5878	71382	5.2	1.7	10.2	3733	1346	Vienne
.	ROE16851	18906	11.1	5.2	12.1	2104	1336	Gartempe
.	ROE16788	28302	7.1	2.8	8.8	2013	1329	Gartempe
.	ROE6821	14241	13.6	6.9	14.6	1935	1309	Vienne
.	ROE14031	35677	4.6	1.7	5.0	1636	1279	Cher
.	ROE9030	28893	9.0	3.2	14.6	2597	1247	Vienne
.	ROE51550	82478	5.7	1.8	11.1	4714	1218	Vienne
.	ROE29268	33312	6.8	2.9	8.3	2278	1185	Sioule
.	ROE10604	14125	17.2	19.4	13.4	2432	1177	Creuse
.	ROE16989	10994	13.4	6.3	14.6	1475	1165	Gartempe

ANNEXE G. MORTALITÉ DE SMOLTS - LIBRE CIRCULATION MONTAISON

Tableau G.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE9763	8440	13.6	6.9	14.6	1147	1147	Vienne
.	ROE41400	8727	13.0	6.3	14.0	1138	1138	Dore
.	ROE4573	27547	5.9	1.7	11.8	1615	1085	Sioule
.	ROE11974	2157	49.8	55.2	40.2	1073	1073	Besbre
.	ROE10050	20383	5.9	2.2	9.8	1209	1070	Alagnon
.	ROE21940	31248	7.0	2.0	13.9	2200	1057	Gartempe
.	ROE9259	10226	12.4	5.9	13.4	1267	1024	Creuse
.	ROE9268	10226	12.4	5.9	13.4	1267	1024	Creuse
.	ROE10722	14542	16.8	17.4	13.4	2448	1022	Creuse
.	ROE10708	15313	17.2	19.4	13.4	2637	1003	Creuse
.	ROE9558	71577	4.0	1.3	7.9	2897	995	Vienne
.	ROE16975	14677	10.7	4.3	13.1	1574	983	Gartempe
.	ROE16986	11228	13.3	6.1	14.6	1493	977	Gartempe
.	ROE40081	6730	16.8	19.2	13.0	1134	932	Loire
.	ROE27210	5698	16.0	15.0	13.0	913	913	Loire
.	ROE6137	9809	10.5	5.7	10.8	1034	884	Gartempe
.	ROE11918	7554	11.6	5.4	13.0	876	876	Sioule
.	ROE7114	7386	12.4	5.9	13.4	915	875	Creuse
.	ROE7133	7386	12.4	5.9	13.4	915	875	Creuse
.	ROE10003	12614	12.4	5.9	13.4	1563	875	Creuse
.	ROE10028	13377	12.4	5.9	13.4	1658	861	Creuse
.	ROE27231	5698	15.1	10.5	13.0	861	861	Loire
.	ROE8225	7924	11.8	5.2	10.6	938	846	Cher
.	ROE9955	11446	12.4	5.9	13.4	1419	834	Creuse
.	ROE9297	10608	12.4	5.9	13.4	1315	833	Creuse
.	ROE7738	6506	13.2	6.4	14.7	860	821	Allier
.	ROE40083	6730	14.8	9.8	13.0	993	816	Loire
.	ROE35336	6871	13.8	7.9	12.7	949	783	Loire
.	ROE8293	6290	12.4	11.1	8.5	781	781	Cher
.	ROE36330	1362	56.1	63.9	42.2	764	764	Loire
.	ROE29625	32736	3.9	0.9	9.5	1270	748	Sioule
.	ROE21918	31787	6.4	1.8	12.6	2024	723	Gartempe
.	ROE12750	90251	1.6	0.5	3.1	1441	722	Creuse
.	ROE24856	29851	2.9	0.9	6.3	866	705	Loire
.	ROE10197	6008	13.2	6.4	14.7	795	704	Allier
.	ROE7948	36747	4.8	1.6	7.8	1776	699	Creuse
.	ROE8151	35950	4.8	1.6	7.8	1735	692	Creuse
.	ROE19867	5373	15.7	10.7	14.0	842	674	Besbre
.	ROE30577	6881	13.1	6.3	14.0	899	671	Besbre
.	ROE43096	2147	31.0	11.6	46.6	666	666	Allier

Tableau G.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE16982	14502	6.8	3.1	7.4	980	652	Gartempe
.	ROE5344	5175	14.6	7.1	15.6	757	648	Gartempe
.	ROE28481	7530	12.1	5.4	14.0	908	599	Besbre
.	ROE8834	5457	17.3	19.2	14.6	943	590	Vienne
.	ROE3824	4371	13.2	6.4	14.7	578	578	Allier
.	ROE6570	37455	3.9	1.2	7.3	1479	571	Creuse
.	ROE39267	4154	13.4	7.3	13.0	557	557	Loire
.	ROE26098	3648	16.3	16.4	13.0	594	546	Loire
.	ROE26068	3648	16.3	16.4	13.0	594	546	Loire
.	ROE67271	3294	16.5	12.6	15.4	545	545	Alagnon
.	ROE38331	762	71.0	78.5	59.8	541	541	Allier
.	ROE8272	4253	13.3	6.1	14.6	567	540	Gartempe
.	ROE28286	4094	13.2	6.4	14.7	542	519	Allier
.	ROE36302	7955	8.6	3.1	12.7	688	516	Loire
.	ROE10224	4056	13.2	6.4	14.7	536	514	Allier
.	ROE26117	3648	15.2	10.9	13.0	554	509	Loire
.	ROE8583	3507	14.2	7.8	14.0	499	499	Dore
.	ROE8574	4164	13.1	6.3	14.0	544	479	Dore
.	ROE28965	1668	28.4	27.4	24.8	474	474	Allier
.	ROE38228	2785	16.8	19.2	13.0	469	469	Loire
.	ROE6206	10994	5.4	1.5	10.6	592	467	Gartempe
.	ROE16979	14677	5.0	1.4	9.8	729	456	Gartempe
.	ROE8852	3373	17.3	19.2	14.6	583	448	Vienne
.	ROE8855	3373	17.3	19.2	14.6	583	448	Vienne
.	ROE28531	5278	8.4	2.8	13.0	445	445	Sioule
.	ROE8847	4222	16.9	17.5	14.6	715	444	Vienne
.	ROE36324	2433	26.3	24.9	20.8	640	439	Loire
.	ROE8856	2860	17.3	19.2	14.6	494	434	Vienne
.	ROE16588	3612	11.8	5.2	10.6	428	428	Cher
.	ROE17022	3848	13.4	7.3	13.0	516	410	Loire
.	ROE27947	3059	13.0	14.8	10.0	397	397	Loire
.	ROE30743	3340	13.1	6.3	14.0	437	370	Loire
.	ROE40076	3244	13.0	6.7	13.0	423	368	Loire
.	ROE30761	2460	15.8	11.3	14.0	388	365	Loire
.	ROE41986	2672	13.1	6.3	14.0	349	349	Dore
.	ROE53611	3553	13.1	6.3	14.0	465	349	Loire
.	ROE9012	2008	17.3	19.2	14.6	347	347	Vienne
.	ROE39215	2511	13.4	7.3	13.0	337	337	Loire
.	ROE6604	1876	17.2	19.4	13.4	323	323	Creuse
.	ROE44355	2218	13.4	7.3	13.0	297	297	Loire

ANNEXE G. MORTALITÉ DE SMOLTS - LIBRE CIRCULATION MONTAISON

Tableau G.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE22823	1694	17.5	19.3	14.7	296	296	Allier
.	ROE12737	37914	2.1	0.6	4.7	778	294	Creuse
.	ROE8538	1520	17.4	19.3	14.0	264	264	Dore
.	ROE14154	1518	16.5	15.8	13.0	250	250	Sioule
.	ROE40833	1626	15.2	11.0	13.0	247	223	Loire
.	ROE69998	1668	13.2	6.4	14.7	221	221	Allier
.	ROE40303	1327	15.2	10.9	13.0	202	202	Loire
.	ROE8674	2957	6.8	2.0	13.5	201	201	Gartempe
.	ROE40277	1626	13.5	7.6	13.0	220	193	Loire
.	ROE10244	1095	15.8	11.1	14.7	173	173	Allier
.	ROE28799	1068	16.2	13.0	14.7	173	173	Allier
.	ROE22048	29615	1.1	0.3	2.2	334	170	Gartempe
.	ROE30580	6881	3.3	1.0	7.2	225	168	Besbre
.	ROE42198	984	16.4	17.1	12.7	162	162	Loire
.	ROE40831	1031	15.3	11.6	13.0	158	158	Loire
.	ROE54073	1047	14.4	8.3	14.6	151	151	Vienne
.	ROE31370	1133	13.1	6.3	14.0	148	148	Loire
.	ROE43187	734	14.8	9.0	14.7	109	109	Allier
.	ROE39214	2511	3.9	1.2	8.5	98	98	Loire
.	ROE4306	504	17.7	16.3	15.7	89	89	Allier
.	ROE5511	5625	0.8	0.2	1.7	47	35	Gartempe

Tableau G.2 – Mortalité des ouvrages de Bretagne pour le saumon pour le scénario de *production modélisée sans barrage de smolts*. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.11c, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration voir (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{\dagger} mortalité réelle (voir formule2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{\dagger}	bassin
1	ROE22841	3730	24.6	26.7	21.7	919	919	Blavet
2	ROE11525	7677	8.1	4.6	7.6	624	554	Oust
3	ROE11400	9946	8.0	5.0	8.3	797	549	Blavet
4	ROE11542	7953	7.7	2.4	13.6	614	505	Oust
5	ROE11846	4946	10.2	10.7	7.9	506	466	Oust
6	ROE22530	6293	5.5	2.2	10.3	349	349	Leguer
7	ROE15004	3730	9.2	5.6	9.6	341	341	Blavet
8	ROE14804	5201	9.5	6.5	9.3	492	339	Blavet
9	ROE14178	6375	7.0	4.7	7.0	444	304	Blavet
10	ROE14165	6475	6.9	4.6	7.0	448	288	Blavet
.	ROE14155	6475	6.9	4.6	7.0	448	288	Blavet
.	ROE57923	2106	13.7	10.9	11.3	289	272	Oust
.	ROE10787	4212	8.5	4.6	9.9	357	257	Blavet
.	ROE22332	7028	3.1	1.2	5.7	217	202	Leguer
.	ROE5390	2140	7.2	2.4	13.1	153	153	Aulne
.	ROE10033	1389	11.0	5.0	17.0	153	153	Blavet
.	ROE33001	1084	12.5	6.7	15.5	135	135	Scorff
.	ROE22533	6293	2.1	0.8	3.9	131	131	Leguer
.	ROE38461	846	15.1	17.3	11.4	127	127	Oust
.	ROE22333	8490	1.5	0.6	2.9	130	120	Leguer
.	ROE30394	617	17.3	18.6	15.5	107	107	Elle
.	ROE10797	4701	2.8	1.2	5.2	134	93	Blavet
.	ROE14979	4961	2.7	1.1	4.9	134	93	Blavet
.	ROE16879	763	11.3	12.8	9.1	86	86	Rance
.	ROE35710	591	14.3	7.9	16.2	84	84	Blavet
.	ROE11878	1130	6.9	2.0	14.5	78	78	Couesnon
.	ROE33099	562	13.4	14.1	10.9	75	75	Gouet
.	ROE58449	1527	4.8	2.4	4.9	73	69	Rance
.	ROE4013	596	10.4	4.5	16.5	62	62	Cotiers29
.	ROE15076	654	7.5	3.1	13.7	49	49	Blavet
.	ROE32742	368	11.4	5.8	15.5	42	42	Scorff
.	ROE23245	3344	1.2	0.5	2.3	41	41	Trieux
.	ROE22737	261	13.3	6.7	13.6	35	35	Leff
.	ROE3958	354	8.6	3.5	15.4	30	30	Cotiers29
.	ROE31387	218	10.4	5.1	15.1	23	23	Elle
.	ROE31215	178	9.1	4.4	14.1	16	16	Elle
.	ROE3258	258	4.8	1.9	8.9	12	12	Odet
.	ROE64039	92	9.3	3.9	16.4	9	9	Odet

Les tableaux H.1 et H.3 complètent les tableaux 3.10 et 3.11. Les tableaux H.2 et H.4 donnent une estimation des mortalités d'anguilles dans le scénario de libre circulation à la montée.

Tableau H.1 – Mortalité des ouvrages de la Loire pour l'anguille. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.14, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q10} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 10%), τ_{Q90} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 90%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE19881	4083	44.5	23.4	47.0	1818	1228	Vienne
2	ROE41582	2925	34.9	14.1	40.8	1020	798	Sarthe
3	ROE19169	1236	50.1	24.2	56.1	619	571	Loire
4	ROE60573	1802	40.4	18.6	47.0	728	481	Vienne
5	ROE14905	1144	40.9	16.6	47.3	469	469	Sevre nantaise
6	ROE41697	2067	16.9	5.1	30.4	349	291	Sarthe
7	ROE2232	3591	8.2	2.4	16.4	296	229	Mayenne
8	ROE21331	1844	27.7	9.3	50.2	511	208	Vienne
9	ROE29086	584	66.5	37.8	67.9	388	204	Vienne
10	ROE3777	4269	5.5	1.8	9.7	233	196	Loir
.	ROE20586	227	79.8	89.9	65.6	181	181	Mayenne
.	ROE21985	333	53.7	26.8	53.6	179	179	Cher
.	ROE21937	446	67.2	32.3	72.2	300	176	Gartempe
.	ROE5543	316	57.7	34.9	55.2	182	175	Mayenne
.	ROE39188	273	62.3	23.6	71.7	170	170	Cher
.	ROE39473	317	51.9	25.7	63.7	165	165	Sarthe
.	ROE16333	321	50.7	24.6	49.4	163	163	Beuvron
.	ROE86389	680	38.6	18.4	41.8	263	149	Loir
.	ROE37565	2006	9.9	3.3	17.6	198	144	Loir
.	ROE8731	521	36.5	16.0	41.8	190	132	Loir
.	ROE3729	5607	2.6	0.8	4.5	143	120	Loir
.	ROE48490	396	30.6	10.1	54.3	121	119	Loir
.	ROE12750	2407	7.0	2.2	13.6	168	116	Creuse
.	ROE14031	1215	13.0	4.8	14.2	158	114	Cher
.	ROE6570	672	22.3	7.0	41.1	150	111	Creuse
.	ROE20739	612	47.7	24.6	49.3	292	109	Mayenne
.	ROE41255	164	60.1	48.1	53.6	99	99	Mayenne
.	ROE27903	290	35.1	14.0	35.1	102	97	Cher
.	ROE16810	1281	8.9	2.7	17.0	114	96	Indre
.	ROE14163	253	66.5	32.4	72.4	169	93	Indre
.	ROE20720	948	22.6	6.7	44.9	214	91	Mayenne
.	ROE21779	386	42.4	17.2	45.9	164	88	Cher
.	ROE29073	666	60.1	39.3	57.1	400	83	Vienne
.	ROE14482	157	53.1	26.8	57.0	84	79	Indre
.	ROE20736	612	32.4	16.6	33.5	198	74	Mayenne
.	ROE16174	387	31.7	9.1	60.9	123	71	Beuvron
.	ROE59503	97	84.3	94.8	65.8	82	67	Creuse
.	ROE12737	971	9.0	2.4	20.7	88	62	Creuse
.	ROE20847	581	23.4	8.1	34.0	136	61	Mayenne
.	ROE6266	637	13.0	5.7	19.9	83	56	Sarthe

Tableau H.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE42477	128	44.6	27.9	45.4	57	56	Cher
.	ROE7948	400	19.6	6.6	31.6	79	55	Creuse
.	ROE58630	882	12.6	4.2	22.4	111	55	Loir
.	ROE20885	486	24.0	8.4	34.0	117	52	Mayenne
.	ROE21940	365	22.1	6.3	43.7	81	51	Gartempe
.	ROE6030	485	10.8	3.3	19.4	52	51	Sarthe
.	ROE58627	888	12.5	4.1	22.2	111	49	Loir
.	ROE21982	218	36.0	11.8	55.6	79	48	Gartempe
.	ROE29116	626	32.8	22.2	30.7	205	48	Vienne
.	ROE20891	409	25.6	9.4	34.0	105	47	Mayenne
.	ROE45229	191	28.9	33.0	21.7	55	43	Loire
.	ROE36897	396	16.9	7.4	25.8	67	39	Sarthe
.	ROE51553	323	46.1	20.5	55.6	149	39	Vienne
.	ROE20734	612	15.9	8.8	15.9	97	36	Mayenne
.	ROE20897	384	18.4	5.6	34.9	71	36	Mayenne
.	ROE21918	519	21.0	6.0	41.5	109	33	Gartempe
.	ROE26980	44	77.1	71.0	61.3	34	26	Loire
.	ROE59480	175	29.3	16.2	30.1	51	26	Indre
.	ROE59464	117	79.4	89.2	61.9	93	26	Creuse
.	ROE61619	74	32.9	15.6	33.7	24	24	Vienne
.	ROE6011	796	2.8	0.8	4.9	22	20	Sarthe
.	ROE59462	117	61.0	30.8	62.4	71	20	Creuse
.	ROE9550	195	48.8	23.0	55.6	95	19	Vienne
.	ROE8728	506	4.7	1.6	8.4	24	17	Loir
.	ROE9556	179	38.3	14.3	55.6	69	16	Vienne
.	ROE54112	19	83.1	77.9	76.2	16	16	Loir
.	ROE51550	283	24.9	8.0	48.5	70	16	Vienne
.	ROE16851	48	62.5	28.9	68.1	30	15	Gartempe
.	ROE9527	230	39.8	15.1	55.6	92	15	Vienne
.	ROE15391	99	33.6	10.8	54.5	33	15	Gartempe
.	ROE9584	131	34.0	12.0	55.6	44	14	Vienne
.	ROE9548	200	51.6	25.9	55.6	103	13	Vienne
.	ROE9594	102	43.1	17.8	55.6	44	13	Vienne
.	ROE15209	60	21.2	6.4	38.1	13	13	Sarthe
.	ROE15367	106	32.3	10.5	51.0	34	12	Gartempe
.	ROE9578	131	28.1	9.0	54.8	37	11	Vienne
.	ROE11621	18	76.8	90.5	49.1	14	11	Cher
.	ROE9523	238	36.0	13.1	55.6	86	11	Vienne
.	ROE30542	21	50.6	24.5	53.6	11	11	Mayenne
.	ROE9541	200	41.8	16.6	55.6	84	10	Vienne

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE9588	102	34.4	11.0	67.1	35	10	Vienne
.	ROE9565	152	24.6	7.9	47.9	37	10	Vienne
.	ROE9605	96	28.8	9.3	55.6	28	10	Vienne
.	ROE9092	27	56.8	35.2	55.6	15	9	Vienne
.	ROE16834	51	71.6	44.4	68.2	37	9	Gartempe
.	ROE8282	68	60.8	47.7	55.6	41	8	Vienne
.	ROE16788	75	29.1	11.6	36.1	22	8	Gartempe
.	ROE29781	18	58.3	38.1	51.7	11	8	Sioule
.	ROE27316	55	34.2	17.1	35.2	19	8	Sioule
.	ROE9084	27	47.7	22.0	55.6	13	7	Vienne
.	ROE29614	33	42.3	14.3	61.6	14	7	Sioule
.	ROE5868	157	21.0	6.7	40.9	33	7	Vienne
.	ROE5878	164	20.0	6.4	38.9	33	7	Vienne
.	ROE9558	179	15.4	5.0	30.1	28	7	Vienne
.	ROE29187	37	59.9	30.2	61.4	22	7	Sioule
.	ROE58730	11	54.1	25.6	58.6	6	6	Loir
.	ROE16989	19	63.5	29.7	68.9	12	6	Gartempe
.	ROE6802	18	62.3	55.1	55.6	11	5	Vienne
.	ROE9035	36	54.9	31.8	55.6	20	5	Vienne
.	ROE8151	143	15.1	5.1	24.3	22	4	Creuse
.	ROE47719	10	62.6	51.7	58.2	6	4	Indre
.	ROE48682	6	66.6	73.5	58.6	4	4	Loir
.	ROE9885	20	25.4	9.3	40.0	5	4	Allier
.	ROE30577	11	49.9	24.2	53.6	5	4	Besbre
.	ROE8305	21	60.1	44.2	55.6	13	4	Vienne
.	ROE54073	7	54.9	31.8	55.6	4	4	Vienne
.	ROE28481	15	46.1	20.7	53.6	7	4	Besbre
.	ROE6137	14	45.5	24.4	46.7	6	4	Gartempe
.	ROE24673	10	52.8	30.9	49.4	5	4	Loire
.	ROE47991	5	67.1	73.9	58.2	3	3	Indre
.	ROE10604	14	65.7	73.9	51.3	9	3	Creuse
.	ROE9044	31	45.9	20.4	55.6	14	3	Vienne
.	ROE22048	155	4.5	1.3	8.9	7	3	Gartempe
.	ROE29268	36	24.4	10.3	29.6	9	3	Sioule
.	ROE16975	28	42.0	16.9	51.3	12	3	Gartempe
.	ROE16986	22	50.8	23.3	55.6	11	3	Gartempe
.	ROE9148	7	51.9	26.3	55.6	4	3	Vienne
.	ROE9033	37	51.5	25.6	55.6	19	3	Vienne
.	ROE11458	5	60.6	45.0	53.6	3	3	Dore
.	ROE9099	8	45.0	19.5	55.6	4	3	Vienne

Tableau H.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE10708	19	65.7	73.9	51.3	12	3	Creuse
.	ROE5344	7	60.5	29.5	64.6	5	3	Gartempe
.	ROE19867	5	59.8	40.9	53.6	3	3	Besbre
.	ROE10028	12	47.3	22.6	51.3	6	2	Creuse
.	ROE9146	8	66.0	73.4	55.6	5	2	Vienne
.	ROE8834	8	66.0	73.4	55.6	5	2	Vienne
.	ROE18425	4	62.2	29.9	66.1	2	2	Mayenne
.	ROE8272	5	50.9	23.4	55.6	3	2	Gartempe
.	ROE4211	4	65.7	74.2	49.4	3	2	Sioule
.	ROE24611	10	34.7	17.2	35.2	3	2	Loire
.	ROE48188	3	69.3	48.0	50.0	2	2	Cher
.	ROE10036	6	46.4	23.0	52.2	3	2	Alagnon
.	ROE31221	12	51.9	26.3	55.6	6	2	Vienne
.	ROE41951	9	55.2	31.2	53.6	5	2	Dore
.	ROE42198	3	62.8	65.2	48.4	2	2	Loire
.	ROE10722	16	64.3	66.5	51.3	10	2	Creuse
.	ROE76112	3	62.2	70.4	40.3	2	2	Cher
.	ROE16588	5	45.2	20.0	40.3	2	2	Cher
.	ROE9116	4	54.2	30.5	55.6	2	2	Vienne
.	ROE29625	27	14.8	3.6	36.2	4	2	Sioule
.	ROE9030	37	34.3	12.2	55.6	13	2	Vienne
.	ROE6206	19	20.5	5.9	40.6	4	2	Gartempe
.	ROE9949	7	30.0	12.0	40.0	2	2	Allier
.	ROE10003	8	47.3	22.6	51.3	4	2	Creuse
.	ROE4222	5	65.4	73.0	49.4	4	2	Sioule
.	ROE16979	28	21.7	6.2	42.8	6	2	Gartempe
.	ROE9763	3	51.9	26.3	55.6	2	2	Vienne
.	ROE16982	26	20.2	9.4	22.0	5	1	Gartempe
.	ROE35336	3	52.7	30.1	48.4	2	1	Loire
.	ROE9934	10	20.3	6.6	40.0	2	1	Allier
.	ROE9259	4	47.3	22.6	51.3	2	1	Creuse
.	ROE9268	4	47.3	22.6	51.3	2	1	Creuse
.	ROE28711	2	75.7	65.6	67.7	1	1	Allier
.	ROE9012	2	66.0	73.4	55.6	1	1	Vienne
.	ROE6821	9	51.9	26.3	55.6	5	1	Vienne
.	ROE40096	3	56.4	37.4	49.4	1	1	Loire
.	ROE90157	5	27.1	9.5	44.6	1	1	Loire
.	ROE9955	6	47.3	22.6	51.3	3	1	Creuse
.	ROE36302	5	33.0	11.9	48.4	2	1	Loire
.	ROE47905	2	50.5	22.8	58.2	1	1	Indre

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N _‡	N ₊	bassin
.	ROE30580	11	12.5	3.8	27.6	1	1	Besbre
.	ROE40094	3	46.9	22.4	49.4	1	1	Loire
.	ROE8852	4	66.0	73.4	55.6	2	1	Vienne
.	ROE8855	4	66.0	73.4	55.6	2	1	Vienne
.	ROE8225	3	45.2	20.0	40.3	1	1	Cher
.	ROE8856	3	66.0	73.4	55.6	2	1	Vienne
.	ROE8674	3	26.0	7.5	51.4	1	1	Gartempe
.	ROE40376	1	72.7	55.8	61.2	1	1	Loire
.	ROE8293	2	47.5	42.5	32.7	1	1	Cher
.	ROE11301	5	34.9	13.3	53.6	2	1	Dore
.	ROE8847	5	64.6	66.8	55.6	3	1	Vienne
.	ROE29001	1	80.1	90.4	60.3	1	1	Sioule
.	ROE9297	4	47.3	22.6	51.3	2	1	Creuse
.	ROE11294	5	49.9	29.9	47.1	3	1	Dore
.	ROE11453	5	28.4	11.4	38.2	1	1	Dore
.	ROE4573	7	22.4	6.4	45.0	2	1	Sioule
.	ROE24856	7	11.1	3.3	24.1	1	1	Loire
.	ROE7114	1	47.3	22.6	51.3	1	0	Creuse
.	ROE7133	1	47.3	22.6	51.3	1	0	Creuse
.	ROE10050	2	25.3	9.4	41.8	1	0	Alagnon
.	ROE41986	1	49.9	24.2	53.6	0	0	Dore
.	ROE43187	1	56.6	34.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE81638	1	57.3	33.2	58.6	0	0	Alagnon
.	ROE30761	1	60.2	43.0	53.6	1	0	Loire
.	ROE11974	0	86.1	95.6	69.6	0	0	Besbre
.	ROE8538	1	66.4	73.7	53.6	0	0	Dore
.	ROE6604	1	65.7	73.9	51.3	0	0	Creuse
.	ROE7738	1	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE39267	1	51.2	28.0	49.4	0	0	Loire
.	ROE30743	1	49.9	24.2	53.6	1	0	Loire
.	ROE40081	1	64.3	73.2	49.4	0	0	Loire
.	ROE27210	0	61.1	57.3	49.4	0	0	Loire
.	ROE11918	1	44.2	20.5	49.4	0	0	Sioule
.	ROE40083	1	56.3	37.3	49.4	0	0	Loire
.	ROE27231	0	57.7	40.1	49.4	0	0	Loire
.	ROE53611	1	49.9	24.2	53.6	1	0	Loire
.	ROE28531	1	32.2	10.6	49.4	0	0	Sioule
.	ROE15952	0	74.0	86.1	55.2	0	0	Arroux
.	ROE31556	0	65.7	70.3	53.6	0	0	Loire
.	ROE8583	0	54.3	29.6	53.6	0	0	Dore

Tableau H.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE31370	1	49.9	24.2	53.6	0	0	Loire
.	ROE11179	0	55.7	32.1	53.6	0	0	Dore
.	ROE31533	0	49.9	24.2	53.6	0	0	Loire
.	ROE42468	0	64.4	73.5	48.4	0	0	Loire
.	ROE10197	0	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE9073	0	66.0	73.4	55.6	0	0	Vienne
.	ROE8574	0	49.9	24.2	53.6	0	0	Dore
.	ROE3824	0	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE27947	0	67.5	76.8	51.9	0	0	Loire
.	ROE36324	0	78.6	74.4	62.1	0	0	Loire
.	ROE28286	0	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE14154	0	62.9	60.2	49.4	0	0	Sioule
.	ROE26098	0	62.2	62.6	49.4	0	0	Loire
.	ROE26068	0	62.2	62.6	49.4	0	0	Loire
.	ROE26117	0	58.0	41.7	49.4	0	0	Loire
.	ROE40831	0	58.6	44.5	49.4	0	0	Loire
.	ROE5511	8	3.2	0.9	6.3	0	0	Gartempe
.	ROE44355	0	51.2	28.0	49.4	0	0	Loire
.	ROE38331	0	86.6	95.7	73.0	0	0	Allier
.	ROE41400	0	49.8	24.1	53.6	0	0	Dore
.	ROE36330	0	83.8	95.5	63.0	0	0	Loire
.	ROE40303	0	58.0	41.7	49.4	0	0	Loire
.	ROE67271	0	63.1	47.9	58.6	0	0	Alagnon
.	ROE40833	0	58.0	41.9	49.4	0	0	Loire
.	ROE10224	0	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE40277	0	51.6	28.9	49.4	0	0	Loire
.	ROE28965	0	82.5	79.5	72.0	0	0	Allier
.	ROE43096	0	48.6	18.1	73.0	0	0	Allier
.	ROE35829	0	64.4	73.2	48.4	0	0	Loire
.	ROE28799	0	61.8	49.7	56.1	0	0	Allier
.	ROE49054	0	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE39215	0	51.2	28.0	49.4	0	0	Loire
.	ROE40076	0	49.8	25.5	49.4	0	0	Loire
.	ROE10244	0	60.3	42.2	56.1	0	0	Allier
.	ROE69998	0	50.5	24.5	56.1	0	0	Allier
.	ROE17022	0	51.2	28.0	49.4	0	0	Loire
.	ROE4306	0	79.2	72.7	69.9	0	0	Allier
.	ROE38228	0	64.3	73.2	49.4	0	0	Loire
.	ROE42015	0	58.2	36.4	53.6	0	0	Dore
.	ROE40894	0	60.7	45.2	53.6	0	0	Dore

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.1 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE22823	0	66.6	73.6	56.1	0	0	Allier
.	ROE11884	0	65.7	74.2	49.4	0	0	Sioule
.	ROE8769	0	54.4	29.8	53.6	0	0	Dore
.	ROE11226	0	46.2	20.9	53.6	0	0	Dore
.	ROE19070	0	63.5	73.9	47.3	0	0	Arroux
.	ROE29027	0	64.6	63.7	56.1	0	0	Allier
.	ROE39214	0	15.0	4.4	32.6	0	0	Loire
.	ROE50270	0	51.8	22.5	58.8	0	0	Loire
.	ROE43547	0	76.1	57.8	64.3	0	0	Loire
.	ROE77050	0	62.9	65.9	49.4	0	0	Loire
.	ROE4006	0	82.7	80.5	72.0	0	0	Allier
.	ROE76097	0	64.3	73.2	49.4	0	0	Loire
.	ROE41175	0	53.2	27.7	53.6	0	0	Dore
.	ROE38180	0	82.5	89.6	64.3	0	0	Loire
.	ROE28894	0	62.0	50.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE28822	0	61.4	47.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE28859	0	61.4	47.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE40960	0	55.5	31.7	53.6	0	0	Dore
.	ROE39054	0	58.7	35.8	58.6	0	0	Alagnon

Tableau H.2 – Mortalité des ouvrages de la Loire pour l’anguille dans le scénario de répartition sans obstacles à la montaison. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d’impact, figure 3.14, ROE= code d’identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d’individus dévalants produits en amont de l’ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l’ensemble de la période de migration voir (voir formule :2.14), τ_{Q50} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 50%), τ_{Q99} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 99%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{\dagger} mortalité réelle (voir formule2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{\dagger}	bassin
1	ROE19881	57907	44.5	23.4	47.0	25778	19997	Vienne
2	ROE41582	59477	34.9	14.1	40.8	20734	14984	Sarthe
3	ROE14905	31953	40.9	16.6	47.3	13085	13085	Sevre nantaise
4	ROE19169	15713	50.1	24.2	56.1	7875	7131	Loire
5	ROE41697	49139	16.9	5.1	30.4	8302	6636	Sarthe
6	ROE39188	8772	62.3	23.6	71.7	5463	5463	Cher
7	ROE5543	9311	57.7	34.9	55.2	5375	5144	Mayenne
8	ROE2232	85320	8.2	2.4	16.4	7030	5067	Mayenne
9	ROE39473	9688	51.9	25.7	63.7	5033	5033	Sarthe
10	ROE20586	6039	79.8	89.9	65.6	4818	4818	Mayenne
.	ROE21985	8703	53.7	26.8	53.6	4674	4674	Cher
.	ROE16333	7331	50.7	24.6	49.4	3718	3718	Beuvron
.	ROE86389	15584	38.6	18.4	41.8	6021	3601	Loir
.	ROE20739	18452	47.7	24.6	49.3	8809	3319	Mayenne
.	ROE8731	11326	36.5	16.0	41.8	4140	2987	Loir
.	ROE60573	15241	40.4	18.6	47.0	6154	2837	Vienne
.	ROE41255	4686	60.1	48.1	53.6	2817	2817	Mayenne
.	ROE20720	27969	22.6	6.7	44.9	6323	2618	Mayenne
.	ROE37565	37779	9.9	3.3	17.6	3739	2535	Loir
.	ROE14163	6846	66.5	32.4	72.4	4553	2449	Indre
.	ROE3777	59252	5.5	1.8	9.7	3241	2437	Loir
.	ROE20736	18452	32.4	16.6	33.5	5977	2252	Mayenne
.	ROE14482	4407	53.1	26.8	57.0	2341	2249	Indre
.	ROE48490	7272	30.6	10.1	54.3	2222	2204	Loir
.	ROE21937	6762	67.2	32.3	72.2	4543	2100	Gartempe
.	ROE21779	9563	42.4	17.2	45.9	4050	2071	Cher
.	ROE14031	24733	13.0	4.8	14.2	3224	2011	Cher
.	ROE20847	17551	23.4	8.1	34.0	4104	1847	Mayenne
.	ROE29086	8239	66.5	37.8	67.9	5479	1733	Vienne
.	ROE27903	5321	35.1	14.0	35.1	1865	1704	Cher
.	ROE59503	2486	84.3	94.8	65.8	2096	1668	Creuse
.	ROE42477	3660	44.6	27.9	45.4	1633	1595	Cher
.	ROE20885	14639	24.0	8.4	34.0	3513	1574	Mayenne
.	ROE16174	8645	31.7	9.1	60.9	2739	1561	Beuvron
.	ROE12750	32988	7.0	2.2	13.6	2302	1516	Creuse
.	ROE6266	17593	13.0	5.7	19.9	2292	1486	Sarthe
.	ROE20891	12264	25.6	9.4	34.0	3143	1442	Mayenne
.	ROE16810	21573	8.9	2.7	17.0	1920	1420	Indre
.	ROE6030	13096	10.8	3.3	19.4	1413	1383	Sarthe
.	ROE3729	66158	2.6	0.8	4.5	1688	1251	Loir

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.2 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE58630	19599	12.6	4.2	22.4	2465	1224	Loir
.	ROE21331	15312	27.7	9.3	50.2	4243	1181	Vienne
.	ROE36897	11859	16.9	7.4	25.8	2004	1153	Sarthe
.	ROE6570	8584	22.3	7.0	41.1	1916	1123	Creuse
.	ROE20734	18452	15.9	8.8	15.9	2937	1107	Mayenne
.	ROE20897	11477	18.4	5.6	34.9	2112	1092	Mayenne
.	ROE58627	19691	12.5	4.1	22.2	2453	1072	Loir
.	ROE21982	4404	36.0	11.8	55.6	1587	811	Gartempe
.	ROE7948	6764	19.6	6.6	31.6	1329	785	Creuse
.	ROE61619	2293	32.9	15.6	33.7	755	755	Vienne
.	ROE59480	4956	29.3	16.2	30.1	1450	741	Indre
.	ROE21940	6003	22.1	6.3	43.7	1328	672	Gartempe
.	ROE12737	10570	9.0	2.4	20.7	953	532	Creuse
.	ROE6011	20587	2.8	0.8	4.9	566	521	Sarthe
.	ROE29073	8552	60.1	39.3	57.1	5143	511	Vienne
.	ROE54112	614	83.1	77.9	76.2	510	510	Loir
.	ROE51553	6224	46.1	20.5	55.6	2869	505	Vienne
.	ROE59464	2752	79.4	89.2	61.9	2184	458	Creuse
.	ROE16851	1306	62.5	28.9	68.1	816	410	Gartempe
.	ROE45229	2192	28.9	33.0	21.7	634	398	Loire
.	ROE8728	10847	4.7	1.6	8.4	513	382	Loir
.	ROE9584	3307	34.0	12.0	55.6	1123	369	Vienne
.	ROE59462	2752	61.0	30.8	62.4	1678	352	Creuse
.	ROE11621	566	76.8	90.5	49.1	434	347	Cher
.	ROE26980	754	77.1	71.0	61.3	581	344	Loire
.	ROE29116	8394	32.8	22.2	30.7	2751	337	Vienne
.	ROE30542	665	50.6	24.5	53.6	337	337	Mayenne
.	ROE15391	2498	33.6	10.8	54.5	839	334	Gartempe
.	ROE9556	4243	38.3	14.3	55.6	1627	325	Vienne
.	ROE21918	7265	21.0	6.0	41.5	1527	321	Gartempe
.	ROE9594	2497	43.1	17.8	55.6	1077	320	Vienne
.	ROE9550	4435	48.8	23.0	55.6	2166	309	Vienne
.	ROE9578	3307	28.1	9.0	54.8	929	305	Vienne
.	ROE15209	1334	21.2	6.4	38.1	283	283	Sarthe
.	ROE9565	3844	24.6	7.9	47.9	945	259	Vienne
.	ROE9588	2497	34.4	11.0	67.1	860	255	Vienne
.	ROE9527	5016	39.8	15.1	55.6	1998	253	Vienne
.	ROE9605	2372	28.8	9.3	55.6	684	250	Vienne
.	ROE15367	2607	32.3	10.5	51.0	841	249	Gartempe
.	ROE16834	1382	71.6	44.4	68.2	989	231	Gartempe

Tableau H.2 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE51550	5715	24.9	8.0	48.5	1421	229	Vienne
.	ROE16788	2017	29.1	11.6	36.1	587	211	Gartempe
.	ROE29781	528	58.3	38.1	51.7	308	205	Sioule
.	ROE8282	1638	60.8	47.7	55.6	996	204	Vienne
.	ROE9092	593	56.8	35.2	55.6	337	199	Vienne
.	ROE9548	4487	51.6	25.9	55.6	2317	194	Vienne
.	ROE5868	3927	21.0	6.7	40.9	824	184	Vienne
.	ROE16989	490	63.5	29.7	68.9	311	171	Gartempe
.	ROE27316	1176	34.2	17.1	35.2	402	170	Sioule
.	ROE9084	593	47.7	22.0	55.6	283	167	Vienne
.	ROE5878	4044	20.0	6.4	38.9	807	162	Vienne
.	ROE9523	5078	36.0	13.1	55.6	1826	160	Vienne
.	ROE9541	4487	41.8	16.6	55.6	1875	157	Vienne
.	ROE9558	4243	15.4	5.0	30.1	656	131	Vienne
.	ROE6802	469	62.3	55.1	55.6	292	130	Vienne
.	ROE48682	183	66.6	73.5	58.6	122	122	Loir
.	ROE9035	815	54.9	31.8	55.6	448	121	Vienne
.	ROE29614	703	42.3	14.3	61.6	297	120	Sioule
.	ROE54073	192	54.9	31.8	55.6	105	105	Vienne
.	ROE10604	423	65.7	73.9	51.3	278	103	Creuse
.	ROE24673	291	52.8	30.9	49.4	153	100	Loire
.	ROE8305	547	60.1	44.2	55.6	329	94	Vienne
.	ROE6137	332	45.5	24.4	46.7	151	93	Gartempe
.	ROE29187	741	59.9	30.2	61.4	444	92	Sioule
.	ROE30577	258	49.9	24.2	53.6	129	90	Besbre
.	ROE16986	585	50.8	23.3	55.6	297	88	Gartempe
.	ROE11458	146	60.6	45.0	53.6	89	87	Dore
.	ROE47719	211	62.6	51.7	58.2	132	85	Indre
.	ROE16975	741	42.0	16.9	51.3	311	84	Gartempe
.	ROE28481	361	46.1	20.7	53.6	166	84	Besbre
.	ROE9044	690	45.9	20.4	55.6	317	81	Vienne
.	ROE10028	354	47.3	22.6	51.3	168	79	Creuse
.	ROE4211	137	65.7	74.2	49.4	90	79	Sioule
.	ROE9033	865	51.5	25.6	55.6	445	77	Vienne
.	ROE47991	113	67.1	73.9	58.2	75	75	Indre
.	ROE10708	547	65.7	73.9	51.3	359	75	Creuse
.	ROE9148	174	51.9	26.3	55.6	90	74	Vienne
.	ROE22048	3612	4.5	1.3	8.9	163	69	Gartempe
.	ROE19867	122	59.8	40.9	53.6	73	67	Besbre
.	ROE24611	291	34.7	17.2	35.2	101	66	Loire

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.2 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE48188	95	69.3	48.0	50.0	66	66	Cher
.	ROE9146	205	66.0	73.4	55.6	135	66	Vienne
.	ROE18425	104	62.2	29.9	66.1	65	65	Mayenne
.	ROE16588	139	45.2	20.0	40.3	63	63	Cher
.	ROE10722	467	64.3	66.5	51.3	300	63	Creuse
.	ROE9099	171	45.0	19.5	55.6	77	62	Vienne
.	ROE5344	166	60.5	29.5	64.6	100	61	Gartempe
.	ROE8151	3105	15.1	5.1	24.3	469	60	Creuse
.	ROE9885	355	25.4	9.3	40.0	90	60	Allier
.	ROE4222	187	65.4	73.0	49.4	122	60	Sioule
.	ROE76112	95	62.2	70.4	40.3	59	59	Cher
.	ROE58730	108	54.1	25.6	58.6	58	58	Loir
.	ROE42198	93	62.8	65.2	48.4	58	58	Loire
.	ROE31221	313	51.9	26.3	55.6	163	57	Vienne
.	ROE8834	176	66.0	73.4	55.6	116	56	Vienne
.	ROE41951	248	55.2	31.2	53.6	137	56	Dore
.	ROE6206	490	20.5	5.9	40.6	101	55	Gartempe
.	ROE10003	248	47.3	22.6	51.3	117	55	Creuse
.	ROE10036	144	46.4	23.0	52.2	67	55	Alagnon
.	ROE9030	865	34.3	12.2	55.6	297	51	Vienne
.	ROE8272	112	50.9	23.4	55.6	57	49	Gartempe
.	ROE29268	733	24.4	10.3	29.6	179	47	Sioule
.	ROE16979	741	21.7	6.2	42.8	160	44	Gartempe
.	ROE9949	185	30.0	12.0	40.0	55	42	Allier
.	ROE16982	698	20.2	9.4	22.0	141	40	Gartempe
.	ROE35336	78	52.7	30.1	48.4	41	38	Loire
.	ROE29625	638	14.8	3.6	36.2	95	38	Sioule
.	ROE28711	51	75.7	65.6	67.7	39	38	Allier
.	ROE9259	103	47.3	22.6	51.3	49	38	Creuse
.	ROE9268	103	47.3	22.6	51.3	49	38	Creuse
.	ROE90157	181	27.1	9.5	44.6	49	37	Loire
.	ROE9116	63	54.2	30.5	55.6	34	34	Vienne
.	ROE9955	169	47.3	22.6	51.3	80	33	Creuse
.	ROE40096	74	56.4	37.4	49.4	42	32	Loire
.	ROE9763	62	51.9	26.3	55.6	32	32	Vienne
.	ROE6821	233	51.9	26.3	55.6	121	32	Vienne
.	ROE9934	235	20.3	6.6	40.0	48	30	Allier
.	ROE40376	41	72.7	55.8	61.2	30	29	Loire
.	ROE8225	83	45.2	20.0	40.3	38	27	Cher
.	ROE9012	43	66.0	73.4	55.6	28	27	Vienne

Tableau H.2 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE40094	74	46.9	22.4	49.4	35	27	Loire
.	ROE36302	117	33.0	11.9	48.4	39	24	Loire
.	ROE8293	49	47.5	42.5	32.7	23	23	Cher
.	ROE30580	258	12.5	3.8	27.6	32	23	Besbre
.	ROE11301	155	34.9	13.3	53.6	54	22	Dore
.	ROE4573	252	22.4	6.4	45.0	56	22	Sioule
.	ROE8852	78	66.0	73.4	55.6	51	20	Vienne
.	ROE8855	78	66.0	73.4	55.6	51	20	Vienne
.	ROE11294	162	49.9	29.9	47.1	81	19	Dore
.	ROE8856	57	66.0	73.4	55.6	38	19	Vienne
.	ROE9297	120	47.3	22.6	51.3	57	19	Creuse
.	ROE11453	155	28.4	11.4	38.2	44	18	Dore
.	ROE8847	101	64.6	66.8	55.6	65	17	Vienne
.	ROE24856	228	11.1	3.3	24.1	25	16	Loire
.	ROE29001	20	80.1	90.4	60.3	16	16	Sioule
.	ROE8674	59	26.0	7.5	51.4	15	15	Gartempe
.	ROE47905	27	50.5	22.8	58.2	14	14	Indre
.	ROE10050	62	25.3	9.4	41.8	16	12	Alagnon
.	ROE81638	22	57.3	33.2	58.6	13	12	Alagnon
.	ROE43187	20	56.6	34.4	56.1	11	11	Allier
.	ROE39267	22	51.2	28.0	49.4	11	11	Loire
.	ROE7114	29	47.3	22.6	51.3	14	11	Creuse
.	ROE7133	29	47.3	22.6	51.3	14	11	Creuse
.	ROE11974	12	86.1	95.6	69.6	11	11	Besbre
.	ROE30761	30	60.2	43.0	53.6	18	10	Loire
.	ROE41986	21	49.9	24.2	53.6	10	10	Dore
.	ROE30743	39	49.9	24.2	53.6	19	8	Loire
.	ROE7738	16	50.5	24.5	56.1	8	8	Allier
.	ROE40081	15	64.3	73.2	49.4	10	8	Loire
.	ROE11918	17	44.2	20.5	49.4	7	7	Sioule
.	ROE8538	11	66.4	73.7	53.6	7	7	Dore
.	ROE40083	15	56.3	37.3	49.4	9	7	Loire
.	ROE27210	11	61.1	57.3	49.4	7	7	Loire
.	ROE6604	10	65.7	73.9	51.3	7	7	Creuse
.	ROE53611	44	49.9	24.2	53.6	22	6	Loire
.	ROE27231	11	57.7	40.1	49.4	6	6	Loire
.	ROE28531	18	32.2	10.6	49.4	6	6	Sioule
.	ROE31556	9	65.7	70.3	53.6	6	6	Loire
.	ROE31370	17	49.9	24.2	53.6	9	5	Loire
.	ROE15952	6	74.0	86.1	55.2	5	5	Arroux

Tableau H.2 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE8583	9	54.3	29.6	53.6	5	5	Dore
.	ROE31533	9	49.9	24.2	53.6	4	4	Loire
.	ROE11179	8	55.7	32.1	53.6	4	4	Dore
.	ROE42468	6	64.4	73.5	48.4	4	4	Loire
.	ROE10197	9	50.5	24.5	56.1	5	4	Allier
.	ROE8574	11	49.9	24.2	53.6	5	3	Dore
.	ROE27947	4	67.5	76.8	51.9	3	3	Loire
.	ROE14154	4	62.9	60.2	49.4	3	3	Sioule
.	ROE28286	7	50.5	24.5	56.1	3	3	Allier
.	ROE36324	5	78.6	74.4	62.1	4	3	Loire
.	ROE26098	6	62.2	62.6	49.4	4	3	Loire
.	ROE26068	6	62.2	62.6	49.4	4	3	Loire
.	ROE3824	5	50.5	24.5	56.1	2	2	Allier
.	ROE26117	6	58.0	41.7	49.4	4	2	Loire
.	ROE40831	4	58.6	44.5	49.4	2	2	Loire
.	ROE44355	4	51.2	28.0	49.4	2	2	Loire
.	ROE9073	3	66.0	73.4	55.6	2	2	Vienne
.	ROE41400	4	49.8	24.1	53.6	2	2	Dore
.	ROE5511	183	3.2	0.9	6.3	6	2	Gartempe
.	ROE36330	2	83.8	95.5	63.0	2	2	Loire
.	ROE40303	3	58.0	41.7	49.4	2	2	Loire
.	ROE38331	2	86.6	95.7	73.0	2	2	Allier
.	ROE67271	2	63.1	47.9	58.6	2	2	Alagnon
.	ROE40833	5	58.0	41.9	49.4	3	2	Loire
.	ROE40277	4	51.6	28.9	49.4	2	1	Loire
.	ROE10224	3	50.5	24.5	56.1	2	1	Allier
.	ROE35829	2	64.4	73.2	48.4	1	1	Loire
.	ROE28799	2	61.8	49.7	56.1	1	1	Allier
.	ROE49054	2	50.5	24.5	56.1	1	1	Allier
.	ROE28965	1	82.5	79.5	72.0	1	1	Allier
.	ROE39215	2	51.2	28.0	49.4	1	1	Loire
.	ROE43096	2	48.6	18.1	73.0	1	1	Allier
.	ROE40076	3	49.8	25.5	49.4	1	1	Loire
.	ROE17022	4	51.2	28.0	49.4	2	1	Loire
.	ROE38228	1	64.3	73.2	49.4	1	1	Loire
.	ROE10244	1	60.3	42.2	56.1	1	1	Allier
.	ROE69998	1	50.5	24.5	56.1	1	1	Allier
.	ROE4306	1	79.2	72.7	69.9	1	1	Allier
.	ROE11884	1	65.7	74.2	49.4	0	0	Sioule
.	ROE42015	1	58.2	36.4	53.6	0	0	Dore

Tableau H.2 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE22823	1	66.6	73.6	56.1	0	0	Allier
.	ROE40894	1	60.7	45.2	53.6	0	0	Dore
.	ROE8769	1	54.4	29.8	53.6	0	0	Dore
.	ROE11226	1	46.2	20.9	53.6	0	0	Dore
.	ROE19070	1	63.5	73.9	47.3	0	0	Arroux
.	ROE39214	2	15.0	4.4	32.6	0	0	Loire
.	ROE29027	0	64.6	63.7	56.1	0	0	Allier
.	ROE50270	0	51.8	22.5	58.8	0	0	Loire
.	ROE43547	0	76.1	57.8	64.3	0	0	Loire
.	ROE77050	0	62.9	65.9	49.4	0	0	Loire
.	ROE76097	0	64.3	73.2	49.4	0	0	Loire
.	ROE4006	0	82.7	80.5	72.0	0	0	Allier
.	ROE41175	0	53.2	27.7	53.6	0	0	Dore
.	ROE38180	0	82.5	89.6	64.3	0	0	Loire
.	ROE28894	0	62.0	50.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE28822	0	61.4	47.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE28859	0	61.4	47.4	56.1	0	0	Allier
.	ROE40960	0	55.5	31.7	53.6	0	0	Dore
.	ROE39054	0	58.7	35.8	58.6	0	0	Alagnon

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.3 – Mortalité des ouvrages de la Bretagne pour l'anguille dans le scénario actuel. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.16, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration (voir formule :2.14), τ_{Q50} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 50%), τ_{Q99} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 99%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{\dagger} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{\dagger}	bassin
1	ROE11400	10439	12.2	7.7	12.6	1270	1009	Blavet
2	ROE11542	5587	19.2	6.0	33.9	1073	932	Oust
3	ROE3652	3883	22.0	8.6	27.3	855	855	Vilaine
4	ROE58449	9557	8.7	4.3	8.9	828	789	Rance
5	ROE59736	1979	35.0	39.6	28.0	692	523	Gouessant
6	ROE38459	1293	37.5	42.4	30.1	485	485	Gouessant
7	ROE11878	3115	14.7	4.2	30.7	457	457	Couesnon
8	ROE16879	1188	37.8	42.8	30.3	449	449	Rance
9	ROE11525	5102	8.0	4.5	7.5	407	378	Oust
10	ROE14804	3168	13.1	9.1	13.0	416	340	Blavet
.	ROE22841	612	50.3	54.5	44.4	308	308	Blavet
.	ROE10033	1124	27.4	12.5	42.5	308	302	Blavet
.	ROE14165	4558	8.7	5.8	8.8	397	291	Blavet
.	ROE14155	4558	8.7	5.8	8.8	397	291	Blavet
.	ROE14178	4303	7.3	4.9	7.3	315	243	Blavet
.	ROE57923	501	33.9	27.0	27.9	170	155	Oust
.	ROE11846	1177	15.6	16.3	12.1	184	153	Oust
.	ROE22530	856	12.5	5.0	23.3	107	107	Leguer
.	ROE14979	2106	6.1	2.5	11.1	128	99	Blavet
.	ROE3958	385	24.0	9.8	43.2	93	93	Cotiers29
.	ROE15004	612	14.5	8.9	15.2	89	89	Blavet
.	ROE33099	541	16.3	17.3	13.3	88	88	Gouet
.	ROE33001	290	28.2	15.1	35.1	82	82	Scorff
.	ROE81626	176	40.7	26.1	42.8	72	72	Cotiers29
.	ROE10787	853	13.0	7.0	15.2	111	65	Blavet
.	ROE10797	1397	6.4	2.7	11.7	90	63	Blavet
.	ROE22332	1026	7.0	2.8	13.0	71	62	Leguer
.	ROE4013	260	23.4	10.2	37.3	61	61	Cotiers29
.	ROE32742	212	25.8	13.2	35.1	55	55	Scorff
.	ROE22333	1488	3.9	1.6	7.3	58	50	Leguer
.	ROE35710	140	32.6	18.1	37.1	46	46	Blavet
.	ROE64409	122	40.2	36.6	38.4	49	44	Elorn
.	ROE38461	102	42.0	48.3	31.7	43	43	Oust
.	ROE30394	108	39.1	42.0	35.1	42	42	Elle
.	ROE31396	109	37.1	43.1	27.9	40	40	Vilaine
.	ROE22533	856	4.7	1.9	8.8	40	40	Leguer
.	ROE22737	113	35.2	17.7	36.0	40	40	Leff
.	ROE15076	224	17.0	7.1	31.0	38	38	Blavet
.	ROE23245	1130	2.8	1.1	5.2	31	31	Trieux
.	ROE5390	170	16.2	5.4	29.6	27	27	Aulne

Tableau H.3 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE9974	64	36.8	31.6	34.3	23	23	Blavet
.	ROE64039	73	22.2	9.2	39.1	16	16	Odet
.	ROE31387	42	38.3	19.0	55.8	16	16	Elle
.	ROE5174	19	72.2	81.5	57.1	14	14	Aulne
.	ROE3258	118	10.8	4.3	20.1	13	13	Odet
.	ROE17655	31	38.8	42.1	34.3	12	12	Blavet
.	ROE64411	34	34.7	18.6	40.5	12	12	Elorn
.	ROE17653	31	36.4	29.6	34.3	11	11	Blavet
.	ROE31215	31	35.4	17.1	55.0	11	11	Elle
.	ROE22647	35	30.7	17.1	30.1	11	11	Leff
.	ROE4627	26	28.4	13.3	37.9	8	8	Elorn
.	ROE56473	16	33.5	28.2	27.3	5	5	Oust
.	ROE5426	18	29.4	15.8	29.6	5	5	Aulne
.	ROE24876	8	40.6	42.9	37.3	3	3	Trieux
.	ROE31161	1	36.8	27.3	36.0	1	1	Elle

ANNEXE H. MORTALITÉ D'ANGUILLES

Tableau H.4 – Mortalité des ouvrages de la Bretagne pour l'anguille dans le scénario de répartition sans obstacles à la montaison. Légende : Num= Classement des ouvrages par importance d'impact, figure 3.16, ROE= code d'identification des ouvrages dans le ROE, Nb= nombre d'individus dévalants produits en amont de l'ouvrage, $\bar{\tau}$ = mortalité (en %) sur l'ensemble de la période de migration voir (voir formule :2.14), τ_{Q50} = mortalité (en %) en conditions défavorables (débit classé à 50%), τ_{Q99} = mortalité (en %) en conditions favorables (débit classé à 99%), N_{\ddagger} = mortalité potentielle, N_{+} mortalité réelle (voir formule 2.18), bassin= bassin hydrographique.

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
1	ROE11542	147371	19.2	6.0	33.9	28313	24244	Oust
2	ROE11400	250952	12.2	7.7	12.6	30536	23473	Blavet
3	ROE3652	95828	22.0	8.6	27.3	21110	21110	Vilaine
4	ROE58449	189584	8.7	4.3	8.9	16417	15490	Rance
5	ROE59736	47534	35.0	39.6	28.0	16631	12577	Gouessant
6	ROE38459	30871	37.5	42.4	30.1	11587	11587	Gouessant
7	ROE11878	76201	14.7	4.2	30.7	11169	11169	Couesnon
8	ROE16879	28298	37.8	42.8	30.3	10705	10705	Rance
9	ROE22841	20447	50.3	54.5	44.4	10288	10288	Blavet
10	ROE11525	135877	8.0	4.5	7.5	10831	9935	Oust
.	ROE14804	84404	13.1	9.1	13.0	11074	8677	Blavet
.	ROE10033	27631	27.4	12.5	42.5	7575	7400	Blavet
.	ROE14165	118733	8.7	5.8	8.8	10344	7310	Blavet
.	ROE14155	118733	8.7	5.8	8.8	10344	7310	Blavet
.	ROE14178	112970	7.3	4.9	7.3	8263	6166	Blavet
.	ROE57923	15895	33.9	27.0	27.9	5390	4893	Oust
.	ROE11846	36706	15.6	16.3	12.1	5737	4743	Oust
.	ROE22530	25006	12.5	5.0	23.3	3133	3133	Leguer
.	ROE15004	20447	14.5	8.9	15.2	2960	2960	Blavet
.	ROE14979	59694	6.1	2.5	11.1	3634	2685	Blavet
.	ROE33099	14675	16.3	17.3	13.3	2399	2399	Gouet
.	ROE33001	8124	28.2	15.1	35.1	2292	2292	Scorff
.	ROE3958	9017	24.0	9.8	43.2	2168	2168	Cotiers29
.	ROE10787	27235	13.0	7.0	15.2	3541	2012	Blavet
.	ROE10797	41968	6.4	2.7	11.7	2701	1814	Blavet
.	ROE22332	29320	7.0	2.8	13.0	2042	1752	Leguer
.	ROE38461	3482	42.0	48.3	31.7	1464	1464	Oust
.	ROE81626	3398	40.7	26.1	42.8	1382	1382	Cotiers29
.	ROE22333	39627	3.9	1.6	7.3	1544	1314	Leguer
.	ROE32742	5030	25.8	13.2	35.1	1300	1300	Scorff

Tableau H.4 – (continued)

Num	ROE	Nb	$\bar{\tau}$	τ_{Q90}	τ_{Q10}	N_{\ddagger}	N_{+}	bassin
.	ROE30394	3223	39.1	42.0	35.1	1260	1260	Elle
.	ROE4013	5268	23.4	10.2	37.3	1234	1234	Cotiers29
.	ROE22737	3445	35.2	17.7	36.0	1212	1212	Leff
.	ROE35710	3674	32.6	18.1	37.1	1199	1199	Blavet
.	ROE15076	6948	17.0	7.1	31.0	1181	1181	Blavet
.	ROE22533	25006	4.7	1.9	8.8	1177	1177	Leguer
.	ROE31396	3139	37.1	43.1	27.9	1166	1166	Vilaine
.	ROE64409	2607	40.2	36.6	38.4	1049	947	Elorn
.	ROE23245	32476	2.8	1.1	5.2	902	899	Trieux
.	ROE5390	5525	16.2	5.4	29.6	893	893	Aulne
.	ROE9974	1729	36.8	31.6	34.3	635	635	Blavet
.	ROE31387	1084	38.3	19.0	55.8	416	416	Elle
.	ROE64039	1573	22.2	9.2	39.1	350	350	Odet
.	ROE17655	880	38.8	42.1	34.3	342	342	Blavet
.	ROE5174	471	72.2	81.5	57.1	340	340	Aulne
.	ROE3258	3030	10.8	4.3	20.1	328	328	Odet
.	ROE17653	880	36.4	29.6	34.3	320	320	Blavet
.	ROE31215	862	35.4	17.1	55.0	305	299	Elle
.	ROE22647	964	30.7	17.1	30.1	296	296	Leff
.	ROE64411	732	34.7	18.6	40.5	254	254	Elorn
.	ROE4627	736	28.4	13.3	37.9	209	209	Elorn
.	ROE5426	488	29.4	15.8	29.6	144	144	Aulne
.	ROE56473	424	33.5	28.2	27.3	142	142	Oust
.	ROE24876	260	40.6	42.9	37.3	106	106	Trieux
.	ROE31161	43	36.8	27.3	36.0	16	16	Elle

La formule utilisée pour calculer les mortalités des smolts lors du passage dans une turbine Francis demande de connaître les paramètres suivants : \bar{T}_l =taille moyenne d'un saumon (m), $D_{\frac{1}{2}r}$ =diamètre de la roue à mi aube (m), N =vitesse de rotation (tours/min), H =hauteur de chute (m) (Larinier et Dartiguelongue, 1989). Or, les informations concernant les caractéristiques détaillées des turbines, diamètre et vitesse de rotation, sont dans de nombreux cas manquantes. Comme le calcul de la mortalité des anguilles dérive du calcul de la mortalité des smolts, ce manque de données conduit à n'estimer les mortalités dans les Francis qu'à partir de mortalités moyennes. Ce calcul ne prend alors pas en compte les caractéristiques importantes de hauteur de chute, et de débit d'équipement Q_e de la turbine, qui elles sont dans la majorité des cas disponibles.

Les relations entre les caractéristiques des turbines ont donc été réalisées dans le jeu de données à notre disposition à l'échelle du bassin. Deux relations ont été établies à partir de la hauteur de chute : la première concerne la vitesse de rotation (Formule I.1), la deuxième le diamètre (Formule I.2).

$$N(\text{tours/min}) = 75.24(+ - 21.5) + 45.04(+ - 12.52)\log(H) \quad (N = 16, R^2 = 0.48) \quad (\text{I.1})$$

N =vitesse de rotation (tours/min), H =Hauteur en m.

$$D(m) = \begin{cases} 0.26(+ - 0.05)H \text{ si } d < 2.5 & (N = 14, R^2 = 0.61) \\ 2.5 \text{ si } d \geq 2.5 \end{cases} \quad (\text{I.2})$$

D =Diamètre turbine (m), H =Hauteur en m.

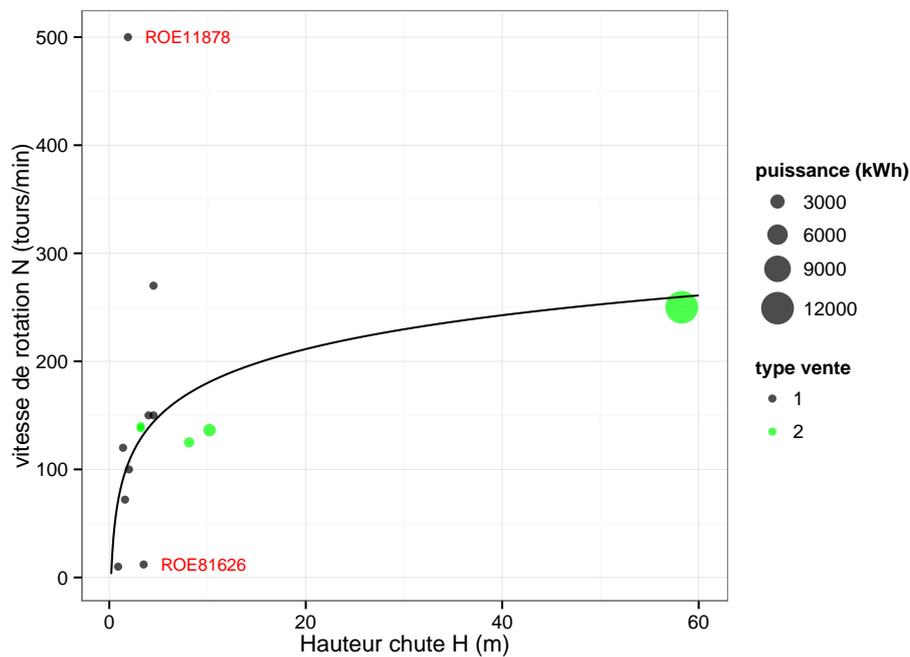


FIGURE I.1 – Ajustement d’une relation entre la vitesse de rotation et la hauteur de chute, sur 16 turbines du bassin Loire-Betagne. Type vente 1 = autoconsommation, 2= production, les points avec un identifiant ROE en rouge ont des vitesses spécifiques $NS = N * P^{0.5} / H^{1.25}$ en dehors de la gamme habituelle pour les Francis, et ont été écartées du jeu d’analyse.

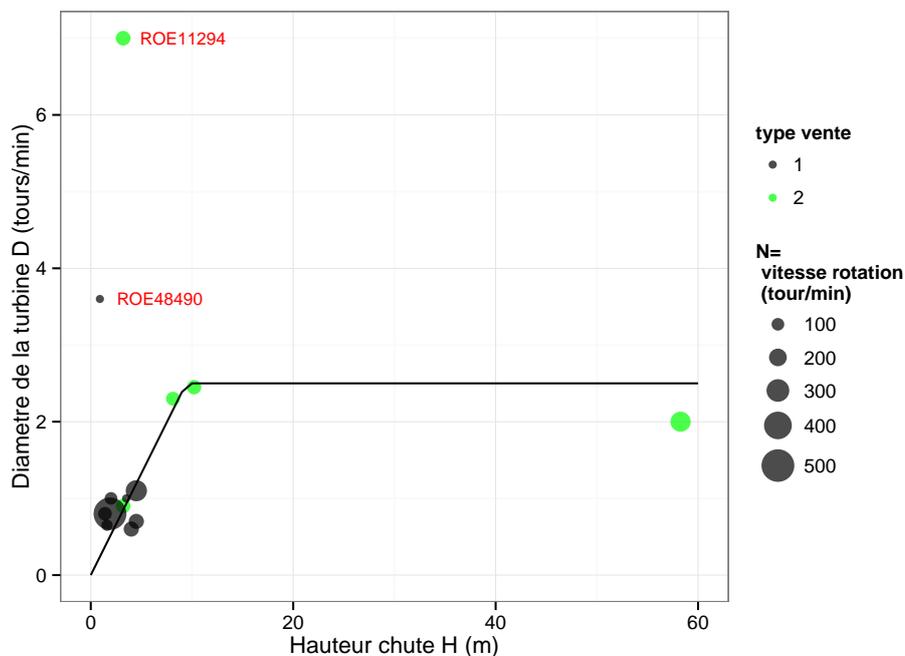


FIGURE I.2 – Ajustement d’une relation entre le diamètre de la turbine et la hauteur de chute, sur 14 turbines du bassin Loire-Betagne. Type vente 1 = autoconsommation, 2= production, les points avec un identifiant ROE en rouge ont été écartés de l’ajustement.

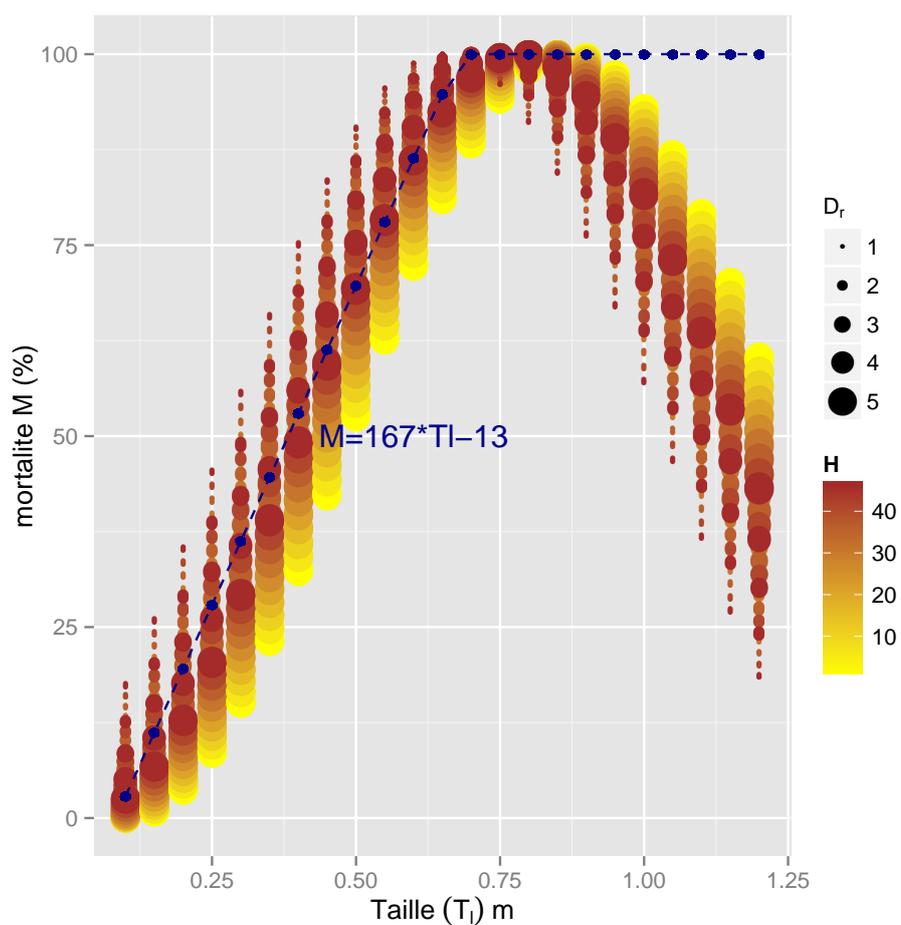


FIGURE I.3 – Réponse de la formule Francis saumon 2.6 en fonction de la taille T_1 , de la hauteur de chute H , du diamètre de l'aube D_r . La courbe en bleu représente la réponse modélisée pour les anguilles en fonction de la taille.

J DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – Détail des données de turbines par sous-bassin, Type= type de turbine, Fonct.= la turbine fonctionne-t-elle ?, le choix ici exclue les roues, Δ=Espacement inter-barreaux, P= puissance (Kw), Q_{arm} = débit d'armement ($m^3.s^{-1}$), H=hauteur de chute (m), D_r =diamètre de la roue, N = vitesse de rotation (tours/min), N_p =nombre de pales, Q_{max} =débit maximum turbiné ou *débit nominal* de la turbine ($m^3.s^{-1}$), $Q_t/Q = \frac{Q_t}{\sum Q}$ = ratio du débit de la turbine sur le débit total des turbines de l'ouvrage, M_s = Taux de mortalité des smolts dans la turbine, M_a = Taux de mortalité des anguilles dans la turbine

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Aulne													
ROE5390-1	Milin ar Roz (Pont Neuf)	autre	O	.	1.9	.	.	.	.	1.2	1.00	19.6	44.4
ROE5426-1	Etang du Huelgoat	autre	O	.	68	.	.	.	.	1.00	19.6	44.4	
ROE5174-1	Barrage de Saint-Herbot	Francis	O	.	117	.	.	280	.	1	0.17	51.4	80.8
ROE5174-2	Barrage de Saint-Herbot	Francis	O	.	117	.	.	280	.	2	0.33	51.4	80.8
ROE5174-3	Barrage de Saint-Herbot	Francis	O	.	117	.	.	280	.	3	0.50	51.4	90.4
Blavet													
ROE11400-1	Barrage et Ecluse de Kérouse	Kaplan	O	.	2.7	.	.	120	4	13	0.50	10.8	16.3
ROE11400-2	Barrage et Ecluse de Kérouse	Kaplan	O	.	2.7	.	.	120	4	13	0.50	10.8	16.3
ROE35710-1	Moulin de Sebrevet (prise d'eau)	Francis	O	.	5.9	.	.	149	.	30.8	1.00	21.0	48.0
ROE14155-1	Barrage et Ecluse de Trémorin	Kaplan	O	.	2.4	2.8	75	4	20	1.00	9.1	11.4	
ROE14165-1	Barrage et Ecluse de Saint Adrien	Kaplan	O	.	2.1	2.8	75	4	20	1.00	9.1	11.4	
ROE14178-1	Barrage et Ecluse de Talhouet	Kaplan	O	.	2.1	2.8	75	4	20	1.00	9.1	9.5	
ROE14804-1	Barrage et Ecluse du Moulin Neuf	Kaplan	O	.	2.4	.	146	4	7.7	0.42	12.5	17.2	
ROE14804-2	Barrage et Ecluse du Moulin Neuf	Kaplan	O	.	2.4	.	154	4	10.3	0.57	11.8	16.4	
ROE10033-1	Moulin de Kerdéhel	Francis	O	.	2	.	102	.	1.7	1.00	22.0	54.9	
ROE17653-1	Moulin Brulé de Bas	autre	O	.	4	.	.	.	0.5	1.00	19.6	44.4	
ROE17655-1	Moulin Brulé de Haut	autre	O	.	4	.	.	.	0.8	1.00	19.6	44.4	
ROE15076-1	Moulin de la Madeleine	autre	O	.	1.8	.	.	.	0.6	1.00	19.6	44.4	
ROE14979-1	Barrage et Ecluse du Roch	autre	O	.	1.9	.	.	.	1.8	1.00	19.6	44.4	
ROE10797-1	Barrage de la Cascade	autre	O	.	3.2	.	.	.	1.8	1.00	19.6	44.4	
ROE9974-1	Minoterie Ferrand	autre	O	.	2.5	.	.	.	.	1.00	19.6	44.4	
ROE10787-1	Barrage et Ecluse de Bolloré	Kaplan	O	.	2.3	.	.	4	9.4	1.00	12.8	19.7	
ROE15004-1	Barrage hydro-électrique de Saint Aignan	Kaplan	O	.	4.7	.	.	4	10.5	1.00	12.5	19.7	
ROE22841-1	Barrage de Guerlédan	Francis	O	.	46	.	.	500	.	10.3	0.21	28.6	55.6
ROE22841-2	Barrage de Guerlédan	Francis	O	.	46	.	.	500	.	10.3	0.21	28.6	61.1
ROE22841-3	Barrage de Guerlédan	Francis	O	.	46	.	.	500	.	10.3	0.21	28.6	61.1
ROE22841-4	Barrage de Guerlédan	Francis	O	.	46	.	.	375	.	18	0.37	27.4	54.4
ROE20783-1	Barrage de Kernéhuél	autre	O	.	9.3	.	.	.	.	1.00	19.6	44.4	
Cotiers22													
ROE29465-1	Moulin de Gernégan (PE)	Roue	N	.	.	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
Cotiers29													
ROE81626-1	Moulin Neuf	Francis	O	.	3.5	1	12	12	0.7	1.00	17.8	50.9	
ROE4013-1	Moulin du Pont du Châtel	autre	O	.	1.5	1.2	270	.	0.6	0.80	19.6	44.4	
ROE4013-2	Moulin du Pont du Châtel	autre	O	.	0	1.5	.	.	0.2	0.20	19.6	44.4	
ROE63052-1	Moulin de St-Ouarneau	Kaplan	O	.	3	.	.	4	0.3	1.00	48.9	19.7	
ROE63053-1	Moulin Lescoat (PE)	Francis	O	.	0	3.8	161	.	0.5	1.00	19.4	46.5	
ROE4021-1	Moulin de Coat Meret	Francis	O	25	4.5	1.1	270	.	0.4	0.50	0.0	0.0	
ROE4021-2	Moulin de Coat Meret	Francis	O	25	4.5	1.1	270	.	0.4	0.50	0.0	0.0	
ROE11729-1	Moulin de Trémillec	Francis	O	25	3	.	260	14	0.6	1.00	0.0	0.0	
ROE11730-1	Moulin du Fao	Francis	O	25	4.5	.	300	.	0.2	0.38	0.0	0.0	
ROE11730-2	Moulin du Fao	Francis	O	25	4.5	.	138	.	0.3	0.62	0.0	0.0	
ROE3951-1	Moulin du Grand Pont	autre	O	25	4.3	.	.	.	0.5	1.00	0.0	0.0	
ROE3958-1	Moulin du Coumou	Francis	O	.	3.1	1.1	121	.	0.8	1.00	18.3	51.4	
Couesnon													
ROE11878-1	Moulin de Quincampoix	Francis	O	.	1.9	0.8	500	18	1	1.00	24.2	51.2	
Dossen													
ROE4294-1	Moulin Jouanet	Francis	O	25	4	0.6	150	12	0.4	1.00	0.0	0.0	
Elle													
ROE31387-1	moulin de Kerivarc'h	Francis	O	.	3.8	.	130	.	0.3	1.00	19.0	70.5	
ROE30394-1	usine hydroélectrique de Pont Rouge	autre	O	.	42	.	.	4	1	0.50	19.6	44.4	
ROE30394-2	usine hydroélectrique de Pont Rouge	autre	O	.	42	.	.	4	1	0.50	19.6	44.4	
ROE31215-1	Moulin du Duc	Francis	O	.	5	.	142	.	0.3	1.00	17.8	69.4	
ROE31161-1	Moulin Trancher	Francis	O	.	4.3	.	136	.	0.2	1.00	18.5	45.5	
Elorn													
ROE64409-1	Moulin du Vern	Francis	O	.	2	1	100	18	1.2	1.00	18.6	45.6	
ROE64411-1	Moulin du Pont (Guipavas)	Francis	O	.	4.5	0.7	150	16	0.3	1.00	21.1	48.1	
ROE4627-1	Barrage du Drennec	Francis	O	.	24.5	.	212	.	0.7	1.00	18.0	45.0	

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Gouessant													
ROE59736-1	Barrage de Pont Rolland	Kaplan	O	.	.	21.5	.	428	4	4.5	0.50	18.4	41.4
ROE59736-2	Barrage de Pont Rolland	Kaplan	O	.	.	21.5	.	428	4	4.5	0.50	18.4	41.4
ROE38459-1	Barrage des Ponts Neufs	Francis	O	.	.	11.6	.	426	.	2	0.50	16.6	43.6
ROE38459-2	Barrage des Ponts Neufs	Francis	O	.	.	11.6	.	570	.	2	0.50	18.1	45.1
Gouet													
ROE33090-1	Moulin des Iles	Roue	N	.	.	.	.	.	.	.	0.50	0.0	0.0
ROE33090-2	Moulin des Iles	Roue	N	.	.	.	.	.	.	.	0.50	0.0	0.0
ROE33099-1	barrage de saint-barthélémy	Kaplan	O	.	.	.	.	.	4	4.5	1.00	16.1	19.7
ROE35351-1	Moulin de Jacquilot	Roue	N	.	.	.	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE35411-1	Moulin de la Perche	Roue	N	.	.	.	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE35612-1	Moulin de Roma	Roue	N	.	.	.	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
Isole													
ROE6398-1	Barrage de la Boissière	autre	O	25	.	18.5	.	.	.	1.1	0.50	0.0	0.0
ROE6398-2	Barrage de la Boissière	autre	O	25	.	18.5	.	.	.	1.1	0.50	0.0	0.0
Leff													
ROE12385-1	Moulin Gludic	Roue	N	.	.	2.2	1.2	204	4	4	1.00	0.0	0.0
ROE22647-1	Moulin Cadiou	autre	O	.	.	4.7	.	.	.	0.2	1.00	19.6	44.4
ROE22737-1	Moulin de la Ville Geffroy	Francis	O	.	.	3	.	120	.	0.8	1.00	20.1	53.1
Leguer													
ROE22333-1	Moulin de Buhulien	Francis	O	.	.	1.8	.	99	.	0.6	1.00	21.4	54.3
ROE22332-1	Moulin de Keriel	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	1.2	1.00	19.6	44.4
ROE22530-1	Moulin du Pont-Neuf	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	2	1.00	19.6	44.4
ROE22533-1	Moulin du Vicomte	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	19.6	44.4
Odet													
ROE64039-1	Moulin Launay	Francis	O	.	.	5	.	290	.	0.3	1.00	19.5	46.5
ROE3258-1	Moulin de Kerolven	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	0.3	1.00	19.6	44.4
Oust													
ROE11388-1	Barrage de Beaumont	Kaplan	O	.	.	2.9	.	100	4	10	0.50	11.0	15.9
ROE11388-2	Barrage de Beaumont	Kaplan	O	.	.	2.9	.	100	4	10	0.50	11.0	15.9
ROE11542-1	Barrage de Malestroit	Francis	O	.	.	1.4	.	85	.	2.1	0.50	22.1	55.0
ROE11542-2	Barrage de Malestroit	Francis	O	.	.	1.4	.	85	.	2.1	0.50	22.1	55.0
ROE11525-1	Barrage de la Née	Kaplan	O	.	.	3.3	.	72	5	6	0.43	12.9	12.7
ROE11525-2	Barrage de la Née	Kaplan	O	.	.	3.3	.	72	5	8	0.57	12.1	11.8
ROE56473-1	Moulin du Val néant	autre	O	.	.	4.5	.	.	.	.	1.00	19.6	44.4
ROE11846-1	Microcentrale de la Tertraie	Kaplan	O	.	.	2.8	.	.	4	6	0.33	14.7	19.7
ROE11846-2	Microcentrale de la Tertraie	Kaplan	O	.	.	2.8	.	.	4	12	0.67	12.0	19.7
ROE57923-1	Usine hydro-électrique des Forges de Lanouée	Francis	O	.	.	5.7	.	148	.	6.5	1.00	18.4	45.4
ROE38461-1	Déversoir du Val	Francis	O	.	.	5	.	142	.	3	0.50	18.5	51.6
ROE38461-2	Déversoir du Val	Francis	O	.	.	5	.	142	.	3	0.50	18.5	51.6
Rance													
ROE58449-1	Usine marémotrice de la Rance	Kaplan	O	.	.	.	5.3	93	4	.	1.00	7.2	13.1
ROE16879-1	Barrage de Rophémel	Kaplan	O	.	8	23.5	.	375	4	13.6	1.00	13.4	44.7
ROE16879-2	Barrage de Rophémel	Kaplan	N	.	0	0	.	.	0	0	0.00	0.0	0.0
Scorff													
ROE32742-1	Moulin de Tronchâteau	autre	O	.	.	6.5	.	.	.	0.5	1.00	19.6	44.4
ROE32793-1	moulin de Restraudran	Francis	O	25	.	3.8	.	130	.	0.5	1.00	0.0	0.0
ROE32911-1	Moulin de Malachappe	Kaplan	O	25	.	14	.	.	4	8.5	0.50	0.0	0.0
ROE32911-2	Moulin de Malachappe	Kaplan	O	25	.	14	.	.	4	8.5	0.50	0.0	0.0
ROE33001-1	Moulin Neuf (Scorff)	autre	O	.	.	2	.	.	.	1.5	1.00	19.6	44.4
ROE40460-1	Moulin de Hervenno	Roue	N	.	.	.	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
Trieux													
ROE23245-1	Moulin de Kerhalec	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	0.4	1.00	19.6	44.4
ROE24876-1	Moulin de Kerauffret	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	1.2	1.00	19.6	44.4
Vilaine													
ROE3652-1	Moulin de Champcors	autre	O	.	.	2	.	.	.	4.6	1.00	19.6	44.4
ROE31396-1	Prise d'eau du moulin de l'Etang de la Forge	Francis	O	.	.	5.7	.	148	.	6.5	1.00	18.4	45.4

ANNEXE J. DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Alagnon													
ROE10036-1	Seuil de la microcentrale de Chambezon	Kaplan	O	30	2	4.7	2	206	4	8	0.71	12.2	57.2
ROE10036-2	Seuil de la microcentrale de Chambezon	Francis	O	30	0	4.7	1	350	.	3.3	0.29	22.6	96.2
ROE10050-1	Seuil de la microcentrale du Babory de Blesle	Kaplan	O	30	1	6.6	1.8	.	4	4.5	0.50	12.8	54.8
ROE10050-2	Seuil de la microcentrale du Babory de Blesle	Kaplan	O	30	1	6.6	1.8	.	4	4.5	0.50	12.8	54.8
ROE10065-1	Seuil du Moulin du Bos	autre	N	.	.	2.1	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE36789-1	Moulin Grand	Kaplan	O	20	.	5.4	.	.	4	.	0.50	0.0	0.0
ROE36789-2	Moulin Grand	Kaplan	O	20	.	5.4	.	.	4	.	0.50	0.0	0.0
ROE36853-1	Microcentrale de Courcelles	Kaplan	O	23	0	6.9	.	.	4	3.1	1.00	0.0	0.0
ROE81638-1	Microcentrale d'Aurouze	autre	O	.	.	6.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE39044-1	Centrale hydroélectrique de Peyrusse	autre	O	10	.	2.9	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE39218-1	Micro centrale de Goutille	autre	O	.	.	0.7	.	.	.	.	0.44	20.1	76.9
ROE39218-2	Micro centrale de Goutille	autre	O	.	.	0.7	.	.	.	0.5	0.56	20.1	76.9
ROE67271-1	Moulin de Grattepaille	autre	O	.	.	11.3	.	.	.	4.5	0.50	20.1	76.9
ROE67271-2	Moulin de Grattepaille	autre	O	.	.	6.8	.	.	.	4.5	0.50	20.1	76.9
ROE59138-1	Prise d'eau du moulin de Celles	autre	O	25	.	5.6	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE39054-1	Microcentrale de Farges	autre	O	.	.	119.9	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE39054-2	Microcentrale de Farges	autre	O	.	.	119.9	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE27149-1	Le Martinet (Murat)	autre	O	10	.	3	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Allier													
ROE43187-1	Moulin de Monet	autre	O	.	.	1.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE7729-1	Microcentrale De Beaugeix	autre	O	25	.	11	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE61059-1	Microcentrale de Champeix	autre	O	25	.	1	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE7738-1	Moulin de Batifort	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE22624-1	Moulin de la Serre	autre	O	25	.	2.3	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE22731-1	Microcentrale de VERRIERES	Francis	O	25	.	27	.	216	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE22823-1	Aménagement de ST NECTAIRE-LES GRANGES	autre	O	15	.	54.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE3824-1	Moulin de Maupas	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE43096-1	Microcentrale de Courgoul	Francis	O	.	.	150	.	291	.	0.4	0.50	63.9	100.0
ROE43096-2	Microcentrale de Courgoul	Francis	O	.	.	150	.	291	.	0.4	0.50	63.9	100.0
ROE4306-1	Seuil de la prise d'eau de la microcentrale du Cheix Microcentrale LE CHEIX	Francis	O	.	.	1.8	.	97	.	.	0.33	21.5	95.8
ROE4306-2	Seuil de la prise d'eau de la microcentrale du Cheix Microcentrale LE CHEIX	Francis	O	.	.	1.8	.	97	.	.	0.33	21.5	95.8
ROE4306-3	Seuil de la prise d'eau de la microcentrale du Cheix Microcentrale LE CHEIX	Francis	O	.	.	1.8	.	97	.	.	0.33	21.5	95.8
ROE4326-1	Microcentrale d'Oursière (ex de St Pierre-Colamine)	Francis	O	15	.	3.3	.	123	.	0.5	0.50	0.0	0.0
ROE4326-2	Microcentrale d'Oursière (ex de St Pierre-Colamine)	Francis	O	15	.	3.3	.	123	.	0.5	0.50	0.0	0.0
ROE4006-1	Microcentrale de la plagne de challassogne (Moulin Bessou)	Francis	O	.	.	70	.	258	.	.	0.50	33.5	98.7
ROE4006-2	Microcentrale de la plagne de challassogne (Moulin Bessou)	Francis	O	.	.	70	.	258	.	.	0.50	33.5	98.7
ROE9885-1	Seuil du moulin de la Barreyre à Vielle Brioude	Kaplan	O	.	.	3.2	.	.	4	4	0.40	19.7	54.8
ROE9885-2	Seuil du moulin de la Barreyre à Vielle Brioude	Kaplan	O	.	.	3.2	.	.	4	3	0.30	21.9	54.8
ROE9885-3	Seuil du moulin de la Barreyre à Vielle Brioude	Kaplan	O	.	.	3.2	.	.	4	3	0.30	21.9	54.8
ROE10197-1	Seuil de la Fridière	autre	O	.	.	2.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE10224-1	Seuil de la microcentrale de Ste-Marguerite	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9934-1	Seuil du Chambon de Cerzat	Kaplan	O	.	.	1.8	.	.	4	4	0.50	19.7	54.8
ROE9934-2	Seuil du Chambon de Cerzat	Kaplan	O	.	.	1.8	.	.	4	2	0.50	25.8	54.8
ROE9949-1	Seuil de l'île d'Amour (Langeac)	Kaplan	O	.	.	2.1	.	.	4	12.5	1.00	13.5	54.8
ROE10244-1	Seuil de la microcentrale du Saut du Mate-lot	autre	O	.	.	3.7	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE10244-2	Seuil de la microcentrale du Saut du Mate-lot	autre	O	.	.	3.7	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE29027-1	Seuil de la microcentrale de la Valette	autre	O	.	.	2.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE28286-1	Seuil du moulin du Carron	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28286-2	Seuil du moulin du Carron	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28799-1	Seuil de la microcentrale de Chazelles	autre	O	.	.	5	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE28799-2	Seuil de la microcentrale de Chazelles	autre	O	.	.	5	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE28799-3	Seuil de la microcentrale de Chazelles	autre	O	.	.	5	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE28965-1	Usine hydroélectrique du Luchadou	Francis	O	.	.	71.4	.	259	.	.	0.50	34.0	98.7
ROE28965-2	Usine hydroélectrique du Luchadou	Francis	O	.	.	71.4	.	259	.	.	0.50	34.0	98.7
ROE69998-1	Seuil de la microcentrale de Prades	autre	O	.	.	0.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE28822-1	Seuil de la microcentrale de pont de Desges	autre	O	.	.	1.3	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28822-2	Seuil de la microcentrale de pont de Desges	autre	O	.	.	1.3	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28859-1	Seuil de la microcentrale de la Valette	autre	O	.	.	3.8	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28859-2	Seuil de la microcentrale de la Valette	autre	O	.	.	3.8	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28894-1	Seuil de la microcentrale du Rocher Pointu	autre	O	.	.	0.3	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE28894-2	Seuil de la microcentrale du Rocher Pointu	autre	O	.	.	0.3	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE38331-1	Saint Prejet	Francis	O	30	2	203.5	.	304	.	7.2	0.47	82.0	100.0
ROE38331-2	Saint Prejet	Francis	O	30	2	203.5	.	304	.	4.1	0.27	82.0	100.0
ROE38331-3	Saint Prejet	Francis	O	30	2	203.5	.	304	.	4.1	0.27	82.0	100.0
ROE28711-1	Barrage de poutès/usine de Monistrol	Francis	O	30	6	61.5	1.4	428	15	14	0.45	40.5	85.0
ROE28711-2	Barrage de poutès/usine de Monistrol	Francis	O	30	6	61.5	1.4	428	15	14	0.45	40.5	99.1
ROE28711-3	Barrage de poutès/usine de Monistrol	Francis	O	30	1	61.5	.	252	.	3.2	0.10	30.5	98.5
ROE47499-1	Barrage hydroélectrique Paulin	Francis	O	17	.	13.7	.	750	.	2.5	0.50	0.0	0.0
ROE47499-2	Barrage hydroélectrique Paulin	Francis	O	17	0	13.7	.	750	.	1	0.50	0.0	0.0
ROE47467-1	Seuil de l'usine de Parayre	autre	N	.	.	1.1	.	.	.	.	0.50	0.0	0.0
ROE47467-2	Seuil de l'usine de Parayre	Francis	O	25	0	12	0.5	700	.	1	1.00	0.0	0.0
ROE49054-1	Digue du Moulin de Chirac	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE49054-2	Digue du Moulin de Chirac	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9

ANNEXE J. DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Arroux													
ROE15952-1	Microcentrale du Piéjus	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	0.25	20.1	76.9
ROE15952-2	Microcentrale du Piéjus	Francis	O	.	.	7.5	.	160	.	.	0.25	15.5	93.9
ROE15952-3	Microcentrale du Piéjus	Francis	O	.	.	7.5	.	160	.	.	0.25	15.5	93.9
ROE15952-4	Microcentrale du Piéjus	Francis	O	.	.	7.5	.	160	.	.	0.25	15.5	93.9
ROE19070-1	Usine hydroélectrique de la Canche	autre	O	.	.	120	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
Besbre													
ROE28481-1	Moulin de Trézelles	autre	O	.	.	2.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE30577-1	Moulin de la Figourdine	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE30580-1	Moulin Marin	autre	O	.	.	2.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE19867-1	Usine électrique du moulin Chatelard	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE23128-1	Moulin Gribory	autre	O	25	.	4.3	.	.	.	0.9	1.00	0.0	0.0
ROE12092-1	Barrage de compensation de Châtel-Montagne	autre	N	.	.	4.1	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE11974-1	Usine de Châtel Montagne / barrage de Saint Clément	Francis	O	.	1	133.3	.	286	.	2.5	0.25	57.7	99.8
ROE11974-2	Usine de Châtel Montagne / barrage de Saint Clément	Francis	O	.	1	133.3	.	286	.	2.5	0.25	57.7	99.8
ROE11974-3	Usine de Châtel Montagne / barrage de Saint Clément	Francis	O	.	1	133.3	.	286	.	2.5	0.25	57.7	99.8
ROE11974-4	Usine de Châtel Montagne / barrage de Saint Clément	Francis	O	.	1	133.3	.	286	.	2.5	0.25	57.7	99.8
Beuvron													
ROE16174-1	Moulin de Rouillon	Francis	O	.	.	2	1.1	102	.	1.5	1.00	18.2	94.8
ROE16333-1	Moulin de la Varenne à Cellettes	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
Cher													
ROE21779-1	Moulin des quatre Roues	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE21779-2	Moulin des quatre Roues	Kaplan	O	.	.	1.5	1.6	.	4	.	0.50	14.3	54.8
ROE21985-1	Moulin Neuf	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE14031-1	Vannage de l'usine hydroélectrique de Châtres	Kaplan	O	.	5	2.2	3.2	53	4	12	0.40	9.3	25.7
ROE14031-2	Vannage de l'usine hydroélectrique de Châtres	Kaplan	O	.	5	2.2	3	75	4	18	0.60	9.6	28.0
ROE39188-1	barrage des Bourbiers - microcentrale de La Forge (vannes de décharges)	Francis	O	30	.	2.9	2.4	108	13	5.6	0.66	12.6	92.8
ROE39188-2	barrage des Bourbiers - microcentrale de La Forge (vannes de décharges)	Francis	O	30	.	2.9	2.3	55	20	6.7	0.34	12.6	92.8
ROE42477-1	Moulin de La Roche	Kaplan	O	40	0	2.7	1.2	180	4	4.5	0.86	18.0	63.9
ROE42477-2	Moulin de La Roche	Kaplan	O	30	.	2.7	1.1	30	30	2.5	0.14	79.4	30.6
ROE27903-1	Micro-centrale de l'ancien moulin du Breuil	Kaplan	O	.	5	2	2	105	4	9	0.50	12.2	40.0
ROE27903-2	Micro-centrale de l'ancien moulin du Breuil	Francis	O	.	9	2	2	105	4	9	0.50	15.1	93.8
ROE27932-1	Micro-centrale de Chateauneuf/Cher	Francis	O	20	.	2.5	.	112	.	6	0.50	0.0	0.0
ROE27932-2	Micro-centrale de Chateauneuf/Cher	Francis	O	20	.	2.5	.	112	.	3	0.50	0.0	0.0
ROE48188-1	Moulin de La Feuillouze	Francis	O	.	0	1.6	0.6	72	.	1	1.00	20.3	95.4
ROE76112-1	déversoir de l'ancien moulin de La Feuillouze	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE11621-1	Barrage usine de prat	Francis	O	.	50	41.8	.	231	.	50.4	0.57	25.8	97.2
ROE11621-2	Barrage usine de prat	Kaplan	O	.	8	18	.	500	4	7.5	0.09	19.5	89.1
ROE11621-3	Barrage usine de prat	Kaplan	O	.	8	18	.	500	4	7.5	0.09	19.5	89.1
ROE11621-4	Barrage usine de prat	Kaplan	O	.	8	18	.	500	4	7.5	0.09	19.5	89.1
ROE11621-5	Barrage usine de prat	Kaplan	O	.	8	18	.	500	4	7.5	0.09	19.5	89.1
ROE11621-6	Barrage usine de prat	Kaplan	O	.	8	18	.	500	4	7.5	0.09	19.5	89.1
ROE8225-1	La Longeagne	autre	O	.	.	1.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE16588-1	Moulin de Chassagnon	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8293-1	Flobourg	Kaplan	O	.	.	9	.	.	4	6.2	0.80	16.8	54.8
ROE8293-2	Flobourg	Francis	O	.	.	9	.	168	.	1.5	0.20	14.1	93.5

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Creuse													
ROE12750-1	Gatineau	Francis	O	25	.	1.6	.	58	.	4	0.20	0.0	0.0
ROE12750-2	Gatineau	Francis	O	25	.	1.6	.	58	.	4	0.20	0.0	0.0
ROE12750-3	Gatineau	Francis	O	25	.	1.6	.	59	.	4	0.20	0.0	0.0
ROE12750-4	Gatineau	Francis	O	25	.	1.6	.	59	.	4	0.20	0.0	0.0
ROE12750-5	Gatineau	Francis	O	.	.	1.6	.	80	.	4	0.20	21.9	96.0
ROE12737-1	Moulin au Moine	Francis	O	.	.	2	.	102	.	1.2	0.50	21.8	95.9
ROE12737-2	Moulin au Moine	Francis	O	.	.	2	.	102	.	1.2	0.50	21.8	95.9
ROE6570-1	Moulin de l'Abbaye de Fontgombault	Kaplan	O	.	.	1.6	1.5	150	2	4.5	0.33	10.1	57.2
ROE6570-2	Moulin de l'Abbaye de Fontgombault	Kaplan	O	.	.	1.6	.	150	2	2	0.33	12.6	70.6
ROE6570-3	Moulin de l'Abbaye de Fontgombault	Kaplan	O	.	.	1.6	1.5	150	2	4.5	0.33	10.1	57.2
ROE7948-1	Longefont	Kaplan	O	.	2	1.8	2.2	122	2	9	0.51	8.4	42.7
ROE7948-2	Longefont	Kaplan	O	.	.	1.8	1.5	118	4	4	0.49	15.0	52.2
ROE8002-1	Saint Marin	Kaplan	N	.	.	1.5	1.5	80	4	.	0.50	0.0	0.0
ROE8002-2	Saint Marin	Kaplan	N	.	.	1.5	1.5	80	4	.	0.50	0.0	0.0
ROE8151-1	Moulin Neuf	Kaplan	O	.	.	1.9	2.1	100	4	12	1.00	11.6	36.4
ROE8151-2	Moulin Neuf	autre	N	.	.	1.6	.	.	.	.	0.50	0.0	0.0
ROE59532-1	Barrage de la Roche bat l'Aigue	Kaplan	O	.	.	12.5	.	150	4	20	0.25	11.5	39.6
ROE59532-2	Barrage de la Roche bat l'Aigue	Kaplan	O	.	.	12.5	.	150	4	20	0.25	11.5	39.6
ROE59532-3	Barrage de la Roche bat l'Aigue	Kaplan	O	.	.	12.5	.	150	4	20	0.25	11.5	39.6
ROE59532-4	Barrage de la Roche bat l'Aigue	Kaplan	O	.	.	12.5	.	150	4	20	0.25	11.5	39.6
ROE59462-1	Moulin de Gargillesse	Francis	O	.	1	1.9	2.2	100	.	12.5	0.50	14.6	93.7
ROE59462-2	Moulin de Gargillesse	Francis	O	.	1	1.9	2.2	100	.	12.5	0.50	14.6	93.7
ROE59464-1	Barrage de la Roche au moine	Francis	O	50	.	16.6	.	195	.	25	0.32	17.1	94.4
ROE59464-2	Barrage de la Roche au moine	Francis	O	50	.	16.6	.	195	.	25	0.32	17.1	94.4
ROE59464-3	Barrage de la Roche au moine	Kaplan	O	50	.	16.6	.	.	4	3.1	0.04	21.7	54.8
ROE59464-4	Barrage de la Roche au moine	Francis	O	50	.	16.6	.	195	.	25	0.32	17.1	94.4
ROE59503-1	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	2	250	7	30	0.16	34.0	98.7
ROE59503-2	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	2	250	7	30	0.16	34.0	98.7
ROE59503-3	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	2	250	7	30	0.16	34.0	98.7
ROE59503-4	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	2	250	7	30	0.16	34.0	98.7
ROE59503-5	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	2	250	7	30	0.16	34.0	98.7
ROE59503-6	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	2	250	7	30	0.16	34.0	98.7
ROE59503-7	Barrage d'Eguzon	Francis	O	50	.	58.3	.	250	.	3.1	0.02	29.4	98.3
ROE10708-1	Barrage et usine de L'Age à La Celle Du-noise	autre	O	.	.	19.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE10722-1	Barrage et usine des Chezelles	autre	O	.	.	19.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE10604-1	Barrage et usine de Champsanglard	autre	O	.	.	18.9	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE10604-2	Barrage et usine de Champsanglard	autre	O	.	.	18.9	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE10028-1	Seuil moulin neuf	autre	O	.	.	1.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE10003-1	Seuil du Moulin de Pont à Libaud	autre	O	.	.	1.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9955-1	Seuil de la microcentrale de la Roche Etroite	autre	O	.	.	2.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9297-1	Seuil minoterie d'Ahun	autre	O	.	.	0.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9259-1	Barrage de Chantegrelle	autre	O	.	.	11.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9268-1	Seuil moulin de Chantegrelle	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE7114-1	Seuil de l'usine hydroélectrique de la croix Blanche	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE7133-1	Seuil moulin Richain	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE6604-1	Micro centrale des Combes	autre	O	.	.	8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9

ANNEXE J. DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Dore													
ROE84940-1	moulin de la Ville (Chateldon)	autre	N	.	.	4	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE8538-1	Moulin de chez Cottard	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8574-1	Concession de la Durolle (Château Gaillard)	autre	O	.	.	16	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8583-1	La Monnerie le montel	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41986-1	Barrage de Sauviat	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41951-1	Prise d'eau des Pradres usine de Sauviat	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE41951-2	Prise d'eau des Pradres usine de Sauviat	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE41951-3	Prise d'eau des Pradres usine de Sauviat	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE8769-1	Microcentrale le Couzon (ex Marcoux)	autre	O	.	.	0.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8734-1	Barrage de la Fortie (Le Foret)	autre	O	.	.	31.8	.	.	.	0.1	0.50	20.1	76.9
ROE8734-2	Barrage de la Fortie (Le Foret)	Francis	O	.	.	31.8	.	223	.	0.2	0.50	20.3	95.4
ROE11179-1	Usine coste	autre	O	.	.	9.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE11294-1	Micro-centrale de Saint-Gervais-sous-Meymont	Francis	O	.	.	3.2	0.9	138	11	2.4	0.14	20.3	95.5
ROE11294-2	Micro-centrale de Saint-Gervais-sous-Meymont	Kaplan	O	.	.	3.2	1.6	187	4	7	0.41	14.3	57.4
ROE11294-3	Micro-centrale de Saint-Gervais-sous-Meymont	Kaplan	O	40	.	3.2	1.8	239	4	6.5	0.38	13.1	65.0
ROE11294-4	Micro-centrale de Saint-Gervais-sous-Meymont	Francis	O	40	.	3.2	7	140	11	1.3	0.08	0.2	83.5
ROE11301-1	Seuil microcentrale Decours (moulin d'Olliergue)	autre	O	.	.	4.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE11453-1	Seuil de prise d'eau de la Microcentrale de Chantelauze Le Grand Cerf	Kaplan	O	.	.	8	.	.	4	9.6	0.81	14.6	54.8
ROE11453-2	Seuil de prise d'eau de la Microcentrale de Chantelauze Le Grand Cerf	Kaplan	O	.	.	8	.	.	4	2.3	0.19	24.4	54.8
ROE11458-1	Seuil de prise d'eau de la microcentrale du Chalard	autre	O	.	.	8.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40894-1	Cablerie de la Repote -Seuil Usine Omerin (Olliergues)	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE11226-1	Microcentrale d'Augerolle	autre	O	.	.	2.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE42015-1	Microcentrale de Carcasse	autre	O	.	.	135	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40960-1	Microcentrale de Vertolay	autre	O	.	.	160	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40988-1	Microcentrale la Fortiche (ex Sorexe) ST PIERRE-LA-BOURLHONNE	autre	O	.	.	107.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41175-1	Microcentrale du Batifol	autre	O	.	.	77.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE90172-1	Moulin Gratarelle (Ambert)	autre	O	.	.	18.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE90171-1	Moulin de Feneix (Valeyre)	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE90173-1	Moulin de Nouara	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41400-1	Moulin de la Naute	autre	O	.	.	5.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41258-1	Barrage de Barot (concession)	autre	O	.	.	8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41349-1	Barrage de compensation du Barot	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41358-1	Microcentrale DE LA VIGNE	autre	O	.	.	28	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41425-1	Microcentrale du Chalas	autre	O	18	.	24.1	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Gartempe													
ROE21918-1	La Roche à Gué	Kaplan	O	.	.	1.6	.	.	4	.	0.50	23.6	54.8
ROE21918-2	La Roche à Gué	Francis	O	.	.	1.6	.	92	.	.	0.50	22.1	96.0
ROE21937-1	Usine hydro elect de Nalliers	Francis	O	.	.	2	.	70	.	8	0.50	21.7	95.9
ROE21937-2	Usine hydro elect de Nalliers	Francis	O	.	.	2	.	102	.	2	0.25	22.0	96.0
ROE21937-3	Usine hydro elect de Nalliers	Francis	O	.	.	2	.	102	.	2	0.25	22.0	96.0
ROE21937-4	Usine hydro elect de Nalliers	Francis	O	.	.	2	.	70	.	8	0.50	21.7	95.9
ROE21940-1	Moulin de l'Epine	Kaplan	O	.	.	2	1	140	7	1.5	0.50	33.5	72.7
ROE21940-2	Moulin de l'Epine	Francis	O	.	.	2	1	140	7	3.1	0.50	19.9	95.3
ROE21982-1	La Brasserie	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE21982-2	La Brasserie	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE21982-3	La Brasserie	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE22048-1	Moulin de l'Age	Kaplan	O	4.3	.	1.4	2	70	4	1.5	1.00	12.2	48.7
ROE15367-1	Moulin Quéroux	Kaplan	O	.	.	2.3	1.8	105	12	4.9	0.50	26.8	46.3
ROE15367-2	Moulin Quéroux	Francis	O	.	.	2.3	1.1	105	9	2.4	0.50	18.6	94.9
ROE15391-1	Moulin Chaumont	Francis	O	.	.	1.8	.	97	.	.	0.50	22.1	96.0
ROE15391-2	Moulin Chaumont	Kaplan	O	.	.	1.8	0.8	.	4	.	0.50	25.8	54.8
ROE16788-1	Usine du Moulin VERGER	Kaplan	O	.	.	2.4	2	132	4	5.5	0.50	12.2	49.9
ROE16788-2	Usine du Moulin VERGER	Kaplan	O	.	.	2.4	2	132	4	5.5	0.50	12.2	49.9
ROE16834-1	Usine du Moulin de Chaume	Francis	O	.	.	3.5	1.8	186	4	8.5	0.50	16.9	94.4
ROE16834-2	Usine du Moulin de Chaume	Francis	O	.	.	3.5	1.8	186	4	8.5	0.50	16.9	94.4
ROE16851-1	Moulin de la Chaise	Francis	O	.	.	2.2	1.8	100	4	.	1.00	16.8	94.4
ROE16975-1	Moulin de Bersac	Francis	O	.	.	1.8	.	87	13	2	0.36	22.0	96.0
ROE16975-2	Moulin de Bersac	Kaplan	O	.	.	1.8	.	152	4	5	0.64	16.0	56.7
ROE16979-1	Moulin de Rancon	Francis	O	.	.	1.2	.	70	.	1.9	1.00	22.0	96.0
ROE16982-1	Moulin de Roche	Kaplan	O	.	.	1.9	2.7	64	4	9	1.00	10.2	30.5
ROE16986-1	Moulin de Laprade - La Papéterie - La Courcelle	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE16989-1	Usine elect de la Roche-Etrangle-Loup	Francis	O	.	.	5.3	1.2	170	13	3.7	0.50	19.3	95.1
ROE16989-2	Usine elect de la Roche-Etrangle-Loup	Francis	O	.	.	5.3	1	188	13	3.7	0.50	21.1	95.7
ROE6206-1	Galant	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE6137-1	Unsine du Mas	Kaplan	O	40	.	4.3	1.5	250	4	8	1.00	15.0	64.7
ROE5511-1	Boirot	autre	O	.	.	2	.	.	.	0.2	1.00	20.1	76.9
ROE5344-1	Usine du Moulin Neuf	Francis	O	.	.	3.7	0.9	195	.	1.8	0.45	20.8	95.6
ROE5344-2	Usine du Moulin Neuf	Kaplan	O	.	.	3.7	1	240	4	2.2	0.55	22.3	84.5
ROE8272-1	Usine des Moulins	autre	O	.	.	1.7	.	.	.	3	1.00	20.1	76.9
ROE8674-1	Sebrot	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	0.8	1.00	20.1	76.9
Indre													
ROE16810-1	Beaumer	autre	O	.	.	1.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE14163-1	Moulin de l'Ile Savary	Francis	O	.	.	2	.	40	.	5	0.50	21.3	95.8
ROE14163-2	Moulin de l'Ile Savary	Francis	O	.	.	2	.	40	.	5	0.50	21.3	95.8
ROE59480-1	Grand Moulin à Buzançais	Kaplan	O	.	3	1.3	.	108	4	10	1.00	12.5	39.8
ROE14482-1	Microcentrale de Bonneau à Buzançais	Kaplan	O	.	.	1.8	.	.	4	5	0.50	18.1	54.8
ROE14482-2	Microcentrale de Bonneau à Buzançais	Francis	O	.	.	1.8	.	97	.	.	0.50	22.1	96.0
ROE39486-1	Moulin de Bitray à Déols	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE47719-1	Moulin Guérin	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE47991-1	Moulin de Sévigné	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE59450-1	Barrage du Moulin Neuf	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE47905-1	Minoterie de Ste-Sévère	autre	O	.	.	3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9

ANNEXE J. DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Loir													
ROE3729-1	Villevéque	autre	O	.	.	0.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8506-1	Moulin de Bré	autre	N	.	.	1.5	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE3777-1	Ignerelle	autre	O	.	.	1.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE37565-1	Moulin de Cherré	autre	O	.	.	1.7	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE37565-2	Moulin de Cherré	autre	O	.	.	1.4	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE58627-1	Moulin de la plaine 1	Kaplan	O	.	.	1.8	.	.	4	2.8	1.00	22.6	54.8
ROE58630-1	Moulin de l'abord de dieu	autre	O	.	.	1	1.3	.	6	.	1.00	20.1	76.9
ROE86389-1	Moulin de Varennes	Kaplan	O	.	.	1.1	.	.	4	.	1.00	14.2	54.8
ROE48682-1	moulin de Malignas	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8731-1	Le Langault	Kaplan	O	.	.	1	.	.	4	.	1.00	15.8	54.8
ROE8728-1	moulin de Vernouillet	Kaplan	O	.	.	1.4	.	.	4	.	1.00	40.1	54.8
ROE54112-1	Moulin de Charray	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE54112-2	Moulin de Charray	Francis	O	.	.	1.4	0.8	120	32	1.7	1.00	20.3	95.5
ROE48490-1	Saint Avit	Francis	O	.	0	0.9	3.6	10	.	2	0.50	6.2	88.0
ROE48490-2	Saint Avit	Francis	O	.	0	0.9	3.6	10	.	2	0.50	6.2	88.0
ROE16384-1	Grand Moulin du Vivier à La Bazoche de Gouet	Kaplan	N	.	.	3	.	.	4	0.4	1.00	0.0	0.0
ROE58730-1	Moulin d'Epasé à Unverre	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Loire													
ROE19169-1	Barrage de Decize (ou Saint-Léger-des-Vignes)	autre	O	.	.	4	4.5	60	4	65	0.50	20.1	76.9
ROE19169-2	Barrage de Decize (ou Saint-Léger-des-Vignes)	autre	O	.	.	4	4.5	60	4	65	0.50	20.1	76.9
ROE45228-1	Barrage de navigation de Roanne	autre	O	25	.	2.7	.	.	3	26.6	0.33	0.0	0.0
ROE45228-2	Barrage de navigation de Roanne	autre	O	25	.	2.7	.	.	3	26.6	0.33	0.0	0.0
ROE45228-3	Barrage de navigation de Roanne	autre	O	25	.	2.7	.	.	3	26.6	0.33	0.0	0.0
ROE45229-1	Barrage de Villerest	Kaplan	O	.	.	45.5	3.4	231	5	80	0.50	9.9	34.5
ROE45229-2	Barrage de Villerest	Kaplan	O	.	.	45.5	3.4	231	5	80	0.50	9.9	34.5
ROE42468-1	Moulin Dissart	autre	O	.	.	1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE53611-1	Moulin Peuvergne	autre	O	.	.	4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE30743-1	Moulin nigon	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE30761-1	Chizonnet	autre	O	.	.	32	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE31370-1	Moulin Guérin	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE36302-1	Méximieux, ancienne papèterie Montverdun	autre	O	.	.	6.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE31533-1	Moulin Barbeau	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE31556-1	Gour Saillans	autre	O	.	.	7.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE35336-1	Moulin Giraud	autre	O	.	.	5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE36324-1	Barrage de vaux	Francis	O	.	.	50.5	.	750	.	4	1.00	33.0	98.6
ROE36330-1	Barrage de pontabouland	Francis	O	.	.	114.5	.	750	.	2.6	1.00	56.9	99.8
ROE36330-2	Barrage de pontabouland	autre	O	.	.	13	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE26980-1	Barrage de Grangent	Francis	O	.	.	47	.	600	.	2	0.02	29.8	98.4
ROE26980-2	Barrage de Grangent	Francis	O	60	.	47	.	250	.	37	0.46	27.1	97.6
ROE26980-3	Barrage de Grangent	Francis	O	60	.	47	.	250	.	37	0.46	27.1	97.6
ROE26980-4	Barrage de Grangent	Kaplan	O	.	.	30.2	.	500	4	5	0.06	22.1	93.2
ROE42198-1	la Fouillouse	autre	O	.	.	7.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE50270-1	Seuil microcentrale de la Placette	Francis	O	.	0	9.1	.	168	.	0.6	0.50	14.0	93.5
ROE50270-2	Seuil microcentrale de la Placette	Francis	O	.	0	9.1	.	168	.	.	0.50	13.9	93.5
ROE35829-1	Passafol (usines des Ruines)	autre	O	.	.	71	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE36349-1	Pont de Chevelière (Fournier)	autre	O	.	.	156	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE26068-1	Seuil de l'usine hydroélectrique de Semène	autre	O	.	.	4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE26098-1	Microcentrale de la méanne 2	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE26117-1	seuil de la microcentrale de la Méane 1	autre	O	.	.	9.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE44350-1	Barrage de la Papèterie	autre	N	.	.	3	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE44355-1	Barrage de la microcentrale des Mazeaux	autre	O	.	.	1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40094-1	Barrage de l'usine de pont de lignon1	autre	O	.	.	42.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40096-1	Barrage de l'usine de pont de lignon2	autre	O	.	.	8.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE25027-1	Usine électrique de Ranc	Kaplan	O	25	.	4.5	.	.	4	.	0.33	0.0	0.0
ROE25027-2	Usine électrique de Ranc	Kaplan	O	25	.	4.5	.	.	4	.	0.33	0.0	0.0
ROE25027-3	Usine électrique de Ranc	Kaplan	O	25	.	4.5	.	.	4	.	0.33	0.0	0.0
ROE27160-1	Barrage de compensation de l'usine hydro-électrique du Plot	autre	N	.	.	2.5	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE24526-1	Usine électrique du Vert (Retournac)	autre	O	.	.	5.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE27186-1	Usine du barrage de Passouira	autre	O	25	.	158	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE27210-1	Moulin Giroux	autre	O	.	1	1.4	.	.	.	4.5	1.00	20.1	76.9
ROE27231-1	Usine hydroélectrique du Rodier (Saint Julien d'Ance)	autre	O	.	.	2.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE24611-1	Usine électrique de Vousse	Kaplan	O	.	.	5.2	.	.	4	.	1.00	12.5	54.8
ROE24673-1	usine électrique du moulin des Vigès	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE24673-2	usine électrique du moulin des Vigès	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE40833-1	Barrage de l'usine électrique de la Pervenchère	autre	O	.	.	2.2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40081-1	Barrage de la Valette	autre	O	.	.	94.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40083-1	Usine hydroélectrique de Versilhac Vendet à Lapte	autre	O	.	.	153.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40831-1	Microcentrale de Solier (Dunière)	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE77050-1	Bénibeu	autre	O	.	.	7.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE24856-1	Usine électrique de la Ribette	autre	O	.	.	3.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE27947-1	Seuil de la microcentrale de Chabouteyres	Francis	O	.	.	16.2	.	194	.	.	0.50	15.5	94.0
ROE27947-2	Seuil de la microcentrale de Chabouteyres	Francis	O	.	.	16.2	.	194	.	.	0.50	15.5	67.5
ROE43547-1	Barrage de l'usine hydroélectrique des Mazeaux	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE43547-2	Barrage de l'usine hydroélectrique des Mazeaux	Francis	O	.	.	14.1	.	188	.	.	1.00	14.8	93.7
ROE17022-1	Levée des Frères (Tence)	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE90157-1	Usine GEH Saint Simon	Kaplan	O	60	.	7	.	250	4	.	1.00	17.1	69.3
ROE90158-1	Usine du Moulin Navant	Kaplan	O	25	1	6	1	250	4	.	0.33	0.0	0.0
ROE90158-2	Usine du Moulin Navant	Kaplan	O	25	1	6	.	375	4	.	0.33	0.0	0.0
ROE90158-3	Usine du Moulin Navant	Kaplan	O	25	.	6	.	250	4	.	0.33	0.0	0.0
ROE40076-1	Barrage de Salettes (Moulin Joubert)	autre	O	.	.	24.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE39214-1	Digue de la minoterie Jouve	autre	O	.	.	76	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE39215-1	Seuil de Pousareau ou Magnac	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE39215-2	Seuil de Pousareau ou Magnac	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE39267-1	Seuil Moulin Gory	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40277-1	Usine de la Berthe	autre	O	.	.	3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE41225-1	Barrage des Pradeaux	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE40303-1	Seuil de l'usine des Pandreaux	autre	O	.	.	17.9	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE40303-2	Seuil de l'usine des Pandreaux	autre	O	.	.	17.9	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE40376-1	Barrage de Saint Blaize	Kaplan	O	30	.	14.9	.	600	4	.	0.25	24.0	96.3
ROE40376-2	Barrage de Saint Blaize	Francis	O	30	.	14.9	.	500	14	.	0.25	18.5	94.9
ROE40376-3	Barrage de Saint Blaize	Francis	O	30	.	14.9	.	500	14	.	0.25	18.5	94.9
ROE40376-4	Barrage de Saint Blaize	Francis	O	30	.	14.9	.	500	14	.	0.25	18.5	94.9
ROE38180-1	Langougnole	autre	O	.	.	266.7	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE38180-2	Langougnole	autre	O	.	.	2.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE76097-1	Usine de Montpezat / barrage du Moulin de Peyron	autre	O	.	.	636	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE38228-1	Usine de Montpezat / barrage de la Palisse	autre	O	.	.	636	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE38200-1	Usine de Montpezat / barrage de la Grange	autre	O	.	.	636	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9

ANNEXE J. DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Mayenne													
ROE43070-1	Moulin de la Roussière	autre	O	.	.	1	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE2232-1	Chenillé changé	autre	O	.	.	0.8	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE41255-1	Moulin du Bourg d'Iré	autre	O	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE20586-1	Persigand	Francis	O	.	.	1.8	1.8	60	.	8	0.55	15.7	94.0
ROE20586-2	Persigand	Francis	O	.	.	1.8	1.4	50	.	4	0.45	16.8	94.4
ROE20650-1	Laval	autre	O	25	.	1.6	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
ROE20632-1	Port Rhingeard	Kaplan	O	20	.	2.5	2.5	150	4	12	0.50	0.0	0.0
ROE20632-2	Port Rhingeard	Kaplan	O	20	.	2.5	2.5	150	4	12	0.50	0.0	0.0
ROE20720-1	Belle Poule	autre	O	.	.	1.3	.	.	.	1	1.00	20.1	76.9
ROE20732-1	L'Ame	VLH	O	.	.	1.8	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
ROE20733-1	Oger	VLH	O	.	.	2	1.1	143	4	9.5	1.00	0.0	0.0
ROE20734-1	La Fourmondière inférieure	Kaplan	O	.	.	2.7	1.1	143	4	12.8	0.50	19.1	45.7
ROE20734-2	La Fourmondière inférieure	VLH	O	.	.	2.7	1.1	143	4	12.8	0.50	0.0	0.0
ROE20736-1	La Fourmondière supérieure	Kaplan	O	.	.	2.8	1.1	143	4	10.5	0.33	19.1	47.7
ROE20736-2	La Fourmondière supérieure	Kaplan	O	.	.	2.8	1.1	143	4	9.5	0.33	19.1	48.8
ROE20736-3	La Fourmondière supérieure	Kaplan	O	.	.	2.8	1.1	143	4	10.5	0.33	19.1	47.7
ROE20739-1	La Richardière	Kaplan	O	.	.	2.7	1.1	143	4	9.5	0.03	19.1	48.8
ROE20739-2	La Richardière	Kaplan	O	.	.	2.7	1.2	204	4	5.8	0.74	18.0	64.3
ROE20739-3	La Richardière	Francis	O	.	.	2.7	1.1	63	10	4.8	0.23	19.1	95.1
ROE20847-1	La Nourrière	Kaplan	O	.	.	2.8	1.1	143	4	9.5	1.00	19.1	48.8
ROE20731-1	La Maignannerie	VLH	O	.	.	2	1.2	225	4	4.5	1.00	0.0	0.0
ROE20850-1	Le Port	VLH	O	.	.	1.8	1.1	143	4	9.5	1.00	0.0	0.0
ROE20856-1	Bas Hambert	VLH	O	.	.	2.8	1.1	143	4	9.5	1.00	0.0	0.0
ROE40049-1	Montgiroux (déversoir des Communes amont)	VLH	O	.	.	1.8	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
ROE20861-1	Corçu	Kaplan	N	.	.	2.2	1.2	250	4	4.5	0.50	0.0	0.0
ROE20861-2	Corçu	VLH	O	.	.	2.2	1.2	250	4	4.5	0.50	0.0	0.0
ROE20829-1	La Verrerie	Kaplan	O	.	.	2	1.1	143	4	9.5	1.00	19.1	48.8
ROE20876-1	Boussard	VLH	O	.	.	1.8	1.1	143	4	9.5	1.00	0.0	0.0
ROE20880-1	La Roche	VLH	O	.	.	1.7	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
ROE20885-1	Grenoux	Kaplan	O	.	.	1.8	1.1	143	4	9.5	1.00	19.1	48.8
ROE20891-1	St Baudelle	Kaplan	O	.	.	2	1.1	143	4	9.5	1.00	19.1	48.8
ROE20897-1	Mayenne	Kaplan	O	.	.	1.6	1.2	120	4	1.00	18.0	50.1	
ROE5543-1	Barrage de Saint Fraimbault	Kaplan	O	.	.	8	1.2	362	4	9	0.43	17.4	76.1
ROE5543-2	Barrage de Saint Fraimbault	Kaplan	O	.	.	8	1.2	362	4	9	0.43	17.4	76.1
ROE5543-3	Barrage de Saint Fraimbault	Kaplan	O	.	.	8	0.8	585	4	3	0.14	26.5	97.9
ROE30542-1	Moulin Neuf	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE18425-1	Moulin Neuf - décharge	Francis	O	.	.	2	1	90	20	.	0.50	18.1	94.8
ROE18425-2	Moulin Neuf - décharge	Francis	O	.	.	2	1	90	20	.	0.50	18.1	94.8
Sarthe													
ROE41582-1	Le Gord	Kaplan	O	.	.	1.7	.	.	4	18	0.33	12.1	54.8
ROE41582-2	Le Gord	Kaplan	O	.	.	1.7	.	.	4	18	0.33	12.1	54.8
ROE41582-3	Le Gord	Kaplan	O	.	.	1.7	.	.	4	18	0.33	12.1	54.8
ROE41697-1	Spay	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE36964-1	L'Epau (usine des eaux)	autre	N	.	.	1.9	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
ROE6266-1	Moulin des Noyers	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE6011-1	Fillé	autre	O	.	.	1.3	.	.	.	0.50	20.1	76.9	
ROE6011-2	Moulin de Neuville	autre	O	.	.	2.3	.	.	.	0.50	20.1	76.9	
ROE36897-1	Le Bourray	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE6030-1	Boulay	autre	O	.	.	1.2	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE39473-1	Guédon	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
ROE40512-1	Avezé	autre	N	.	.	2	.	.	.	1.00	0.0	0.0	
ROE15209-1	Le Chevain	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	1.00	20.1	76.9	
Sevre nantaise													
ROE34572-1	Les Epinettes	autre	N	.	.	3	.	.	.	0.50	0.0	0.0	
ROE34572-2	Les Epinettes	autre	N	.	.	3	.	.	.	0.50	0.0	0.0	
ROE14905-1	Gallard	Kaplan	O	.	.	3.3	.	.	4	.	0.50	25.8	54.8
ROE14905-2	Gallard	Francis	O	.	.	3.3	.	124	.	.	0.50	20.3	95.4

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Sioule													
ROE24506-1	Centrale élect du Moulin Breland	Kaplan	O	50	.	3.1	2.4	95	4	21	0.70	0.0	0.0
ROE24506-2	Centrale élect du Moulin Breland	Kaplan	N	25	.	3.1	1.6	162	4	9	0.30	0.0	0.0
ROE29001-1	Barrage du moulin de la Ville	Francis	O	.	2	2.5	1.9	80	13	7	0.50	14.9	93.8
ROE29001-2	Barrage du moulin de la Ville	Francis	O	.	2	2.5	1.9	80	13	7	0.50	14.9	93.8
ROE27316-1	Moulin de la Carmonne - usine	Kaplan	O	60	.	2.5	.	.	4	.	1.00	11.8	54.8
ROE29187-1	Moulin Champagne (microcentrale)	Francis	O	40	3	4.7	.	139	.	10	0.59	20.6	95.6
ROE29187-2	Moulin Champagne (microcentrale)	Francis	O	40	2	4.7	.	139	.	7	0.41	19.9	95.3
ROE29268-1	Moulin d'Entremiolles (microcentrale) usine	Kaplan	O	.	.	3	.	156	4	.	1.00	12.9	46.0
ROE29614-1	Moulin des Grottes (usine)	Francis	O	40	.	3.3	.	83	.	.	1.00	21.3	95.8
ROE29625-1	Moulin d'Aubeterre	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	2.5	1.00	20.1	76.9
ROE29663-1	Moulin Infernal (usine centrale)	Kaplan	O	.	4	3.5	.	.	4	13.6	0.55	13.1	54.8
ROE29663-2	Moulin Infernal (usine centrale)	Francis	O	.	2	3.5	.	127	.	11	0.45	21.7	95.9
ROE29781-1	Neuvial amont première usine	Kaplan	O	.	.	1.9	.	.	4	.	0.50	15.2	54.8
ROE29781-2	Neuvial amont première usine	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE29781-3	Neuvial amont première usine	Kaplan	O	65	.	1.9	.	.	4	.	0.50	15.2	54.8
ROE4573-1	Moulin du Coin	autre	N	.	.	2.5	.	.	.	.	0.09	0.0	0.0
ROE4573-2	Moulin du Coin	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	0.91	20.1	76.9
ROE4222-1	Barrage de Queuille	autre	O	.	.	24	.	.	.	.	0.25	20.1	76.9
ROE4222-2	Barrage de Queuille	autre	O	.	.	24	.	.	.	.	0.25	20.1	76.9
ROE4222-3	Barrage de Queuille	autre	O	.	.	24	.	.	.	.	0.25	20.1	76.9
ROE4222-4	Barrage de Queuille	autre	O	.	.	24	.	.	.	.	0.25	20.1	76.9
ROE4211-1	Barrage des Fades-Besserve	autre	O	.	.	62	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE28531-1	centrale du moulin d'en haut (Pontaumur)	autre	O	.	.	7.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE11884-1	Moulin de Mazière d'en-haut	autre	O	.	.	3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE14154-1	Microcentrale de la Saunade	autre	O	.	.	5.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE11918-1	Barrage de Pontgibaud usine Montfermy	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9

ANNEXE J. DÉTAIL DES DONNÉES DE TURBINES

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Vienne													
ROE19881-1	Usine électrique de Chatellerault	Francis	O	.	5	3.6	.	128	.	25	0.25	21.7	95.9
ROE19881-2	Usine électrique de Chatellerault	Kaplan	O	.	5	3.6	.	.	4	25	0.25	11.2	54.8
ROE19881-3	Usine électrique de Chatellerault	Kaplan	O	.	5	3.6	.	.	4	25	0.25	11.2	54.8
ROE19881-4	Usine électrique de Chatellerault	Kaplan	O	.	5	3.6	.	.	4	25	0.25	11.2	54.8
ROE21331-1	Moulin de Bonneuil	Kaplan	O	.	.	1.7	.	.	4	6	0.21	17.0	54.8
ROE21331-2	Moulin de Bonneuil	Kaplan	O	.	.	1.7	.	.	4	6	0.21	17.0	54.8
ROE21331-3	Moulin de Bonneuil	Kaplan	O	.	.	1.7	.	.	4	6	0.21	17.0	54.8
ROE21331-4	Moulin de Bonneuil	Francis	O	.	.	1.7	.	95	.	10	0.36	22.1	96.0
ROE60573-1	Saint Mars	Francis	O	.	.	2.2	.	107	.	.	0.25	22.0	96.0
ROE60573-2	Saint Mars	Kaplan	O	.	.	2.2	.	.	4	.	0.25	12.8	54.8
ROE60573-3	Saint Mars	Kaplan	O	.	.	2.2	.	.	4	.	0.25	12.8	54.8
ROE60573-4	Saint Mars	Kaplan	O	.	.	2.2	.	.	4	.	0.25	12.8	54.8
ROE21573-1	Goux-Villard	Kaplan	O	25	4	2.2	3	75	2	25	0.50	0.0	0.0
ROE21573-2	Goux-Villard	Kaplan	O	25	4	2.2	3	75	2	25	0.50	0.0	0.0
ROE61619-1	Moulin de la Roche	Kaplan	O	.	.	1.8	.	.	4	.	1.00	25.1	54.8
ROE29073-1	Barrage de Charde	Kaplan	O	.	.	8.1	2.2	214	4	28	0.30	11.3	43.7
ROE29073-2	Barrage de Charde	Francis	O	.	.	8.1	2.3	125	.	22.1	0.23	15.6	94.0
ROE29073-3	Barrage de Charde	Francis	O	.	.	8.1	2.3	125	.	22.1	0.23	15.6	94.0
ROE29073-4	Barrage de Charde	Francis	O	.	.	8.1	2.3	125	.	22.1	0.23	15.6	94.0
ROE29116-1	Barrage de La Roche	Kaplan	O	.	.	11.5	2.2	188	4	22.5	0.24	11.3	43.0
ROE29116-2	Barrage de La Roche	Kaplan	O	.	.	11.5	2.2	188	4	22.5	0.24	11.3	43.0
ROE29116-3	Barrage de La Roche	Kaplan	O	.	.	11.5	2.2	188	4	22.5	0.24	11.3	43.0
ROE29116-4	Barrage de La Roche	Kaplan	O	.	.	11.5	2.2	188	4	27	0.29	11.3	41.3
ROE29086-1	Barrage de Jousseau	Francis	O	.	.	10.2	2.5	136	12	26	0.33	15.5	94.0
ROE29086-2	Barrage de Jousseau	Francis	O	.	.	10.2	2.5	136	12	26	0.33	15.5	94.0
ROE29086-3	Barrage de Jousseau	Francis	O	.	.	10.2	2.5	136	12	26	0.33	15.5	94.0
ROE51853-1	Moulin de puygrenier	Francis	O	20	.	1.2	.	80	.	.	0.25	0.0	0.0
ROE51853-2	Moulin de puygrenier	Francis	O	20	.	1.2	.	80	.	.	0.25	0.0	0.0
ROE51853-3	Moulin de puygrenier	Francis	O	20	.	1.2	.	80	.	.	0.25	0.0	0.0
ROE51853-4	Moulin de puygrenier	Francis	O	20	.	1.2	.	80	.	.	0.25	0.0	0.0
ROE51555-1	Moulin de Roche (ou de la Lainière)	autre	O	20	.	1.9	.	.	.	.	1.00	0.0	0.0
ROE51553-1	Moulin Neuf	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE51550-1	Moulin de Chabonais	Francis	O	.	.	1.9	.	100	.	.	0.50	22.1	96.0
ROE51550-2	Moulin de Chabonais	Francis	O	.	.	1.9	.	100	.	.	0.50	22.1	96.0
ROE54073-1	Moulin de la Soutière	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE51551-1	Moulin du Pilas	Kaplan	O	20	.	1.5	.	.	4	17.5	0.50	0.0	0.0
ROE51551-2	Moulin du Pilas	Kaplan	O	20	.	1.5	.	.	4	17.5	0.50	0.0	0.0
ROE9523-1	Usine de Saillat	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	.	0.64	20.1	76.9
ROE9523-2	Usine de Saillat	autre	O	.	.	3.4	.	.	.	.	0.36	20.1	76.9
ROE9527-1	Barrage de Roche	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9541-1	Moulin de Saint Amant	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9548-1	Moulin de Grandmont	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9550-1	Moulin de l'Hopital à Saint Junien	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9556-1	Usine du Bouchet	autre	O	.	.	1.7	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9558-1	Moulin de Saint Victurien	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE5878-1	Moulin Barlet	autre	O	.	.	1.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE5868-1	Moulin de la Gabie	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9565-1	Moulin de la Mie et de vienne	autre	O	.	.	1.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9578-1	Moulin de St gerald	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9584-1	Moulin du Caillaud	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9588-1	Barrage de l'Aiguille (usine Lascaux)	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9588-2	Barrage de l'Aiguille (usine Lascaux)	autre	O	.	.	1.6	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE9594-1	Usine du Val d'Enreud	autre	O	.	.	1.8	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9605-1	Moulin des Roches et moulin Richard	autre	O	.	.	2.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8282-1	Usine électrique du Palais Pas de la Mule	autre	O	.	.	6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9030-1	Seuil du Forgeron	autre	O	.	.	1.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9033-1	Moulin des Roches	autre	O	.	.	3.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8305-1	Usine de / barrage du Chauvan	autre	O	.	.	8.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9035-1	Moulin de Brignac	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9044-1	Centrale de Maquetteau seuil amont	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE6802-1	Usine de / barrage de Saint Marc	autre	O	.	.	36.3	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9084-1	Moulin de Beaufort	autre	O	.	.	1.9	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9092-1	centrale de Farebout	autre	O	.	.	2.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8834-1	Usine et barrage de l'Artige à Saint Denis des Murs	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE31221-1	Micro-centrale des Lilas	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE6821-1	Centrale hydroélectrique de la Chôtre	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8847-1	Usine du barrage de Langleret	autre	O	.	.	13.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9099-1	Seuil de la Borie	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9146-1	Usine de / barrage de l'Etroit à Châtelus le Marcheix	autre	O	.	.	49.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8852-1	Usine du barrage de Bujaleuf	autre	O	.	.	13.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8855-1	Usine du barrage de Fleix	autre	O	.	.	13.4	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE8856-1	Usine du barrage de Martiniex	autre	O	.	.	13.5	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9148-1	Usine de / barrage de la Roche Talamy	autre	O	.	.	.	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9012-1	Usine du barrage de Mont Larron à Saint Julien le Petit	autre	O	.	.	43	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9116-1	Usine du barrage de Bussy	autre	O	.	.	56.6	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9805-1	Moulin de Saint Junien	autre	O	.	.	2	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9763-1	Seuil de la microcentrale du Palais	autre	O	.	.	2.1	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
ROE9073-1	Usine du Mazet / barrage de Vassivière (Peyrat)	autre	O	.	.	252	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE9073-2	Usine du Mazet / barrage de Vassivière (Peyrat)	autre	O	.	.	252	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9
ROE9073-3	Usine du Mazet / barrage de Vassivière (Peyrat)	autre	O	.	.	252	.	.	.	.	0.33	20.1	76.9

Tableau J.1 – (continued)

id	Libelle	Type	Fonct.	Δ	Q_{arm}	H	D_r	N	N_p	Q_{max}	Q_t/Q	M_s	M_a
Lay													
ROE36391-1	Barrage de l'Angle Guignard	autre	O	.	.	16	.	.	.	.	0.50	20.1	76.9
ROE36391-2	Barrage de l'Angle Guignard	Francis	O	.	.	7	1.7	157	14	8	1.00	17.8	94.7
ROE36419-1	Rochereau	autre	O	.	.	14	.	.	.	.	1.00	20.1	76.9
Vendee													
ROE39720-1	Mervent	Francis	O	.	.	23	.	209	12	4	0.50	17.7	94.6
ROE39720-2	Mervent	Francis	O	.	.	23	.	209	12	4	0.50	17.7	94.6

K DÉTAIL DES DONNÉES DE DÉBIT PAR OUVRAGE

Tableau K.1 – Détail des données d'ouvrages par sous-bassin, Prod=type de production, auto-consommation (1) ou production (2), Q_ε débit d'équipement au niveau de l'ouvrage, P=puissance maximale brute de l'aménagement (KWH), n=nombre de turbines, Q_i= module interannuel du tronçon du RHT auquel est rattaché l'ouvrage, Q_{tk}= débits classés au niveau des ouvrages pour le saumon (période mars-mai) et pour l'anguille (période octobre-avril)

bassin	Ouvrage					Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Aulne															
ROE5390	2	1.2	18	1	4.7	1.4	2.4	3.7	5.7	9.8	9.4	14.6	18.9	23.8	31.6
ROE5426	2	0.7	.	1	0.9	0.3	0.5	0.7	1.1	1.9	1.8	2.9	3.7	4.7	6.2
ROE5174	2	6	7000	3	1.5	0.4	0.8	1.2	1.8	3.1	3.0	4.7	6.0	7.6	10.1
Blavet															
ROE11400	2	26	600	2	28.9	12.7	19.3	26.0	34.9	55.4	48.2	80.3	108.0	140.6	191.1
ROE35710	1	0.6	31	1	0.8	0.4	0.6	0.7	1.0	1.6	1.4	2.3	3.1	4.0	5.5
ROE14165	2	20	350	1	20.6	9.1	13.8	18.6	25.0	39.6	34.5	57.4	77.2	100.5	136.6
ROE14155	2	20	400	1	20.6	9.1	13.8	18.6	25.0	39.6	34.5	57.4	77.2	100.5	136.6
ROE14178	2	20	350	1	20.2	8.9	13.5	18.2	24.5	38.8	33.8	56.2	75.6	98.4	133.8
ROE14804	2	18	370	2	17.3	7.6	11.6	15.6	20.9	33.2	28.9	48.1	64.7	84.3	114.5
ROE10033	.	1.7	12	1	3.9	1.7	2.6	3.5	4.7	7.5	6.5	10.8	14.6	19.0	25.8
ROE17655	1	0.8	22	1	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.7	1.1	1.5	1.9	2.6
ROE17653	1	0.5	15	1	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.7	1.1	1.5	1.9	2.6
ROE15076	1	0.6	9	1	2.0	0.9	1.3	1.8	2.4	3.7	3.3	5.4	7.3	9.5	12.9
ROE14979	2	1.8	26	1	16.3	7.2	10.9	14.7	19.8	31.4	27.3	45.4	61.1	79.5	108.1
ROE10797	2	1.8	50	1	15.0	6.6	10.1	13.5	18.2	28.8	25.1	41.8	56.2	73.1	99.4
ROE9974	1	0.8	22	1	0.6	0.2	0.4	0.5	0.7	1.1	0.9	1.5	2.1	2.7	3.6
ROE10787	2	9.4	156	1	13.8	6.1	9.2	12.4	16.7	26.4	23.0	38.3	51.5	67.1	91.2
ROE22841	2	49	18000	4	12.2	5.4	8.1	10.9	14.7	23.3	20.3	33.8	45.5	59.2	80.5
ROE15004	2	10.5	480	1	12.2	5.4	8.1	10.9	14.7	23.3	20.3	33.8	45.5	59.2	80.5
ROE20783	2	0.2	210	1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.6	0.7	1.0	1.3
Cotiers22															
ROE29465	1	0.8	.	1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	0.5	0.9	1.3	1.6	2.0
Cotiers29															
ROE81626	1	0.7	15	1	0.4	0.3	0.4	0.6	0.8	1.3	1.1	1.7	2.3	2.9	3.6
ROE4013	1	0.8	.	2	1.2	0.7	1.2	1.6	2.2	3.5	2.9	4.6	6.1	7.7	9.4
ROE63053	2	0.5	.	1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
ROE63052	1	0.3	11	1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
ROE4021	1	0.8	48	2	0.7	0.5	0.7	1.0	1.3	2.1	1.7	2.8	3.7	4.7	5.7
ROE11729	1	0.6	14	1	0.5	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	0.8	1.3	1.8	2.3	3.1
ROE11730	1	0.5	24	2	0.5	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	0.8	1.3	1.8	2.3	3.1
ROE3951	1	0.5	28	1	1.3	0.8	1.3	1.8	2.5	3.9	3.2	5.2	6.9	8.7	10.6
ROE3958	2	0.8	18	1	1.3	0.8	1.3	1.8	2.5	3.9	3.2	5.2	6.9	8.7	10.6
Couesnon															
ROE11878	1	1	18	1	5.4	1.7	2.8	4.1	6.6	12.3	9.5	17.5	23.6	29.1	37.6
Dossen															
ROE4294	1	0.4	7	1	0.5	0.3	0.5	0.6	0.9	1.4	1.1	1.8	2.4	3.0	3.7
Elle															
ROE31387	.	0.3	7	1	0.6	0.3	0.4	0.6	0.7	1.1	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5
ROE30394	2	2	600	2	1.1	0.5	0.8	1.1	1.4	2.1	1.8	2.8	3.9	5.0	6.6
ROE31215	.	0.3	12	1	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	1.2	1.1	1.7	2.3	2.9	3.9
ROE31161	1	0.2	7	1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	1.1
Elorn															
ROE64409	1	1.2	10	1	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	1.5	1.2	2.0	2.6	3.3	4.0
ROE64411	1	0.3	20	1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.9	0.7	1.2	1.5	1.9	2.4
ROE4627	2	0.7	170	1	0.8	0.5	0.8	1.1	1.5	2.4	2.0	3.1	4.2	5.2	6.4
Gouessant															
ROE59736	2	9	2800	2	2.8	0.9	1.4	2.1	3.4	6.3	4.8	8.9	12.0	14.9	19.2
ROE38459	2	4	420	2	1.7	0.5	0.9	1.3	2.0	3.8	3.0	5.5	7.4	9.1	11.7
Gouet															
ROE33090	1	0.8	.	2	2.3	0.7	1.2	1.8	2.8	5.3	4.1	7.6	10.2	12.6	16.3
ROE33099	2	4.5	1633	1	2.2	0.7	1.2	1.7	2.7	5.1	3.9	7.3	9.8	12.1	15.6
ROE35351	1	0.8	.	1	1.3	0.4	0.7	1.0	1.6	3.0	2.3	4.3	5.7	7.1	9.1
ROE35411	1	0.8	.	1	0.8	0.3	0.4	0.6	1.0	1.9	1.4	2.6	3.5	4.4	5.7
ROE35612	1	0.8	.	1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.5	0.9	1.2	1.5	1.9
Isole															
ROE6398	2	2.2	360	2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage					Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Leff															
ROE12385	1	4	75	1	3.0	0.9	1.6	2.3	3.7	7.0	5.4	9.9	13.4	16.5	21.3
ROE22647	1	0.2	6	1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.6	0.7	0.9	1.2
ROE22737	2	0.8	18	1	1.1	0.3	0.5	0.8	1.3	2.4	1.8	3.4	4.6	5.7	7.3
Leguer															
ROE22333	1	0.6	11	1	7.1	4.5	6.9	9.4	13.0	20.9	17.2	27.5	36.7	46.2	56.3
ROE22332	.	1.2	25	1	6.5	4.1	6.3	8.6	11.9	19.1	15.7	25.2	33.6	42.2	51.4
ROE22533	1	0.8	.	1	6.0	3.8	5.9	8.0	11.1	17.7	14.6	23.3	31.1	39.1	47.7
ROE22530	1	2	18	1	6.0	3.8	5.9	8.0	11.1	17.7	14.6	23.3	31.1	39.1	47.7
Odet															
ROE64039	1	0.3	12	1	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	1.5	1.2	1.9	2.6	3.2	3.9
ROE3258	1	0.3	6	1	1.1	0.7	1.0	1.4	1.9	3.1	2.5	4.1	5.4	6.8	8.3
Oust															
ROE11388	2	20	340	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
ROE11542	2	4.2	48	2	19.6	5.1	8.2	13.5	21.1	38.5	30.9	58.1	80.5	104.8	135.1
ROE11525	2	14	400	2	19.2	5.0	8.1	13.3	20.8	37.9	30.4	57.2	79.3	103.2	133.0
ROE56473	2	0.2	9	1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4
ROE11846	2	18	485	2	11.0	2.9	4.6	7.6	11.9	21.7	17.4	32.7	45.4	59.1	76.1
ROE57923	2	6.5	287	1	5.5	1.4	2.3	3.8	6.0	10.9	8.8	16.5	22.9	29.7	38.4
ROE38461	2	6	160	2	3.2	0.8	1.4	2.2	3.5	6.4	5.1	9.7	13.4	17.4	22.5
Rance															
ROE58449	2	5.6	.	1	7.5	2.3	3.9	5.8	9.1	17.1	13.2	24.3	32.8	40.4	52.2
ROE16879	2	13.6	4800	2	2.8	0.9	1.5	2.2	3.4	6.4	4.9	9.1	12.3	15.2	19.6
Scorff															
ROE32742	1	0.5	22	1	0.9	0.4	0.6	0.8	1.1	1.7	1.5	2.3	3.1	4.0	5.3
ROE32793	1	0.5	15	1	0.5	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	0.8	1.2	1.7	2.2	2.9
ROE32911	2	17	17	2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.4	0.6	0.9	1.1	1.5
ROE40460	.	0	.	1	2.4	1.1	1.7	2.2	2.9	4.4	3.8	6.0	8.1	10.5	13.9
ROE33001	1	1.5	22	1	2.4	1.1	1.7	2.2	2.9	4.4	3.8	6.0	8.1	10.5	13.9
Trieux															
ROE23245	1	0.4	6	1	5.5	3.4	5.3	7.2	10.0	16.0	13.1	21.0	28.1	35.3	43.0
ROE24876	2	1.2	18	1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.6	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5
Vilaine															
ROE3652	2	4.6	90	1	12.0	3.1	5.0	8.3	13.0	23.6	19.0	35.6	49.4	64.3	82.9
ROE31396	2	6.5	287	1	0.8	0.2	0.3	0.6	0.9	1.6	1.3	2.4	3.4	4.4	5.7
Alagnon															
ROE10036	2	11.3	520	2	12.0	5.0	9.0	13.5	19.4	33.8	19.2	31.2	41.3	52.4	70.3
ROE10050	2	4.5	300	2	9.3	3.9	7.0	10.5	15.0	26.2	14.8	24.2	32.0	40.6	54.5
ROE10065	2	2.1	.	.	0.5	0.2	0.4	0.6	0.9	1.5	0.9	1.4	1.9	2.4	3.2
ROE36789	2	5	265	2	8.5	3.6	6.3	9.6	13.7	23.9	13.5	22.1	29.2	37.1	49.7
ROE36853	2	3.1	202	1	7.4	3.1	5.5	8.4	12.0	20.8	11.8	19.3	25.5	32.4	43.4
ROE81638	2	9	565	2	7.4	3.1	5.5	8.4	12.0	20.8	11.8	19.3	25.5	32.4	43.4
ROE39044	2	0.6	990	.	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.3	0.5	0.7	0.9	1.2
ROE39218	2	0.5	1489	1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8
ROE67271	2	4.5	498	1	2.6	1.1	1.9	2.9	4.1	7.2	4.1	6.7	8.8	11.2	15.0
ROE59138	2	3.6	198	1	3.0	1.3	2.3	3.4	4.9	8.5	4.8	7.9	10.5	13.3	17.8
ROE39054	2	0.4	494	.	0.3	0.1	0.2	0.4	0.5	0.9	0.5	0.8	1.1	1.4	1.9
ROE27149	2	0.4	263	1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	0.4	0.7	0.9	1.2	1.6

ANNEXE K. DÉTAIL DES DONNÉES DE DÉBIT PAR OUVRAGE

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage					Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Allier															
ROE43187	1	1.8	10	.	1.7	0.6	1.0	1.5	2.3	4.1	2.2	3.6	4.8	6.2	9.5
ROE7729	2	3.5	206	.	2.5	0.9	1.4	2.2	3.3	5.8	3.1	5.1	6.8	8.7	13.5
ROE7738	2	1.7	10	.	2.3	0.8	1.4	2.0	3.1	5.4	2.9	4.8	6.3	8.2	12.6
ROE61059	2	4	322	1	2.3	0.8	1.4	2.0	3.1	5.4	2.9	4.8	6.3	8.2	12.6
ROE22624	2	2	45	.	2.2	0.8	1.3	2.0	2.9	5.2	2.8	4.6	6.1	7.8	12.1
ROE22731	2	1.9	588	1	1.5	0.5	0.9	1.3	2.0	3.5	1.9	3.1	4.1	5.3	8.1
ROE22823	2	1.8	969	.	0.7	0.3	0.4	0.6	1.0	1.7	0.9	1.5	2.0	2.5	3.9
ROE3824	2	1.3	.	.	1.7	0.6	1.0	1.5	2.3	4.0	2.2	3.6	4.7	6.1	9.3
ROE43096	2	0.8	1104	2	1.9	0.7	1.1	1.7	2.5	4.4	2.4	3.9	5.2	6.7	10.3
ROE4306	2	1.8	787	3	1.0	0.4	0.6	0.9	1.4	2.4	1.3	2.1	2.8	3.6	5.6
ROE4326	2	1	1176	2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.6	1.0	0.6	0.9	1.2	1.5	2.4
ROE4006	2	1.4	980	2	0.7	0.3	0.4	0.6	1.0	1.7	0.9	1.5	2.0	2.6	4.0
ROE9885	2	11	350	3	27.7	10.3	16.4	24.7	37.1	65.1	35.5	58.2	76.5	98.7	152.5
ROE10197	2	1.1	.	.	1.4	0.5	0.8	1.2	1.9	3.3	1.8	2.9	3.9	5.0	7.7
ROE10224	2	0.9	.	.	1.2	0.4	0.7	1.0	1.6	2.7	1.5	2.4	3.2	4.1	6.4
ROE9934	2	7	145	2	24.9	9.2	14.7	22.1	33.3	58.4	31.8	52.2	68.6	88.5	136.7
ROE9949	2	12.5	498	1	24.4	9.0	14.4	21.7	32.7	57.3	31.2	51.2	67.3	86.9	134.2
ROE10244	2	1.2	977	2	0.9	0.3	0.5	0.8	1.2	2.2	1.2	2.0	2.6	3.3	5.1
ROE29027	2	1.1	500	.	0.6	0.2	0.3	0.5	0.8	1.3	0.7	1.2	1.5	2.0	3.1
ROE28286	2	1.3	.	1	1.7	0.6	1.0	1.5	2.3	4.0	2.2	3.5	4.7	6.0	9.3
ROE28799	2	2.4	247	2	1.6	0.6	0.9	1.4	2.1	3.7	2.0	3.3	4.4	5.6	8.7
ROE69998	2	1	.	2	1.3	0.5	0.8	1.2	1.8	3.1	1.7	2.8	3.6	4.7	7.3
ROE28965	2	2.5	1750	2	1.3	0.5	0.8	1.2	1.8	3.1	1.7	2.8	3.6	4.7	7.3
ROE28859	2	1	416	2	0.7	0.3	0.4	0.6	0.9	1.6	0.9	1.4	1.9	2.5	3.8
ROE28822	2	1	804	1	0.7	0.3	0.4	0.6	0.9	1.6	0.9	1.4	1.9	2.5	3.8
ROE28894	2	0.8	260	1	0.5	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	0.7	1.1	1.4	1.9	2.9
ROE38331	2	10	15000	1	2.0	0.8	1.2	1.8	2.7	4.8	2.6	4.3	5.6	7.2	11.2
ROE28711	2	28	14000	3	16.9	6.2	9.9	15.0	22.6	39.6	21.6	35.4	46.5	60.0	92.7
ROE47499	2	3.5	270	2	5.1	1.9	3.0	4.5	6.8	12.0	6.5	10.7	14.1	18.2	28.1
ROE47467	2	2.9	.	1	5.1	1.9	3.0	4.5	6.8	11.9	6.5	10.6	14.0	18.0	27.9
ROE49054	2	2.5	.	2	3.4	1.3	2.0	3.0	4.5	8.0	4.3	7.1	9.4	12.1	18.6
Arroux															
ROE15952	2	2.7	200	3	0.8	0.2	0.4	0.6	0.9	2.0	1.3	2.3	3.3	4.3	5.7
ROE19070	2	2.1	2500	.	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.9	0.6	1.1	1.6	2.0	2.7
Besbre															
ROE28481	2	4	89	1	6.2	2.1	4.0	5.8	8.1	14.9	9.1	15.4	20.4	25.9	33.3
ROE30577	2	4.4	.	1	5.9	2.0	3.8	5.5	7.6	14.1	8.6	14.6	19.3	24.5	31.6
ROE30580	1	0.7	46	1	5.9	2.0	3.8	5.5	7.6	14.1	8.6	14.6	19.3	24.5	31.6
ROE19867	2	6	118	1	4.7	1.6	3.0	4.4	6.1	11.3	6.9	11.7	15.5	19.6	25.3
ROE23128	1	0.9	30	1	1.1	0.4	0.7	1.0	1.4	2.7	1.6	2.8	3.7	4.6	6.0
ROE12092	2	0.1	.	0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7
ROE11974	2	10	9300	4	2.1	0.7	1.3	1.9	2.7	4.9	3.0	5.1	6.7	8.5	11.0
Beuvron															
ROE16174	2	1.5	30	1	7.1	2.0	3.5	5.0	7.3	15.6	10.5	19.2	28.2	37.6	52.8
ROE16333	2	4.5	.	.	6.4	1.8	3.2	4.6	6.6	14.1	9.5	17.4	25.5	34.0	47.7
Cher															
ROE21779	2	10.4	80	2	13.9	4.6	7.6	11.5	18.6	39.9	21.6	38.9	53.5	66.5	89.3
ROE21985	2	13.5	201	2	13.5	4.4	7.4	11.2	18.0	38.8	21.0	37.9	52.0	64.7	86.7
ROE14031	2	30	650	3	59.3	12.4	27.9	51.0	90.1	170.7	97.8	162.4	224.6	306.4	434.4
ROE39188	2	12.3	230	2	14.3	6.3	10.0	13.6	21.3	48.2	28.5	44.5	53.9	62.5	70.8
ROE42477	2	7	160	2	6.7	2.9	4.2	5.9	8.7	14.9	9.5	14.7	20.2	26.2	39.4
ROE27903	2	17.6	350	2	29.2	6.1	13.7	25.1	44.3	84.0	48.1	79.9	110.6	150.8	213.8
ROE27932	2	9	221	2	28.3	5.9	13.3	24.3	43.0	81.4	46.6	77.4	107.1	146.1	207.1
ROE48188	1	1	10	1	0.7	0.1	0.3	0.6	1.0	2.0	1.1	1.9	2.6	3.6	5.1
ROE76112	1	1.8	.	.	0.7	0.1	0.3	0.6	1.0	2.0	1.1	1.9	2.6	3.6	5.1
ROE11621	2	50.4	16800	1	15.3	3.2	7.2	13.2	23.3	44.2	25.3	42.0	58.1	79.3	112.4
ROE8225	2	3.3	.	2	4.4	0.9	2.1	3.8	6.7	12.6	7.2	12.0	16.6	22.7	32.2
ROE16588	2	3.4	.	.	4.5	0.9	2.1	3.8	6.8	12.9	7.4	12.2	16.9	23.1	32.8
ROE8293	2	7.7	485	.	3.9	0.8	1.8	3.4	6.0	11.3	6.5	10.8	14.9	20.3	28.8

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage					Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Creuse															
ROE12750	2	20	324	5	78.4	28.2	42.3	64.3	95.6	171.7	110.5	185.0	248.5	310.4	433.4
ROE12737	1	2.5	20	2	38.7	11.6	21.3	36.0	59.2	98.6	63.4	100.5	141.5	189.1	264.1
ROE6570	2	11	120	3	37.9	11.4	20.8	35.2	58.0	96.6	62.2	98.5	138.7	185.3	258.9
ROE7948	2	13	180	2	36.4	10.9	20.0	33.8	55.7	92.8	59.7	94.6	133.2	177.9	248.5
ROE8002	2	30.3	446	2	31.4	9.4	17.3	29.2	48.1	80.2	51.6	81.7	115.1	153.7	214.7
ROE8151	2	11	202	2	30.8	9.2	16.9	28.6	47.1	78.5	50.5	80.0	112.7	150.5	210.2
ROE59532	2	80	7200	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
ROE59462	2	25	458	2	29.8	8.9	16.4	27.7	45.6	76.0	48.9	77.5	109.0	145.7	203.5
ROE59464	2	78.1	11400	4	29.8	8.9	16.4	27.7	45.6	76.0	48.9	77.5	109.0	145.7	203.5
ROE59503	2	178.1	97300	7	29.2	8.8	16.1	27.1	44.7	74.4	47.9	75.9	106.8	142.7	199.4
ROE10708	2	38.6	7500	.	15.3	4.6	8.4	14.2	23.4	39.0	25.1	39.8	56.0	74.8	104.4
ROE10722	2	33	.	.	15.0	4.5	8.2	13.9	22.9	38.2	24.6	38.9	54.8	73.2	102.2
ROE10604	2	40.5	7500	2	14.7	4.4	8.1	13.6	22.4	37.4	24.1	38.1	53.7	71.7	100.2
ROE10028	2	10.6	.	.	14.2	4.3	7.8	13.2	21.7	36.2	23.3	36.9	51.9	69.4	96.9
ROE10003	2	9.7	.	.	13.0	3.9	7.1	12.1	19.9	33.1	21.3	33.7	47.5	63.5	88.7
ROE9955	2	8.9	.	2	11.9	3.6	6.6	11.1	18.2	30.4	19.5	31.0	43.6	58.3	81.4
ROE9297	2	8.2	.	1	10.9	3.3	6.0	10.2	16.7	27.8	17.9	28.4	40.0	53.4	74.6
ROE9259	2	8	.	.	10.6	3.2	5.9	9.9	16.3	27.1	17.4	27.7	38.9	52.0	72.7
ROE9268	2	8	.	1	10.6	3.2	5.9	9.9	16.3	27.1	17.4	27.7	38.9	52.0	72.7
ROE7114	2	5.4	.	1	7.2	2.2	4.0	6.7	11.0	18.3	11.8	18.7	26.3	35.2	49.1
ROE7133	2	5.4	.	1	7.2	2.2	4.0	6.7	11.0	18.3	11.8	18.7	26.3	35.2	49.1
ROE6604	2	41.4	2300	2	4.4	1.3	2.4	4.1	6.7	11.1	7.2	11.4	16.0	21.4	29.8
Dore															
ROE84940	2	0.2	10	.	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	0.8	1.0	1.3
ROE8538	1	1.8	10	.	0.8	0.3	0.5	0.7	1.0	1.9	1.1	1.9	2.6	3.3	4.2
ROE8574	2	1.7	7740	.	2.3	0.7	1.5	2.1	2.9	5.4	3.3	5.6	7.4	9.4	12.1
ROE8583	2	1.8	52	.	2.0	0.7	1.3	1.9	2.6	4.8	2.9	5.0	6.6	8.4	10.8
ROE41986	2	0.8	.	.	1.1	0.4	0.7	1.0	1.4	2.7	1.6	2.8	3.7	4.6	6.0
ROE41951	2	12	.	3	12.4	4.1	7.9	11.6	16.0	29.6	18.0	30.6	40.5	51.4	66.2
ROE8769	2	0.7	625	.	0.8	0.3	0.5	0.7	1.0	1.8	1.1	1.9	2.5	3.1	4.1
ROE8734	2	0.3	87	2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
ROE11179	2	1.5	149	.	1.5	0.5	1.0	1.4	2.0	3.7	2.2	3.8	5.0	6.4	8.2
ROE11294	2	11	345	2	10.4	3.4	6.7	9.7	13.5	24.8	15.1	25.7	34.0	43.2	55.6
ROE11301	2	4.2	181	.	10.2	3.4	6.6	9.5	13.2	24.4	14.8	25.2	33.4	42.4	54.6
ROE11453	2	5	598	2	10.2	3.4	6.6	9.5	13.2	24.4	14.8	25.2	33.4	42.4	54.6
ROE11458	2	13.5	1158	.	9.7	3.2	6.2	9.0	12.5	23.1	14.1	23.9	31.6	40.2	51.7
ROE40894	2	0.7	79	.	0.5	0.2	0.3	0.5	0.6	1.2	0.7	1.2	1.6	2.1	2.7
ROE11226	2	0.8	1260	.	1.2	0.4	0.8	1.2	1.6	3.0	1.8	3.1	4.0	5.1	6.6
ROE42015	2	0.8	1060	.	0.7	0.2	0.5	0.7	0.9	1.7	1.0	1.7	2.3	2.9	3.8
ROE40960	2	0.5	785	.	0.5	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	0.7	1.3	1.7	2.1	2.7
ROE40988	2	0.6	632	.	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	0.8	1.0	1.3
ROE41175	2	0.6	458	.	0.7	0.2	0.4	0.7	0.9	1.7	1.0	1.7	2.3	2.9	3.7
ROE90172	1	0.1	11	.	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
ROE90173	1	0	5	.	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
ROE90171	1	0	7	.	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
ROE41400	2	1	56	.	1.3	0.4	0.9	1.2	1.7	3.2	1.9	3.3	4.4	5.5	7.1
ROE41258	2	0.2	4538	.	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
ROE41349	2	0.2	.	.	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
ROE41358	2	1	274	.	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
ROE41425	2	1.8	418	.	1.2	0.4	0.8	1.1	1.6	2.9	1.8	3.0	4.0	5.1	6.5

ANNEXE K. DÉTAIL DES DONNÉES DE DÉBIT PAR OUVRAGE

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage					Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Gartempe															
ROE21918	2	5	70	2	25.2	9.1	13.6	20.7	32.5	62.5	35.8	61.3	81.7	103.9	135.1
ROE21937	2	20	200	4	25.0	9.0	13.5	20.5	32.2	61.9	35.4	60.7	80.9	102.8	133.8
ROE21940	1	4.6	90	2	24.6	8.8	13.3	20.1	31.7	60.9	34.9	59.7	79.6	101.2	131.6
ROE21982	2	9	200	3	23.6	8.5	12.7	19.4	30.4	58.5	33.5	57.3	76.5	97.2	126.5
ROE22048	1	1.5	26	1	22.8	8.2	12.3	18.7	29.4	56.5	32.4	55.4	73.9	93.9	122.2
ROE15367	2	7.3	165	2	19.9	7.1	10.7	16.3	25.6	49.2	28.2	48.2	64.3	81.8	106.4
ROE15391	2	7	100	2	19.8	7.1	10.7	16.2	25.5	49.1	28.1	48.1	64.1	81.5	106.0
ROE16788	2	11	250	2	19.1	6.9	10.3	15.7	24.6	47.4	27.1	46.4	61.9	78.7	102.4
ROE16834	2	17	499	2	14.6	5.2	7.9	11.9	18.8	36.1	20.7	35.4	47.2	60.0	78.0
ROE16851	2	11	150	1	14.5	5.2	7.8	11.9	18.7	35.9	20.5	35.1	46.9	59.6	77.5
ROE16979	1	1.9	8	1	11.8	4.3	6.4	9.7	15.3	29.3	16.8	28.7	38.3	48.7	63.4
ROE16975	2	7	150	2	11.8	4.3	6.4	9.7	15.3	29.3	16.8	28.7	38.3	48.7	63.4
ROE16982	2	9	125	1	11.8	4.2	6.4	9.6	15.2	29.2	16.7	28.6	38.1	48.5	63.0
ROE16986	2	7.4	.	.	9.8	3.5	5.3	8.0	12.7	24.3	13.9	23.8	31.8	40.4	52.6
ROE6206	1	1.8	.	1	9.6	3.4	5.2	7.8	12.3	23.7	13.6	23.3	31.0	39.4	51.3
ROE16989	2	7.4	490	2	9.6	3.4	5.2	7.8	12.3	23.7	13.6	23.3	31.0	39.4	51.3
ROE6137	2	8	300	4	8.5	3.1	4.6	7.0	11.0	21.2	12.1	20.8	27.7	35.2	45.8
ROE5511	1	0.2	.	1	5.1	1.8	2.7	4.2	6.5	12.6	7.2	12.3	16.4	20.9	27.2
ROE5344	2	4	112	2	4.9	1.8	2.6	4.0	6.3	12.1	6.9	11.9	15.8	20.1	26.2
ROE8272	2	3	.	1	4.0	1.4	2.1	3.3	5.1	9.8	5.6	9.6	12.9	16.4	21.3
ROE8674	1	0.8	.	1	3.2	1.1	1.7	2.6	4.1	7.8	4.5	7.7	10.2	13.0	16.9
Indre															
ROE16810	1	1.8	.	1	20.1	8.2	11.9	18.3	26.1	50.9	32.0	53.9	69.8	98.1	135.5
ROE14163	2	10	110	2	11.7	4.8	6.9	10.6	15.2	29.6	18.6	31.4	40.6	57.1	78.9
ROE59480	2	10	129	1	9.7	4.0	5.7	8.8	12.6	24.6	15.5	26.0	33.7	47.4	65.5
ROE14482	2	8.6	68	2	9.6	3.9	5.6	8.7	12.4	24.2	15.2	25.6	33.2	46.7	64.5
ROE39486	2	0	.	.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
ROE47719	1	1.8	.	2	1.1	0.4	0.6	1.0	1.4	2.7	1.7	2.9	3.7	5.2	7.2
ROE47991	1	1.8	.	.	0.7	0.3	0.4	0.6	0.9	1.7	1.0	1.8	2.3	3.2	4.4
ROE59450	1	1.8	.	.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
ROE47905	2	0.4	.	.	0.6	0.2	0.3	0.5	0.8	1.5	0.9	1.6	2.0	2.8	3.9
Loir															
ROE3729	2	0.9	6	1	35.3	14.8	21.2	28.2	37.0	79.4	47.3	95.6	131.2	172.1	224.3
ROE8506	2	6.3	92	.	34.7	14.6	20.8	27.8	36.5	78.1	46.5	94.1	129.2	169.4	220.8
ROE3777	1	1.8	.	1	34.2	14.4	20.5	27.4	36.0	77.0	45.9	92.8	127.4	167.1	217.8
ROE37565	2	2.7	45	.	28.1	11.8	16.8	22.5	29.5	63.2	37.6	76.1	104.5	137.0	178.6
ROE58627	1	2.8	50	1	16.4	6.9	9.8	13.1	17.2	36.9	22.0	44.5	61.0	80.1	104.4
ROE58630	1	2	18	1	16.4	6.9	9.8	13.1	17.2	36.9	21.9	44.4	60.9	79.9	104.2
ROE86389	2	10.5	.	1	13.9	5.8	8.4	11.1	14.6	31.3	18.7	37.7	51.8	67.9	88.5
ROE48682	1	1.8	.	1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	0.5	0.9	1.3	1.7	2.2
ROE8731	2	7.5	.	1	11.4	4.8	6.9	9.1	12.0	25.7	15.3	30.9	42.5	55.7	72.6
ROE8728	2	0.7	10	1	11.3	4.8	6.8	9.0	11.9	25.4	15.2	30.7	42.1	55.2	71.9
ROE54112	1	1.7	26	2	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0	2.2	1.3	2.6	3.6	4.7	6.2
ROE48490	1	2	10	1	7.7	3.2	4.6	6.2	8.1	17.3	10.3	20.9	28.7	37.6	49.0
ROE16384	2	0.4	.	1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	0.5	0.9	1.3	1.7	2.2
ROE58730	2	0.4	.	1	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5	1.1	0.7	1.3	1.8	2.4	3.1

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage				Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)					
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Loire															
ROE19169	2	130	4017	.	175.8	65.0	103.7	156.4	235.5	413.1	225.0	369.1	485.2	625.8	966.8
ROE45228	2	80	2118	3	76.3	20.6	39.7	62.5	92.3	169.3	114.4	181.5	242.5	312.7	410.3
ROE45229	2	160	71417	3	74.6	20.1	38.8	61.2	90.3	165.7	111.9	177.6	237.3	305.9	401.5
ROE42468	1	1.8	.	.	0.8	0.2	0.4	0.6	1.0	1.8	1.2	1.9	2.5	3.2	4.3
ROE53611	2	2.1	148	.	2.8	0.9	1.8	2.6	3.6	6.6	4.0	6.9	9.1	11.6	14.9
ROE30743	2	2	98	.	2.7	0.9	1.7	2.5	3.5	6.4	3.9	6.6	8.8	11.1	14.3
ROE30761	2	3.5	1113	.	2.6	0.9	1.7	2.4	3.4	6.3	3.8	6.5	8.6	10.9	14.0
ROE31370	2	1.8	.	.	2.4	0.8	1.6	2.3	3.1	5.8	3.5	6.0	7.9	10.1	13.0
ROE36302	2	2	123	2	5.8	1.6	3.0	4.8	7.1	12.9	8.7	13.9	18.5	23.9	31.4
ROE31556	2	4.5	349	.	2.1	0.7	1.3	1.9	2.7	4.9	3.0	5.1	6.7	8.6	11.0
ROE31533	2	1.6	.	.	2.1	0.7	1.3	1.9	2.7	4.9	3.0	5.1	6.7	8.6	11.0
ROE35336	2	5	245	.	5.8	1.6	3.0	4.7	7.0	12.8	8.6	13.7	18.3	23.6	30.9
ROE36324	2	4	1982	1	2.4	0.6	1.2	2.0	2.9	5.3	3.6	5.7	7.6	9.8	12.9
ROE36330	2	5	5619	2	2.0	0.5	1.0	1.6	2.4	4.5	3.0	4.8	6.4	8.2	10.8
ROE26980	2	80	38400	4	49.4	13.3	25.7	40.5	59.8	109.6	74.1	117.5	157.1	202.5	265.7
ROE42198	2	3.5	254	.	1.9	0.5	1.0	1.5	2.3	4.1	2.8	4.4	5.9	7.6	10.0
ROE50270	2	0.6	.	2	1.1	0.3	0.6	0.9	1.4	2.5	1.7	2.7	3.6	4.7	6.1
ROE35829	2	1.5	1044	.	0.7	0.2	0.4	0.6	0.9	1.6	1.1	1.7	2.3	2.9	3.8
ROE36349	2	0.7	1071	.	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
ROE26117	2	2	190	.	1.8	0.5	0.9	1.4	2.1	3.7	2.1	3.3	4.4	5.9	8.7
ROE26098	2	3	215	.	1.8	0.5	0.9	1.4	2.1	3.7	2.1	3.3	4.4	5.9	8.7
ROE26068	2	3	385	1	1.8	0.5	0.9	1.4	2.1	3.7	2.1	3.3	4.4	5.9	8.7
ROE44350	2	1.1	130	.	1.5	0.4	0.7	1.1	1.7	3.0	1.7	2.7	3.6	4.9	7.2
ROE44355	2	1.1	220	.	1.5	0.4	0.7	1.1	1.7	3.0	1.7	2.7	3.6	4.9	7.2
ROE40096	2	11.5	1133	.	11.5	3.2	5.9	8.7	13.3	23.6	13.5	21.1	28.1	38.0	55.9
ROE40094	2	6.9	2852	.	11.5	3.2	5.9	8.7	13.3	23.6	13.5	21.1	28.1	38.0	55.9
ROE25027	2	26	1148	3	0.7	0.2	0.3	0.5	0.8	1.4	0.8	1.3	1.7	2.3	3.3
ROE27160	2	3.6	.	.	4.7	1.3	2.4	3.6	5.5	9.8	5.6	8.7	11.6	15.7	23.1
ROE24526	2	16	815	.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
ROE27186	2	18	28000	4	4.4	1.2	2.2	3.3	5.1	9.0	5.1	8.0	10.7	14.4	21.2
ROE27231	2	4.2	218	.	3.9	1.1	2.0	3.0	4.5	8.1	4.6	7.2	9.6	12.9	19.0
ROE27210	2	6	488	1	3.9	1.1	2.0	3.0	4.5	8.1	4.6	7.2	9.6	12.9	19.0
ROE24673	2	20.5	494	2	24.8	6.9	12.6	18.8	28.7	51.0	29.2	45.5	60.6	81.9	120.5
ROE24611	2	16	815	1	24.8	6.9	12.6	18.8	28.7	51.0	29.2	45.5	60.6	81.9	120.5
ROE40833	2	2.5	160	.	2.2	0.6	1.1	1.7	2.6	4.6	2.6	4.1	5.5	7.4	10.9
ROE40083	2	6.5	9800	.	6.5	1.8	3.3	4.9	7.6	13.4	7.7	12.0	15.9	21.5	31.7
ROE40081	2	18	16800	1	6.5	1.8	3.3	4.9	7.6	13.4	7.7	12.0	15.9	21.5	31.7
ROE40831	2	2.5	160	.	2.1	0.6	1.1	1.6	2.4	4.3	2.5	3.9	5.1	7.0	10.2
ROE77050	2	0.6	46	.	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	0.4	0.6	0.8	1.1	1.7
ROE24856	2	2	490	.	22.8	6.4	11.6	17.3	26.4	46.9	26.9	41.9	55.8	75.3	110.8
ROE27947	2	3	477	2	1.3	0.4	0.7	1.0	1.5	2.7	1.5	2.4	3.2	4.3	6.4
ROE43547	2	0.6	.	.	0.5	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	0.6	0.9	1.2	1.6	2.4
ROE17022	2	3	225	.	3.9	1.1	2.0	3.0	4.6	8.1	4.6	7.2	9.7	13.0	19.2
ROE90158	2	8	375	3	21.9	6.1	11.2	16.7	25.4	45.1	25.9	40.3	53.7	72.5	106.7
ROE90157	2	6.2	310	1	21.9	6.1	11.2	16.7	25.4	45.1	25.9	40.3	53.7	72.5	106.7
ROE40076	2	2.5	610	1	3.7	1.0	1.9	2.8	4.2	7.5	4.3	6.7	9.0	12.1	17.8
ROE39214	2	0.4	261	.	3.0	0.8	1.5	2.2	3.4	6.1	3.5	5.4	7.2	9.8	14.4
ROE39215	2	2.2	134	.	3.0	0.8	1.5	2.2	3.4	6.1	3.5	5.4	7.2	9.8	14.4
ROE39267	2	1.8	.	.	2.4	0.7	1.2	1.8	2.7	4.9	2.8	4.3	5.8	7.8	11.5
ROE40277	2	1.5	150	.	1.9	0.5	1.0	1.5	2.3	4.0	2.3	3.6	4.8	6.4	9.4
ROE41225	2	0.2	.	.	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4
ROE40303	2	1.8	316	2	1.6	0.5	0.8	1.2	1.9	3.3	1.9	3.0	3.9	5.3	7.8
ROE40376	2	18.2	2666	4	15.1	4.2	7.7	11.5	17.5	31.1	17.8	27.7	36.9	49.9	73.4
ROE38180	2	1.2	3140	.	0.6	0.2	0.3	0.5	0.8	1.3	0.8	1.2	1.6	2.2	3.2
ROE76097	2	22	180000	1	1.6	0.4	0.8	1.2	1.8	3.3	1.9	2.9	3.9	5.2	7.7
ROE38228	2	22	180000	1	5.1	1.4	2.6	3.9	5.9	10.5	6.0	9.4	12.5	16.8	24.8
ROE38200	2	22	180000	1	1.1	0.3	0.6	0.9	1.3	2.4	1.4	2.1	2.8	3.8	5.6

ANNEXE K. DÉTAIL DES DONNÉES DE DÉBIT PAR OUVRAGE

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage					Débits classés (mars-mai)					Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Mayenne															
ROE43070	2	0.5	5	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
ROE2232	2	2.9	22	.	40.8	13.5	20.8	30.6	47.8	90.7	70.7	128.6	175.2	221.4	280.2
ROE41255	1	1.8	12	.	1.3	0.4	0.7	1.0	1.5	2.9	2.3	4.1	5.6	7.1	9.0
ROE20586	2	12	290	2	3.3	1.1	1.7	2.4	3.8	7.2	5.6	10.3	14.0	17.7	22.4
ROE20650	2	8.3	130	.	32.1	10.6	16.4	24.1	37.5	71.2	55.5	101.0	137.6	173.8	220.0
ROE20632	2	24	450	2	32.1	10.6	16.4	24.1	37.5	71.2	55.5	101.0	137.6	173.8	220.0
ROE20720	2	6	84	1	31.1	10.3	15.9	23.4	36.4	69.2	53.9	98.1	133.6	168.8	213.7
ROE20732	2	10.8	.	.	26.1	8.6	13.3	19.6	30.6	58.0	45.2	82.3	112.1	141.7	179.3
ROE20739	2	20.1	534	3	26.1	8.6	13.3	19.6	30.5	57.9	45.1	82.2	111.9	141.4	178.9
ROE20734	2	22.3	370	2	26.1	8.6	13.3	19.6	30.5	57.9	45.1	82.2	111.9	141.4	178.9
ROE20736	2	20	280	2	26.1	8.6	13.3	19.6	30.5	57.9	45.1	82.2	111.9	141.4	178.9
ROE20733	2	9.5	136	.	26.1	8.6	13.3	19.6	30.5	57.9	45.1	82.2	111.9	141.4	178.9
ROE20847	2	9.5	128	1	25.7	8.5	13.1	19.3	30.1	57.1	44.5	81.0	110.3	139.3	176.4
ROE20731	2	4.5	110	.	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.6	0.9	1.1	1.4
ROE20850	2	9.5	.	1	25.6	8.5	13.1	19.2	30.0	56.9	44.3	80.7	109.9	138.9	175.8
ROE40049	2	10.8	193	1	25.1	8.3	12.8	18.8	29.4	55.8	43.5	79.2	107.8	136.2	172.4
ROE20856	2	9.5	84	1	25.1	8.3	12.8	18.8	29.4	55.8	43.5	79.2	107.8	136.2	172.4
ROE20861	2	9	137	2	25.1	8.3	12.8	18.8	29.4	55.7	43.4	79.0	107.6	136.0	172.1
ROE20829	2	9.5	127	1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7
ROE20880	2	10.8	.	1	25.0	8.2	12.7	18.7	29.2	55.5	43.2	78.7	107.2	135.4	171.4
ROE20876	2	9.5	115	1	25.0	8.2	12.7	18.7	29.2	55.5	43.2	78.7	107.2	135.4	171.4
ROE20885	2	9.5	112	1	24.8	8.2	12.6	18.6	29.0	55.0	42.9	78.1	106.3	134.4	170.1
ROE20891	2	9.5	136	1	22.3	7.3	11.4	16.7	26.1	49.4	38.5	70.2	95.5	120.7	152.8
ROE20897	2	5.5	108	1	22.2	7.3	11.3	16.7	26.0	49.4	38.5	70.0	95.4	120.5	152.5
ROE5543	2	21	1648	3	21.5	7.1	10.9	16.1	25.1	47.6	37.1	67.6	92.1	116.3	147.2
ROE30542	1	1.8	.	1	2.6	0.8	1.3	1.9	3.0	5.7	4.4	8.1	11.0	13.9	17.6
ROE18425	1	1	10	2	1.4	0.5	0.7	1.1	1.7	3.2	2.5	4.5	6.1	7.8	9.8
Sarthe															
ROE41582	2	25	417	1	42.0	16.4	22.7	30.6	45.7	96.9	62.9	120.0	168.2	224.0	284.4
ROE41697	2	5.9	70	1	38.6	15.1	20.9	28.2	42.1	89.3	58.0	110.5	154.9	206.3	262.0
ROE36964	2	3	55	.	15.0	8.7	10.6	13.0	17.4	30.2	21.0	36.8	52.4	65.3	89.4
ROE6266	1	2.2	35	.	14.8	8.6	10.5	12.9	17.2	30.0	20.8	36.5	52.0	64.7	88.7
ROE6011	2	0.5	7	.	21.9	8.5	11.8	16.0	23.9	50.6	32.8	62.6	87.8	116.9	148.5
ROE36897	1	2.4	50	1	12.5	7.2	8.8	10.8	14.5	25.2	17.4	30.7	43.6	54.3	74.4
ROE6030	1	1.8	34	7	18.5	7.2	10.0	13.5	20.2	42.7	27.8	52.9	74.2	98.8	125.4
ROE39473	2	7.5	140	.	11.1	6.5	7.9	9.7	12.9	22.5	15.6	27.4	39.0	48.6	66.5
ROE40512	2	6.3	200	.	8.4	4.9	6.0	7.3	9.7	17.0	11.8	20.7	29.4	36.6	50.1
ROE15209	2	1	15	.	5.2	2.0	2.8	3.8	5.6	12.0	7.8	14.8	20.8	27.7	35.1
Sevre nantaise															
ROE34572	.	.	.	.	6.4	1.7	2.9	4.3	6.4	12.7	10.4	20.6	31.8	44.5	62.9
ROE14905	2	4	130	2	9.2	2.5	4.2	6.1	9.2	18.2	14.9	29.6	45.6	63.8	90.3
Sioule															
ROE24506	2	30	912	2	0.5	0.1	0.3	0.5	0.8	1.4	0.9	1.4	1.5	1.8	2.3
ROE29001	2	14	375	2	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.8	0.5	0.7	0.8	0.9	1.3
ROE27316	2	20	490	1	22.8	6.4	12.3	24.2	38.6	64.1	41.3	61.6	68.7	79.9	107.0
ROE29187	2	17	783	2	19.1	5.4	10.3	20.3	32.4	53.8	34.7	51.7	57.6	67.0	89.8
ROE29268	2	12	353	4	19.1	5.4	10.3	20.3	32.3	53.7	34.6	51.6	57.6	66.9	89.7
ROE29614	2	8	259	1	19.1	5.4	10.3	20.3	32.3	53.7	34.6	51.6	57.5	66.9	89.6
ROE29625	1	2.5	52	.	19.0	5.3	10.3	20.1	32.1	53.4	34.4	51.3	57.2	66.5	89.1
ROE29663	2	13.6	845	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ROE29781	2	25	981	.	18.8	5.3	10.1	19.9	31.7	52.7	34.0	50.7	56.5	65.7	88.0
ROE4573	2	4.3	106	.	16.9	4.7	9.1	17.9	28.5	47.3	30.5	45.5	50.7	59.0	79.0
ROE4222	2	44	10000	4	16.5	4.6	8.9	17.5	27.9	46.3	29.8	44.5	49.6	57.7	77.3
ROE4211	2	56	34600	1	15.8	4.4	8.6	16.8	26.8	44.5	28.7	42.8	47.7	55.4	74.3
ROE28531	2	1.7	118	1	4.4	1.2	2.4	4.7	7.4	12.3	7.9	11.9	13.2	15.4	20.6
ROE11884	1	10	6	.	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8	1.0	1.3
ROE14154	2	2	118	.	0.9	0.3	0.5	1.0	1.5	2.6	1.6	2.5	2.7	3.2	4.3
ROE11918	2	4.8	.	.	6.3	1.8	3.4	6.7	10.7	17.8	11.5	17.1	19.1	22.2	29.8

Tableau K.1 – (continued)

bassin	Ouvrage				Débits classés (mars-mai)						Débits classés (oct.-avr.)				
	Prod	Q _ε	P	n	Q _i	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q ₉₇	Q ₉₉
Vienne															
ROE19881	2	100	3581	4	127.0	45.7	68.6	104.1	154.9	278.1	179.1	299.7	402.6	502.9	702.3
ROE21331	2	28	495	4	95.8	34.5	51.7	78.6	116.9	209.9	135.1	226.2	303.8	379.5	529.9
ROE60573	2	60	1324	4	95.8	34.5	51.7	78.5	116.8	209.7	135.0	226.0	303.6	379.2	529.6
ROE21573	2	52	1100	2	3.3	1.2	1.8	2.7	4.0	7.2	4.7	7.8	10.5	13.1	18.3
ROE61619	2	2.1	160	4	3.6	0.9	1.6	2.6	4.4	7.6	5.3	8.0	10.5	13.2	17.4
ROE29073	2	94	6140	4	86.4	31.1	46.7	70.8	105.4	189.2	121.8	203.9	273.9	342.1	477.8
ROE29116	2	98.5	9100	4	86.2	31.0	46.5	70.6	105.1	188.7	121.5	203.3	273.1	341.2	476.4
ROE29086	2	75.5	6600	3	85.7	30.9	46.3	70.3	104.6	187.7	120.9	202.3	271.8	339.5	474.1
ROE51853	2	38.2	450	4	80.6	29.0	43.5	66.1	98.3	176.5	113.6	190.2	255.5	319.2	445.7
ROE51555	2	58.5	.	.	78.1	28.1	42.2	64.0	95.2	171.0	110.1	184.2	247.5	309.1	431.7
ROE51553	2	45	953	2	77.0	27.7	41.6	63.1	93.9	168.5	108.5	181.6	244.0	304.8	425.6
ROE51550	2	13.5	251	2	74.3	26.7	40.1	60.9	90.6	162.6	104.7	175.3	235.4	294.1	410.7
ROE54073	1	1.8	.	1	2.0	0.7	1.1	1.6	2.5	4.4	2.8	4.7	6.4	8.0	11.1
ROE51551	2	35	.	2	73.7	26.5	39.8	60.5	90.0	161.5	104.0	174.0	233.7	292.0	407.7
ROE9523	2	26.1	486	.	70.2	25.3	37.9	57.5	85.6	153.7	99.0	165.6	222.5	277.9	388.1
ROE9527	2	30	618	.	69.9	25.2	37.7	57.3	85.3	153.1	98.5	164.9	221.6	276.8	386.5
ROE9548	2	48	990	.	65.1	23.4	35.2	53.4	79.4	142.6	91.8	153.7	206.4	257.8	360.1
ROE9541	2	30.8	439	.	65.1	23.4	35.2	53.4	79.4	142.6	91.8	153.7	206.4	257.8	360.1
ROE9550	2	42.5	755	.	64.8	23.3	35.0	53.1	79.0	141.8	91.3	152.9	205.3	256.5	358.2
ROE9556	2	26	433	.	63.9	23.0	34.5	52.4	77.9	139.9	90.0	150.7	202.4	252.9	353.1
ROE9558	2	9	140	.	63.9	23.0	34.5	52.4	77.9	139.9	90.0	150.7	202.4	252.9	353.1
ROE5878	2	11.5	130	1	63.1	22.7	34.1	51.8	77.0	138.3	89.0	149.0	200.2	250.1	349.2
ROE5868	2	12	212	4	62.7	22.6	33.8	51.4	76.4	137.2	88.4	147.9	198.6	248.1	346.5
ROE9565	2	14	323	.	62.4	22.5	33.7	51.2	76.1	136.7	88.0	147.3	197.8	247.1	345.1
ROE9578	2	15	235	.	58.5	21.1	31.6	48.0	71.4	128.1	82.5	138.1	185.5	231.7	323.6
ROE9584	2	20	310	.	58.5	21.1	31.6	48.0	71.4	128.1	82.5	138.1	185.5	231.7	323.6
ROE9588	2	11.9	187	.	49.3	17.7	26.6	40.4	60.1	107.9	69.5	116.3	156.2	195.1	272.4
ROE9594	2	25	449	.	49.3	17.7	26.6	40.4	60.1	107.9	69.5	116.3	156.2	195.1	272.4
ROE9605	2	13	307	.	49.1	17.7	26.5	40.2	59.9	107.4	69.2	115.8	155.5	194.3	271.3
ROE8282	2	63	3740	.	46.4	16.7	25.1	38.0	56.6	101.6	65.4	109.5	147.1	183.7	256.5
ROE9030	2	9.3	100	.	26.7	9.6	14.4	21.9	32.6	58.5	37.7	63.1	84.7	105.8	147.8
ROE9033	2	19.5	670	.	26.7	9.6	14.4	21.9	32.6	58.5	37.7	63.1	84.7	105.8	147.8
ROE8305	2	24	1940	2	19.1	6.9	10.3	15.6	23.2	41.7	26.9	45.0	60.4	75.4	105.3
ROE9035	2	24	495	1	26.5	9.5	14.3	21.7	32.3	58.0	37.3	62.5	83.9	104.9	146.4
ROE9044	2	14.2	268	.	24.5	8.8	13.2	20.1	29.9	53.6	34.5	57.8	77.6	96.9	135.4
ROE6802	2	27.9	.	3	17.8	6.4	9.6	14.6	21.7	39.0	25.1	42.0	56.4	70.5	98.4
ROE9092	2	24	563	.	24.0	8.6	12.9	19.7	29.3	52.5	33.8	56.6	76.0	95.0	132.6
ROE9084	2	15	280	.	24.0	8.6	12.9	19.7	29.3	52.5	33.8	56.6	76.0	95.0	132.6
ROE8834	2	32	.	1	7.6	2.7	4.1	6.2	9.2	16.6	10.7	17.9	24.0	30.0	41.9
ROE31221	2	11.8	.	.	15.7	5.7	8.5	12.9	19.2	34.4	22.2	37.1	49.8	62.3	86.9
ROE6821	2	9.4	.	.	12.6	4.5	6.8	10.3	15.3	27.5	17.7	29.6	39.8	49.7	69.4
ROE8847	2	12.2	.	1	6.4	2.3	3.5	5.3	7.8	14.0	9.0	15.1	20.3	25.4	35.4
ROE9099	2	6.6	120	.	11.9	4.3	6.4	9.7	14.5	26.0	16.7	28.0	37.6	47.0	65.6
ROE9146	2	30	.	.	12.2	4.4	6.6	10.0	14.8	26.6	17.1	28.7	38.5	48.2	67.2
ROE8855	2	18	.	1	6.3	2.3	3.4	5.1	7.6	13.7	8.8	14.8	19.8	24.8	34.6
ROE8852	2	31	.	1	6.3	2.3	3.4	5.1	7.6	13.7	8.8	14.8	19.8	24.8	34.6
ROE8856	2	16.8	.	1	5.0	1.8	2.7	4.1	6.1	11.0	7.1	11.8	15.9	19.9	27.8
ROE9148	2	8.8	.	.	11.7	4.2	6.3	9.6	14.3	25.7	16.5	27.7	37.2	46.4	64.8
ROE9012	2	31	.	1	4.7	1.7	2.5	3.8	5.7	10.3	6.6	11.1	14.9	18.6	25.9
ROE9116	2	9	5000	1	10.4	3.7	5.6	8.5	12.7	22.7	14.6	24.5	32.9	41.1	57.4
ROE9805	2	46	.	1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4
ROE9763	2	6	.	.	8.0	2.9	4.3	6.5	9.7	17.5	11.3	18.8	25.3	31.6	44.1
ROE9073	2	25	63000	3	1.6	0.6	0.9	1.4	2.0	3.6	2.3	3.9	5.2	6.5	9.1
Lay															
ROE36391	2	10.2	1600	.	4.4	0.5	1.1	1.9	3.4	7.3	6.5	14.0	21.4	29.5	42.3
ROE36419	2	5.8	800	.	2.3	0.3	0.6	1.0	1.8	3.8	3.4	7.3	11.2	15.4	22.1
Vendee															
ROE39720	2	7.5	1800	2	4.4	1.0	1.5	2.3	3.9	7.1	6.2	10.6	15.0	20.3	29.6

La proportion des *anguilles argentées* en fonction de la distance à la mer a été calculée sur quatre années de suivi des données d'argenteure par l'ONEMA. La structure en taille correspond aux anguilles identifiées comme argentées (Beaulaton en préparation) (Tableau L.1). Le détail des résultats par ouvrage, nécessaire pour pouvoir recalculer la mortalité moyenne, est donné au tableau L.2

	200	300	400	500	600	700	800	900
(0,50]	1.6	72.1	13.9	7.4	4.9	0.0	0.0	0.0
(50,100]	11.4	37.1	28.6	11.4	5.7	5.7	0.0	0.0
(100,150]	0.0	25.8	19.4	6.5	32.3	9.7	3.2	3.2
(150,1e+03]	0.0	0.0	3.1	3.1	25.0	43.8	18.8	6.2

Tableau L.1 – Structure en taille (mm en colonne) des anguilles argentées en fonction de la distance à la mer

Tableau L.2 – Classe de distance des ouvrages à la mer, pour recalculer la structure en taille au tableau L.1.

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Aulne			
ROE5390	Milin ar Roz (Pont Neuf)	124	(100,150]
ROE5426	Etang du Huelgoat	128	(100,150]
ROE5174	Barrage de Saint-Herbot	130	(100,150]
Blavet			
ROE11400	Barrage et Ecluse de Kérouse	26	(0,50]
ROE35710	Moulin de Sebrevet (prise d'eau)	36	(0,50]
ROE14155	Barrage et Ecluse de Trémorin	46	(0,50]
ROE14165	Barrage et Ecluse de Saint Adrien	46	(0,50]
ROE14178	Barrage et Ecluse de Talhouet	48	(0,50]
ROE14804	Barrage et Ecluse du Moulin Neuf	55	(50,100]
ROE10033	Moulin de Kerdéhel	58	(50,100]
ROE17653	Moulin Brulé de Bas	60	(50,100]
ROE17655	Moulin Brulé de Haut	60	(50,100]
ROE15076	Moulin de la Madeleine	62	(50,100]
ROE14979	Barrage et Ecluse du Roch	71	(50,100]
ROE10797	Barrage de la Cascade	79	(50,100]
ROE9974	Minoterie Ferrand	87	(50,100]
ROE10787	Barrage et Ecluse de Bolloré	94	(50,100]
ROE22841	Barrage de Guerlédan	100	(50,100]
ROE15004	Barrage hydro-électrique de Saint Aignan	100	(50,100]
ROE20783	Barrage de Kernéhuél	142	(100,150]
Cotiers22			
ROE29465	Moulin de Gernégan (PE)	8	(0,50]
Cotiers29			
ROE81626	Moulin Neuf	7	(0,50]
ROE4013	Moulin du Pont du Châtel	9	(0,50]
ROE63052	Moulin de St-Ouarneau	13	(0,50]
ROE63053	Moulin Lescoat (PE)	13	(0,50]
ROE4021	Moulin de Coat Meret	13	(0,50]
ROE11730	Moulin du Fao	15	(0,50]
ROE11729	Moulin de Trémillec	15	(0,50]
ROE3951	Moulin du Grand Pont	17	(0,50]
ROE3958	Moulin du Coumou	17	(0,50]
Couesnon			
ROE11878	Moulin de Quincampoix	35	(0,50]
Dossen			
ROE4294	Moulin Jouanet	21	(0,50]
Èlle			
ROE31387	moulin de Kerivarc'h	43	(0,50]
ROE30394	usine hydroélectrique de Pont Rouge	52	(50,100]
ROE31215	Moulin du Duc	61	(50,100]
ROE31161	Moulin Trancher	68	(50,100]
Elorn			
ROE64409	Moulin du Vern	6	(0,50]
ROE64411	Moulin du Pont (Guipavas)	8	(0,50]
ROE4627	Barrage du Drennec	50	(50,100]
Guessant			
ROE59736	Barrage de Pont Rolland	2	(0,50]
ROE38459	Barrage des Ponts Neufs	3	(0,50]
Gouet			
ROE33090	Moulin des Iles	11	(0,50]
ROE33099	barrage de saint-barthélémy	13	(0,50]
ROE35351	Moulin de Jacquelot	26	(0,50]
ROE35411	Moulin de la Perche	31	(0,50]
ROE35612	Moulin de Roma	39	(0,50]
Isole			
ROE6398	Barrage de la Boissière	46	(0,50]

ANNEXE L. CLASSES DE TAILLE DES ANGUILLES PAR OUVRAGE

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Leff			
ROE12385	Moulin Gludic	23	(0,50]
ROE22647	Moulin Cadiou	44	(0,50]
ROE22737	Moulin de la Ville Geffroy	54	(50,100]
Leguer			
ROE22333	Moulin de Buhulien	17	(0,50]
ROE22332	Moulin de Keriel	25	(0,50]
ROE22530	Moulin du Pont-Neuf	28	(0,50]
ROE22533	Moulin du Vicomte	28	(0,50]
Odet			
ROE64039	Moulin Launay	28	(0,50]
ROE3258	Moulin de Kerolven	38	(0,50]
Oust			
ROE11388	Barrage de Beaumont	73	(50,100]
ROE11542	Barrage de Malestroit	80	(50,100]
ROE11525	Barrage de la Née	84	(50,100]
ROE56473	Moulin du Val néant	94	(50,100]
ROE11846	Microcentrale de la Tertraie	117	(100,150]
ROE57923	Usine hydro-électrique des Forges de Lanouée	124	(100,150]
ROE38461	Déversoir du Val	155	(150,1e+03]
Rance			
ROE58449	Usine marémotrice de la Rance	2	(0,50]
ROE16879	Barrage de Rophémel	50	(0,50]
Scorff			
ROE32742	Moulin de Tronchâteau	26	(0,50]
ROE32793	moulin de Restraudran	30	(0,50]
ROE32911	Moulin de Malachappe	37	(0,50]
ROE33001	Moulin Neuf (Scorff)	54	(50,100]
ROE40460	Moulin de Herven	54	(50,100]
Trieux			
ROE23245	Moulin de Kerhalec	29	(0,50]
ROE24876	Moulin de Kerauffret	53	(50,100]
Vilaine			
ROE3652	Moulin de Champcors	124	(100,150]
ROE31396	Prise d'eau du moulin de l'Etang de la Forge	151	(150,1e+03]
Alagnon			
ROE10036	Seuil de la microcentrale de Chambezon	829	(150,1e+03]
ROE10050	Seuil de la microcentrale du Babory de Blesle	841	(150,1e+03]
ROE10065	Seuil du Moulin du Bos	842	(150,1e+03]
ROE36789	Moulin Grand	847	(150,1e+03]
ROE81638	Microcentrale d'Aurouze	853	(150,1e+03]
ROE36853	Microcentrale de Courcelles	853	(150,1e+03]
ROE39044	Centrale hydroélectrique de Peyrusse	866	(150,1e+03]
ROE39218	Micro centrale de Goutille	870	(150,1e+03]
ROE67271	Moulin de Grattepaille	873	(150,1e+03]
ROE59138	Prise d'eau du moulin de Celles	877	(150,1e+03]
ROE39054	Microcentrale de Farges	884	(150,1e+03]
ROE27149	Le Martinet (Murat)	894	(150,1e+03]

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Allier			
ROE43187	Moulin de Monet	776	(150,1e+03]
ROE7729	Microcentrale De Beaugeix	793	(150,1e+03]
ROE61059	Microcentrale de Champeix	795	(150,1e+03]
ROE7738	Moulin de Batifort	795	(150,1e+03]
ROE22624	Moulin de la Serre	797	(150,1e+03]
ROE22731	Microcentrale de VERRIERES	804	(150,1e+03]
ROE22823	Aménagement de ST NECTAIRE-LES GRANGES	811	(150,1e+03]
ROE3824	Moulin de Maupas	821	(150,1e+03]
ROE43096	Microcentrale de Courgoul	825	(150,1e+03]
ROE4306	Seuil de la prise d'eau de la microcentrale du Cheix Microcentrale LE CHEIX	828	(150,1e+03]
ROE4326	Microcentrale d'Oursière (ex de St Pierre-Colamine)	832	(150,1e+03]
ROE4006	Microcentrale de la plagne de challassogne (Moulin Bessou)	835	(150,1e+03]
ROE9885	Seuil du moulin de la Barreyre à Vielle Brioude	844	(150,1e+03]
ROE10197	Seuil de la Fridière	864	(150,1e+03]
ROE10224	Seuil de la microcentrale de Ste-Marguerite	871	(150,1e+03]
ROE9934	Seuil du Chambon de Cerzat	873	(150,1e+03]
ROE9949	Seuil de l'île d'Amour (Langeac)	880	(150,1e+03]
ROE10244	Seuil de la microcentrale du Saut du Matelot	880	(150,1e+03]
ROE29027	Seuil de la microcentrale de la Valette	882	(150,1e+03]
ROE28286	Seuil du moulin du Carron	888	(150,1e+03]
ROE28799	Seuil de la microcentrale de Chazelles	898	(150,1e+03]
ROE69998	Seuil de la microcentrale de Prades	899	(150,1e+03]
ROE28965	Usine hydroélectrique du Luchadou	899	(150,1e+03]
ROE28859	Seuil de la microcentrale de la Valette	907	(150,1e+03]
ROE28822	Seuil de la microcentrale de pont de Desges	907	(150,1e+03]
ROE28894	Seuil de la microcentrale du Rocher Pointu	909	(150,1e+03]
ROE38331	Saint Prejet	910	(150,1e+03]
ROE28711	Barrage de poutès/usine de Monistrol	916	(150,1e+03]
ROE47499	Barrage hydroélectrique Paulin	937	(150,1e+03]
ROE47467	Seuil de l'usine de Parayre	942	(150,1e+03]
ROE49054	Digue du Moulin de Chirac	949	(150,1e+03]
Arroux			
ROE15952	Microcentrale du Piéjus	782	(150,1e+03]
ROE19070	Usine hydroélectrique de la Canche	790	(150,1e+03]
Besbre			
ROE28481	Moulin de Trézelles	701	(150,1e+03]
ROE30577	Moulin de la Figourdine	710	(150,1e+03]
ROE30580	Moulin Marin	710	(150,1e+03]
ROE19867	Usine électrique du moulin Chatelard	721	(150,1e+03]
ROE23128	Moulin Gribory	729	(150,1e+03]
ROE12092	Barrage de compensation de Châtel-Montagne	736	(150,1e+03]
ROE11974	Usine de Châtel Montagne / barrage de Saint Clément	737	(150,1e+03]
Beuvron			
ROE16174	Moulin de Rouillon	311	(150,1e+03]
ROE16333	Moulin de la Varenne à Cellettes	319	(150,1e+03]
Cher			
ROE21779	Moulin des quatre Roues	358	(150,1e+03]
ROE21985	Moulin Neuf	367	(150,1e+03]
ROE14031	Vannage de l'usine hydroélectrique de Châtres	381	(150,1e+03]
ROE39188	barrage des Bourbiers - microcentrale de La Forge (vannes de décharges)	400	(150,1e+03]
ROE42477	Moulin de La Roche	404	(150,1e+03]
ROE27903	Micro-centrale de l'ancien moulin du Breuil	444	(150,1e+03]
ROE27932	Micro-centrale de Chateauneuf/Cher	457	(150,1e+03]
ROE48188	Moulin de La Feuillouze	485	(150,1e+03]
ROE76112	déversoir de l'ancien moulin de La Feuillouze	485	(150,1e+03]
ROE11621	Barrage usine de prat	562	(150,1e+03]
ROE8225	La Longeagne	583	(150,1e+03]
ROE16588	Moulin de Chassagnon	585	(150,1e+03]
ROE8293	Flobourg	592	(150,1e+03]

ANNEXE L. CLASSES DE TAILLE DES ANGUILLES PAR OUVRAGE

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Creuse			
ROE12750	Gatineau	296	(150,1e+03]
ROE12737	Moulin au Moine	305	(150,1e+03]
ROE6570	Moulin de l'Abbaye de Fontgombault	326	(150,1e+03]
ROE7948	Longefont	355	(150,1e+03]
ROE8002	Saint Marin	372	(150,1e+03]
ROE8151	Moulin Neuf	382	(150,1e+03]
ROE59532	Barrage de la Roche bat l'Aigue	386	(150,1e+03]
ROE59462	Moulin de Gargillesse	389	(150,1e+03]
ROE59464	Barrage de la Roche au moine	389	(150,1e+03]
ROE59503	Barrage d'Eguzon	397	(150,1e+03]
ROE10708	Barrage et usine de L'Age à La Celle Dunoise	431	(150,1e+03]
ROE10722	Barrage et usine des Chezelles	437	(150,1e+03]
ROE10604	Barrage et usine de Champsanglard	441	(150,1e+03]
ROE10028	Seuil moulin neuf	447	(150,1e+03]
ROE10003	Seuil du Moulin de Pont à Libaud	455	(150,1e+03]
ROE9955	Seuil de la microcentrale de la Roche Etroite	465	(150,1e+03]
ROE9297	Seuil minoterie d'Ahun	473	(150,1e+03]
ROE9268	Seuil moulin de Chantegrelle	476	(150,1e+03]
ROE9259	Barrage de Chantegrelle	476	(150,1e+03]
ROE7133	Seuil moulin Richain	496	(150,1e+03]
ROE7114	Seuil de l'usine hydroélectrique de la croix Blanche	496	(150,1e+03]
ROE6604	Micro centrale des Combes	505	(150,1e+03]
Dore			
ROE84940	moulin de la Ville (Chateldon)	721	(150,1e+03]
ROE8538	Moulin de chez Cottard	725	(150,1e+03]
ROE8574	Concession de la Durole (Château Gaillard)	750	(150,1e+03]
ROE8583	La Monnerie le montel	752	(150,1e+03]
ROE41986	Barrage de Sauviat	762	(150,1e+03]
ROE41951	Prise d'eau des Pradres usine de Sauviat	763	(150,1e+03]
ROE8769	Microcentrale le Couzon (ex Marcoux)	766	(150,1e+03]
ROE8734	Barrage de la Fortie (Le Foret)	767	(150,1e+03]
ROE11179	Usine coste	771	(150,1e+03]
ROE11294	Micro-centrale de Saint-Gervais-sous-Meymont	774	(150,1e+03]
ROE11301	Seuil microcentrale Decours (moulin d'Olliergue)	775	(150,1e+03]
ROE11453	Seuil de prise d'eau de la Microcentrale de Chantelauze Le Grand Cerf	775	(150,1e+03]
ROE11458	Seuil de prise d'eau de la microcentrale du Chalard	777	(150,1e+03]
ROE40894	Cablerie de la Repote -Seuil Usine Omerin (Olliergues)	779	(150,1e+03]
ROE11226	Microcentrale d'Augerolle	780	(150,1e+03]
ROE42015	Microcentrale de Carcasse	786	(150,1e+03]
ROE40960	Microcentrale de Vertolaye	790	(150,1e+03]
ROE40988	Microcentrale la Fortiche (ex Sorexe) ST PIERRE-LA-BOURLHONNE	796	(150,1e+03]
ROE41175	Microcentrale du Batifol	800	(150,1e+03]
ROE90172	Moulin Gratarelle (Ambert)	805	(150,1e+03]
ROE90171	Moulin de Feneix (Valeyre)	809	(150,1e+03]
ROE90173	Moulin de Nouara	809	(150,1e+03]
ROE41400	Moulin de la Naute	821	(150,1e+03]
ROE41258	Barrage de Barot (concession)	823	(150,1e+03]
ROE41358	Microcentrale DE LA VIGNE	823	(150,1e+03]
ROE41349	Barrage de compensation du Barot	823	(150,1e+03]
ROE41425	Microcentrale du Chalas	826	(150,1e+03]

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Gartempe			
ROE21918	La Roche à Gué	318	(150,1e+03]
ROE21937	Usine hydro elect de Nalliers	326	(150,1e+03]
ROE21940	Moulin de l'Epine	336	(150,1e+03]
ROE21982	La Brasserie	355	(150,1e+03]
ROE22048	Moulin de l'Age	368	(150,1e+03]
ROE15367	Moulin Quéroux	378	(150,1e+03]
ROE15391	Moulin Chaumont	381	(150,1e+03]
ROE16788	Usine du Moulin VERGER	394	(150,1e+03]
ROE16834	Usine du Moulin de Chaume	400	(150,1e+03]
ROE16851	Moulin de la Chaise	402	(150,1e+03]
ROE16975	Moulin de Bersac	413	(150,1e+03]
ROE16979	Moulin de Rancon	413	(150,1e+03]
ROE16982	Moulin de Roche	415	(150,1e+03]
ROE16986	Moulin de Laprade - La Papéterie - La Courcelle	417	(150,1e+03]
ROE6206	Galant	424	(150,1e+03]
ROE16989	Usine elect de la Roche-Etrangle-Loup	424	(150,1e+03]
ROE6137	Unsine du Mas	435	(150,1e+03]
ROE5511	Boirot	443	(150,1e+03]
ROE5344	Usine du Moulin Neuf	446	(150,1e+03]
ROE8272	Usine des Moulins	453	(150,1e+03]
ROE8674	Sebrot	465	(150,1e+03]
Indre			
ROE16810	Beaumer	258	(150,1e+03]
ROE14163	Moulin de l'Île Savary	344	(150,1e+03]
ROE59480	Grand Moulin à Buzançais	364	(150,1e+03]
ROE14482	Microcentrale de Bonneau à Buzançais	373	(150,1e+03]
ROE39486	Moulin de Bitray à Déols	400	(150,1e+03]
ROE47719	Moulin Guérin	436	(150,1e+03]
ROE47991	Moulin de Sévigné	446	(150,1e+03]
ROE59450	Barrage du Moulin Neuf	452	(150,1e+03]
ROE47905	Minoterie de Ste-Sévère	463	(150,1e+03]
Loir			
ROE3729	Villevêque	171	(150,1e+03]
ROE8506	Moulin de Bré	187	(150,1e+03]
ROE3777	Ignerelle	195	(150,1e+03]
ROE37565	Moulin de Cherré	257	(150,1e+03]
ROE58627	Moulin de la plaine 1	318	(150,1e+03]
ROE58630	Moulin de l'abord de dieu	319	(150,1e+03]
ROE86389	Moulin de Varennes	350	(150,1e+03]
ROE48682	moulin de Malignas	363	(150,1e+03]
ROE8731	Le Langault	382	(150,1e+03]
ROE8728	moulin de Vernouillet	388	(150,1e+03]
ROE54112	Moulin de Charray	400	(150,1e+03]
ROE48490	Saint Avit	408	(150,1e+03]
ROE16384	Grand Moulin du Vivier à La Bazoche de Gouet	434	(150,1e+03]
ROE58730	Moulin d'Epasé à Unverre	465	(150,1e+03]

ANNEXE L. CLASSES DE TAILLE DES ANGUILLES PAR OUVRAGE

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Loire			
ROE19169	Barrage de Decize (ou Saint-Léger-des-Vignes)	609	(150,1e+03]
ROE45228	Barrage de navigation de Roanne	763	(150,1e+03]
ROE45229	Barrage de Villerest	772	(150,1e+03]
ROE42468	Moulin Dissart	778	(150,1e+03]
ROE53611	Moulin Peuvergne	820	(150,1e+03]
ROE30743	Moulin nigon	821	(150,1e+03]
ROE30761	Chizonnet	825	(150,1e+03]
ROE31370	Moulin Guérin	832	(150,1e+03]
ROE36302	Méximieux, ancienne papèterie Montverdun	833	(150,1e+03]
ROE31556	Gour Saillans	838	(150,1e+03]
ROE31533	Moulin Barbeau	838	(150,1e+03]
ROE35336	Moulin Giraud	842	(150,1e+03]
ROE36324	Barrage de vaux	850	(150,1e+03]
ROE36330	Barrage de pontabouland	854	(150,1e+03]
ROE26980	Barrage de Grangent	858	(150,1e+03]
ROE42198	la Fouillouse	860	(150,1e+03]
ROE50270	Seuil microcentrale de la Placette	861	(150,1e+03]
ROE35829	Passafol (usines des Ruines)	861	(150,1e+03]
ROE36349	Pont de Chevelière (Fournier)	868	(150,1e+03]
ROE26068	Seuil de l'usine hydroélectrique de Semène	885	(150,1e+03]
ROE26117	seuil de la microcentrale de la Méanne 1	885	(150,1e+03]
ROE26098	Microcentrale de la méanne 2	885	(150,1e+03]
ROE44350	Barrage de la Papeterie	892	(150,1e+03]
ROE44355	Barrage de la microcentrale des Mazeaux	892	(150,1e+03]
ROE40094	Barrage de l'usine de pont de lignon1	905	(150,1e+03]
ROE40096	Barrage de l'usine de pont de lignon2	905	(150,1e+03]
ROE25027	Usine électrique de Ranc	907	(150,1e+03]
ROE27160	Barrage de compensation de l'usine hydroélectrique du Plot	908	(150,1e+03]
ROE24526	Usine électrique du Vert (Retournac)	918	(150,1e+03]
ROE27186	Usine du barrage de Passouira	919	(150,1e+03]
ROE27210	Moulin Giroux	922	(150,1e+03]
ROE27231	Usine hydroélectrique du Rodier (Saint Julien d'Ance)	922	(150,1e+03]
ROE24611	Usine électrique de Vousse	922	(150,1e+03]
ROE24673	usine électrique du moulin des Vigés	922	(150,1e+03]
ROE40833	Barrage de l'usine électrique de la Pervençère	925	(150,1e+03]
ROE40081	Barrage de la Valette	929	(150,1e+03]
ROE40083	Usine hydroélectrique de Versilhac Vendet à Lapte	929	(150,1e+03]
ROE40831	Microcentrale de Solier (Dunière)	929	(150,1e+03]
ROE77050	Bénibeau	935	(150,1e+03]
ROE24856	Usine électrique de la Ribette	936	(150,1e+03]
ROE27947	Seuil de la microcentrale de Chabouteyres	939	(150,1e+03]
ROE43547	Barrage de l'usine hydroélectrique des Mazeaux	945	(150,1e+03]
ROE17022	Levée des Frères (Tence)	947	(150,1e+03]
ROE90157	Usine GEH Saint Simon	947	(150,1e+03]
ROE90158	Usine du Moulin Navant	947	(150,1e+03]
ROE40076	Barrage de Salettes (Moulin Joubert)	949	(150,1e+03]
ROE39215	Seuil de Pousareau ou Magnac	954	(150,1e+03]
ROE39214	Digue de la minoterie Jouvé	954	(150,1e+03]
ROE39267	Seuil Moulin Gory	960	(150,1e+03]
ROE40277	Usine de la Berthe	964	(150,1e+03]
ROE41225	Barrage des Pradeaux	966	(150,1e+03]
ROE40303	Seuil de l'usine des Pandreaux	966	(150,1e+03]
ROE40376	Barrage de Saint Blaize	970	(150,1e+03]
ROE38180	Langougnole	1009	(150,1e+03]
ROE76097	Usine de Montpezat / barrage du Moulin de Peyron	1014	(150,1e+03]
ROE38228	Usine de Montpezat / barrage de la Palisse	1017	(150,1e+03]
ROE38200	Usine de Montpezat / barrage de la Grange	1024	(150,1e+03]

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Mayenne			
ROE43070	Moulin de la Roussière	172	(150,1e+03]
ROE2232	Chenillé changé	186	(150,1e+03]
ROE41255	Moulin du Bourg d'Iré	205	(150,1e+03]
ROE20586	Persigand	235	(150,1e+03]
ROE20650	Laval	239	(150,1e+03]
ROE20632	Port Rhingeard	239	(150,1e+03]
ROE20720	Belle Poule	248	(150,1e+03]
ROE20732	L'Ame	254	(150,1e+03]
ROE20736	La Fourmondière supérieure	258	(150,1e+03]
ROE20739	La Richardière	258	(150,1e+03]
ROE20733	Oger	258	(150,1e+03]
ROE20734	La Fourmondière inférieure	258	(150,1e+03]
ROE20847	La Nourrière	260	(150,1e+03]
ROE20731	La Maignannerie	260	(150,1e+03]
ROE20850	Le Port	261	(150,1e+03]
ROE20856	Bas Hambert	263	(150,1e+03]
ROE40049	Montgiroux (déversoir des Communes amont)	263	(150,1e+03]
ROE20861	Corçu	264	(150,1e+03]
ROE20829	La Verrerie	268	(150,1e+03]
ROE20876	Boussard	269	(150,1e+03]
ROE20880	La Roche	269	(150,1e+03]
ROE20885	Grenoux	270	(150,1e+03]
ROE20891	St Baudelle	274	(150,1e+03]
ROE20897	Mayenne	277	(150,1e+03]
ROE5543	Barrage de Saint Fraimbault	287	(150,1e+03]
ROE30542	Moulin Neuf	308	(150,1e+03]
ROE18425	Moulin Neuf - décharge	331	(150,1e+03]
Sarthe			
ROE41582	Le Gord	247	(150,1e+03]
ROE41697	Spay	277	(150,1e+03]
ROE36964	L'Epau (usine des eaux)	297	(150,1e+03]
ROE6266	Moulin des Noyers	299	(150,1e+03]
ROE6011	Fillé	304	(150,1e+03]
ROE36897	Le Bourray	322	(150,1e+03]
ROE6030	Boulay	326	(150,1e+03]
ROE39473	Guédon	332	(150,1e+03]
ROE40512	Avezé	363	(150,1e+03]
ROE15209	Le Chevain	414	(150,1e+03]
Sevre nantaise			
ROE34572	Les Epinettes	76	(50,100]
ROE14905	Gallard	111	(100,150]
Sioule			
ROE24506	Centrale élect du Moulin Breland	664	(150,1e+03]
ROE29001	Barrage du moulin de la Ville	668	(150,1e+03]
ROE27316	Moulin de la Carmone - usine	670	(150,1e+03]
ROE29187	Moulin Champagne (microcentrale)	673	(150,1e+03]
ROE29268	Moulin d'Entremiolles (microcentrale) usine	674	(150,1e+03]
ROE29614	Moulin des Grottes (usine)	678	(150,1e+03]
ROE29625	Moulin d'Aubeterre	687	(150,1e+03]
ROE29663	Moulin Infernal (usine centrale)	689	(150,1e+03]
ROE29781	Neuval amont première usine	702	(150,1e+03]
ROE4573	Moulin du Coin	733	(150,1e+03]
ROE4222	Barrage de Queuille	744	(150,1e+03]
ROE4211	Barrage des Fades-Besserve	755	(150,1e+03]
ROE28531	centrale du moulin d'en haut (Pontaumur)	780	(150,1e+03]
ROE11884	Moulin de Mazière d'en-haut	781	(150,1e+03]
ROE14154	Microcentrale de la Saunade	781	(150,1e+03]
ROE11918	Barrage de Pontgibaud usine Montfermy	788	(150,1e+03]

ANNEXE L. CLASSES DE TAILLE DES ANGUILLES PAR OUVRAGE

Tableau L.2 – (continued)

	Libelle	d_{mer} (km)	classe dist
Vienne			
ROE19881	Usine électrique de Chatelleraut	282	(150,1e+03]
ROE21331	Moulin de Bonneuil	299	(150,1e+03]
ROE60573	Saint Mars	300	(150,1e+03]
ROE21573	Goux-Villard	352	(150,1e+03]
ROE61619	Moulin de la Roche	356	(150,1e+03]
ROE29073	Barrage de Charde	357	(150,1e+03]
ROE29116	Barrage de La Roche	363	(150,1e+03]
ROE29086	Barrage de Jousseau	368	(150,1e+03]
ROE51853	Moulin de puygrenier	388	(150,1e+03]
ROE51555	Moulin de Roche (ou de la Lainière)	391	(150,1e+03]
ROE51553	Moulin Neuf	406	(150,1e+03]
ROE51550	Moulin de Chabonais	412	(150,1e+03]
ROE54073	Moulin de la Soutière	418	(150,1e+03]
ROE51551	Moulin du Pilas	418	(150,1e+03]
ROE9523	Usine de Saillat	421	(150,1e+03]
ROE9527	Barrage de Roche	424	(150,1e+03]
ROE9541	Moulin de Saint Amant	430	(150,1e+03]
ROE9548	Moulin de Grandmont	430	(150,1e+03]
ROE9550	Moulin de l'Hopital à Saint Junien	432	(150,1e+03]
ROE9556	Usine du Bouchet	439	(150,1e+03]
ROE9558	Moulin de Saint Victorien	439	(150,1e+03]
ROE5878	Moulin Barlet	446	(150,1e+03]
ROE5868	Moulin de la Gabie	450	(150,1e+03]
ROE9565	Moulin de la Mie et de vienne	453	(150,1e+03]
ROE9578	Moulin de St gerald	460	(150,1e+03]
ROE9584	Moulin du Caillaud	460	(150,1e+03]
ROE9588	Barrage de l'Aiguille (usine Lascaux)	464	(150,1e+03]
ROE9594	Usine du Val d'Enreud	464	(150,1e+03]
ROE9605	Moulin des Roches et moulin Richard	467	(150,1e+03]
ROE8282	Usine électrique du Palais Pas de la Mule	478	(150,1e+03]
ROE9030	Seuil du Forgeron	485	(150,1e+03]
ROE9033	Moulin des Roches	485	(150,1e+03]
ROE8305	Usine de / barrage du Chauvan	487	(150,1e+03]
ROE9035	Moulin de Brignac	488	(150,1e+03]
ROE9044	Centrale de Maqueteau seuil amont	492	(150,1e+03]
ROE6802	Usine de / barrage de Saint Marc	492	(150,1e+03]
ROE9084	Moulin de Beaufort	497	(150,1e+03]
ROE9092	centrale de Farebout	497	(150,1e+03]
ROE8834	Usine et barrage de l'Artige à Saint Denis des Murs	500	(150,1e+03]
ROE31221	Micro-centrale des Lilas	503	(150,1e+03]
ROE6821	Centrale hydroélectrique de la Chôte	507	(150,1e+03]
ROE8847	Usine du barrage de Langleret	508	(150,1e+03]
ROE9099	Seuil de la Borie	509	(150,1e+03]
ROE9146	Usine de / barrage de l'Etroit à Châtelus le Marcheix	510	(150,1e+03]
ROE8855	Usine du barrage de Fleix	513	(150,1e+03]
ROE8852	Usine du barrage de Bujaleuf	513	(150,1e+03]
ROE8856	Usine du barrage de Martiniex	517	(150,1e+03]
ROE9148	Usine de / barrage de la Roche Talamy	517	(150,1e+03]
ROE9012	Usine du barrage de Mont Larron à Saint Julien le Petit	521	(150,1e+03]
ROE9116	Usine du barrage de Bussy	525	(150,1e+03]
ROE9805	Moulin de Saint Junien	531	(150,1e+03]
ROE9763	Seuil de la microcentrale du Palais	539	(150,1e+03]
ROE9073	Usine du Mazet / barrage de Vassivière (Peyrat)	546	(150,1e+03]
Lay			
ROE36391	Barrage de l'Angle Guignard	65	(50,100]
ROE36419	Rochereau	80	(50,100]
Vendee			
ROE39720	Mervent	57	(50,100]

M.1 Le loir

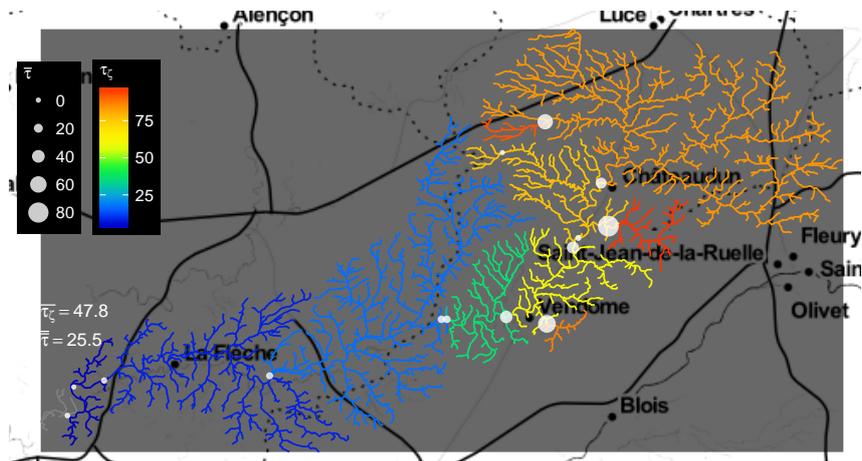


FIGURE M.1 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles sur le sous bassin du Loir. τ_{c} = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\% \bar{\tau}_{c}$ = moyenne des τ_{c} sur le bassin, $\bar{\bar{\tau}}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

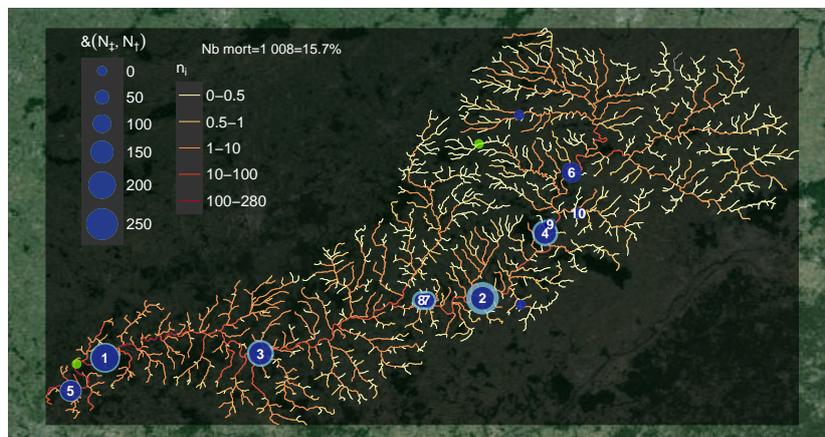


FIGURE M.2 – Nombre d'anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin du Loir, cercle extérieur (bleu clair) = N_x mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_y = mortalité réelle. En vert = pas de mortalité.

M.2 La Sarthe

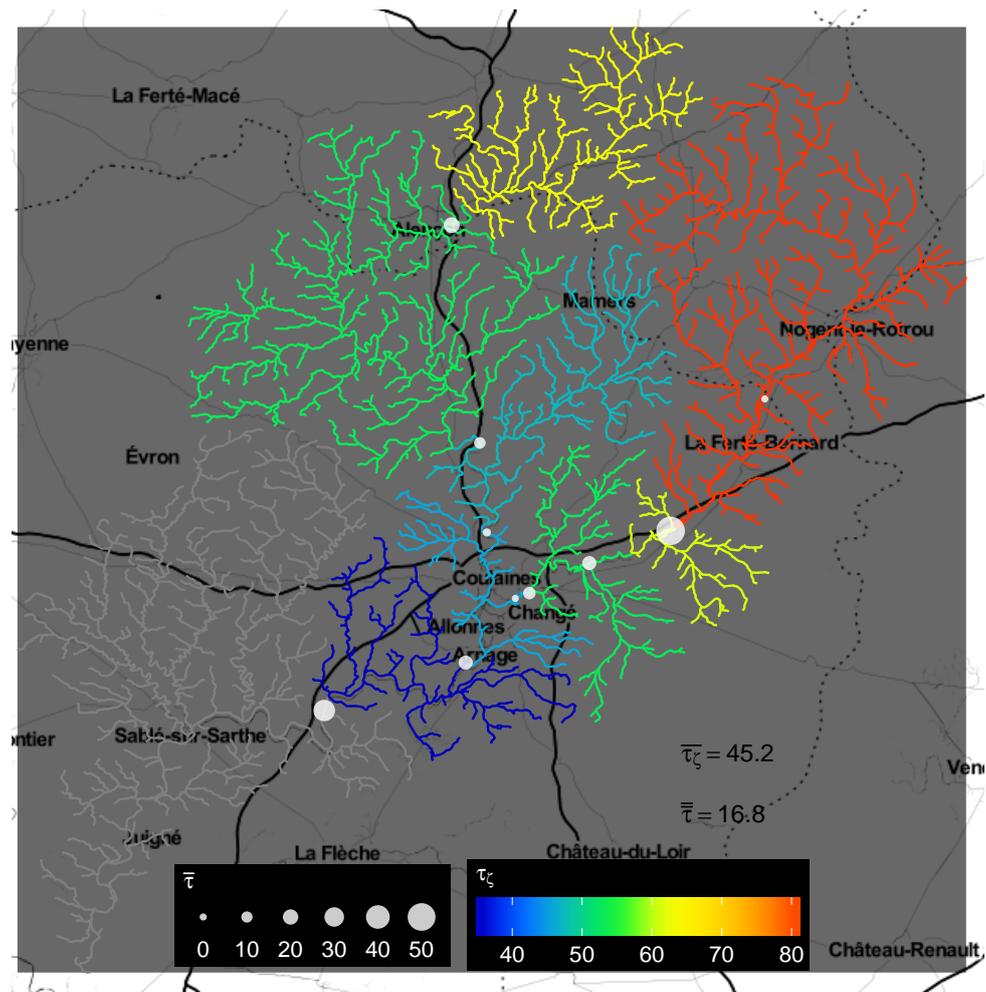


FIGURE M.3 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles sur le sous bassin de la Sarthe. τ_{ζ} = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_{\zeta}$ = moyenne des τ_{ζ} sur le bassin, $\bar{\bar{\tau}}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

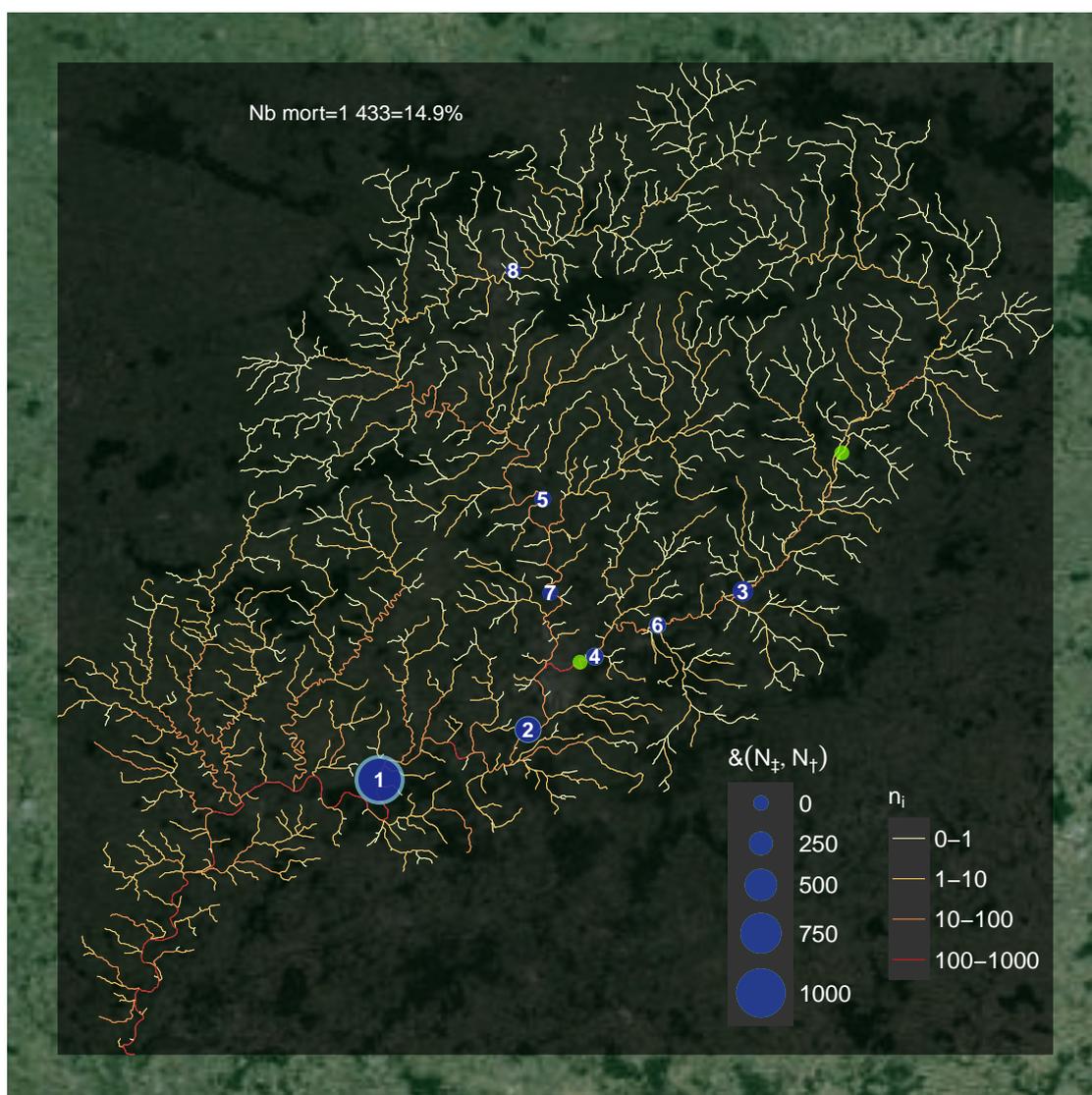


FIGURE M.4 – Nombre d'anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de la Sarthe, cercle extérieur (bleu clair)= N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_+ = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

M.3 La Mayenne

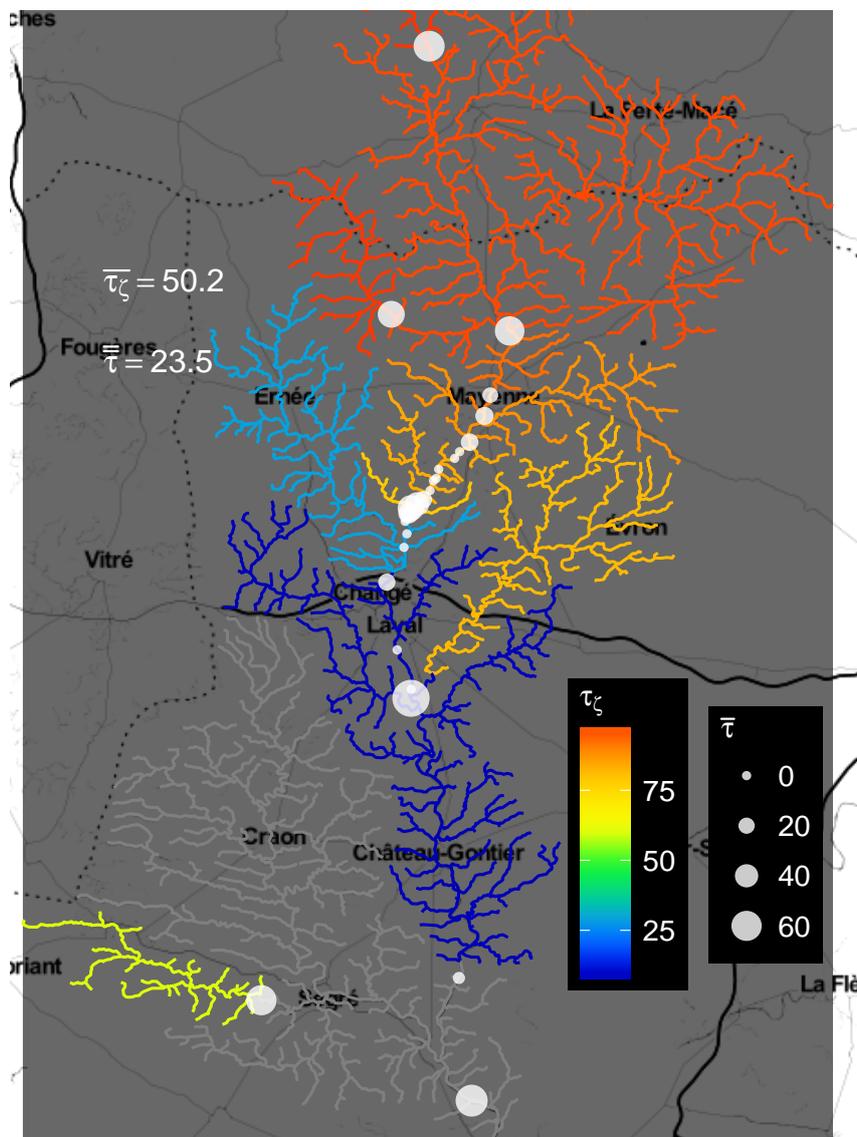


FIGURE M.5 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles sur le sous bassin de la Mayenne. τ_ζ = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_\zeta$ = moyenne des τ_ζ sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

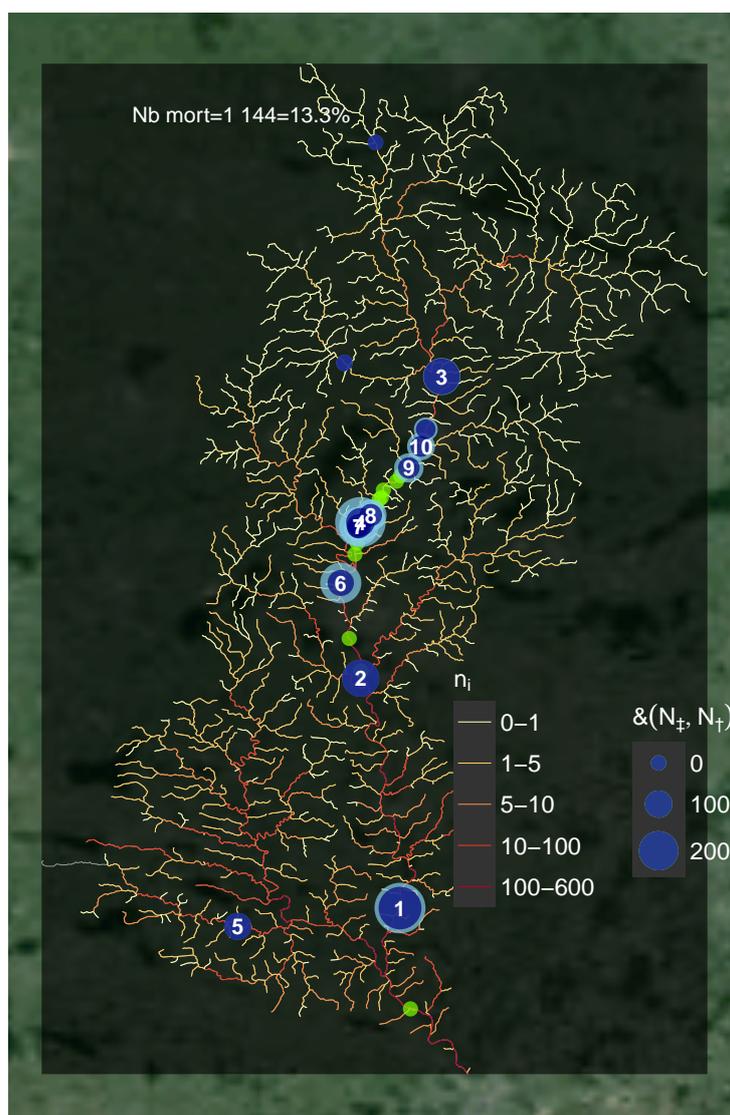


FIGURE M.6 – Nombre d'anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de la Mayenne, cercle extérieur (bleu clair) = N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) = N_+ mortalité réelle. En vert = pas de mortalité.

M.4 La Vilaine

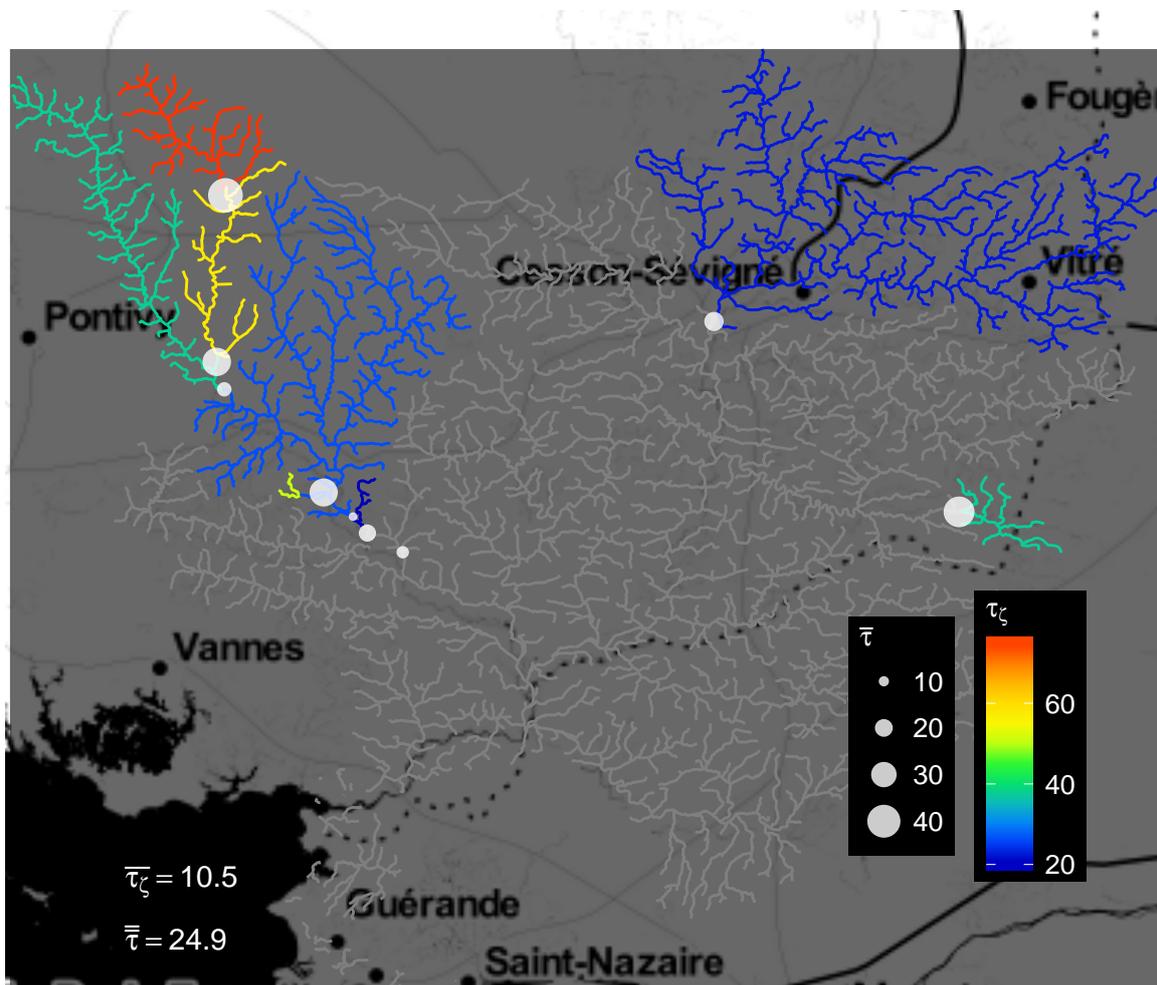


FIGURE M.7 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles sur le sous bassin de la Vilaine. τ_{ζ} = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_{\zeta}$ = moyenne des τ_{ζ} sur le bassin, $\bar{\bar{\tau}}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

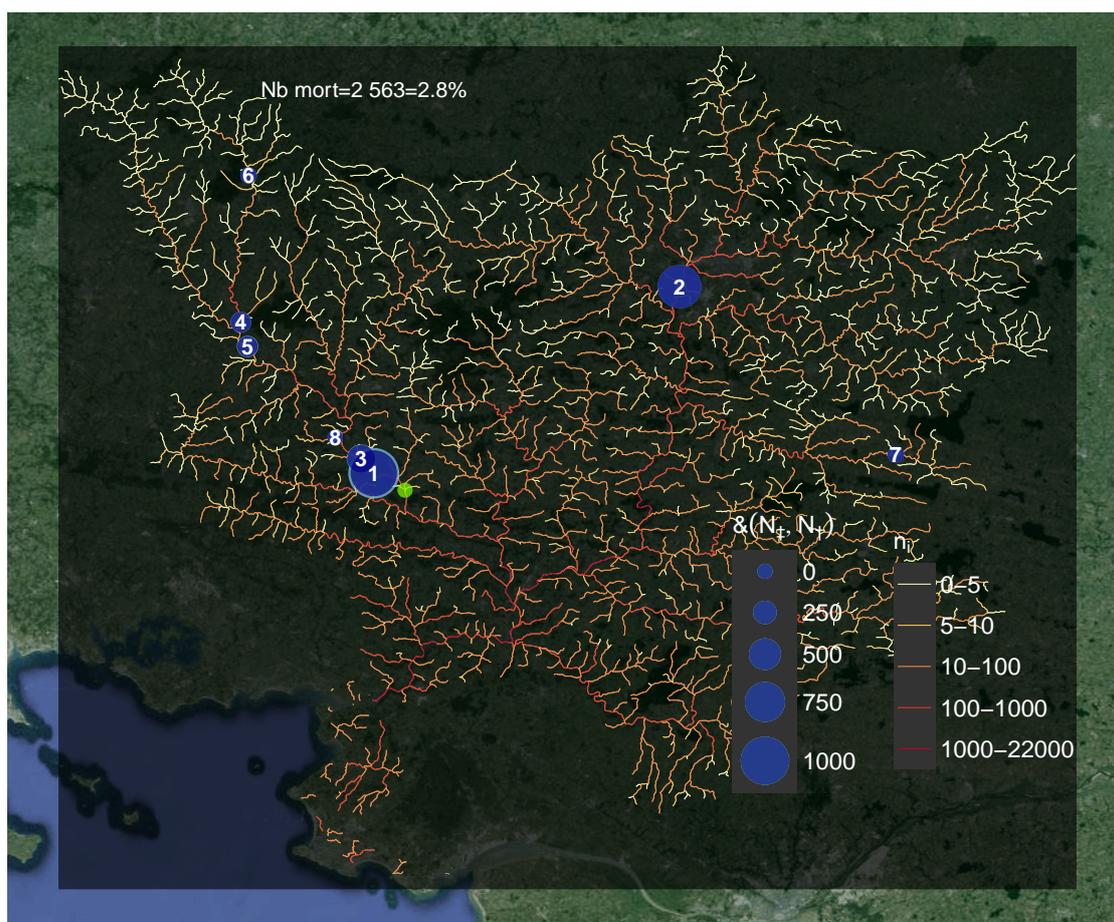


FIGURE M.8 – Nombre d'anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de la Vilaine, cercle extérieur (bleu clair)= N_{+} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{+} = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

M.5 Le Blavet

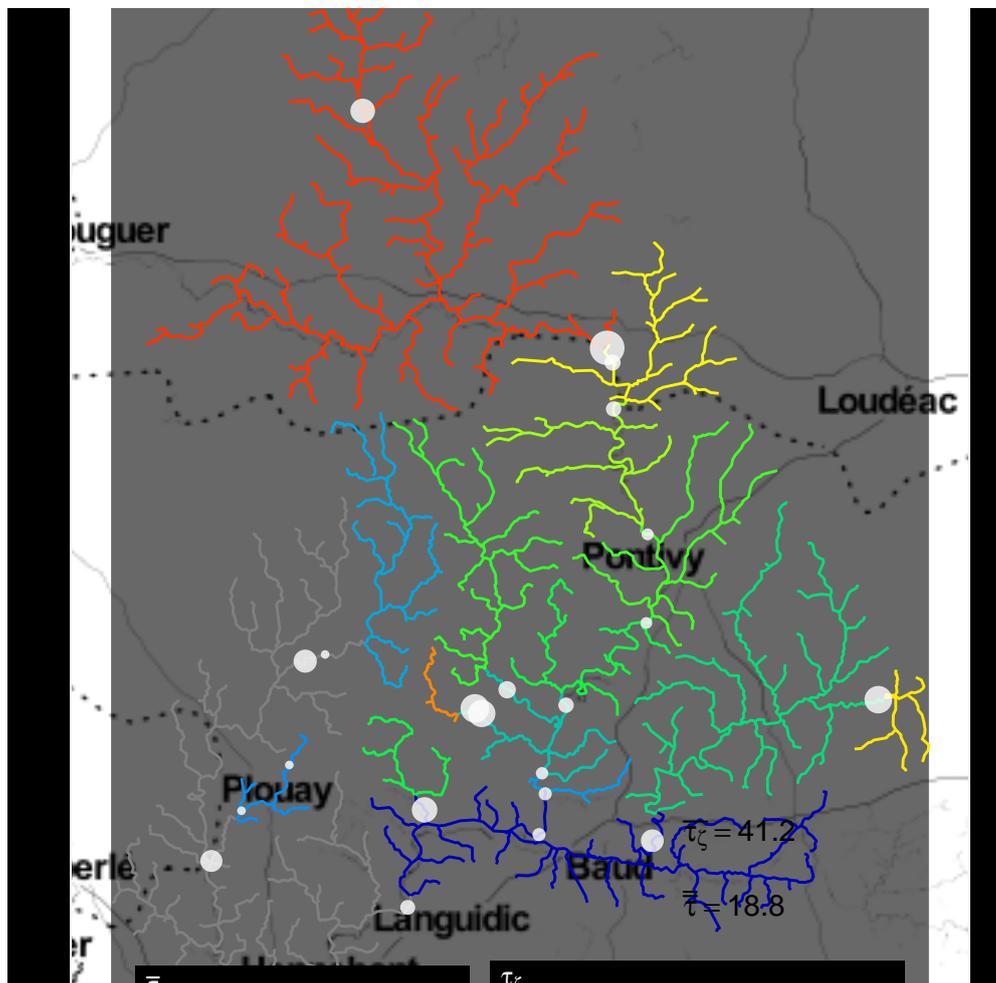


FIGURE M.9 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les anguilles sur le sous bassin du Blavet. τ_{ζ} = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (anguilles), $\bar{\tau}_{\zeta}$ = moyenne des τ_{ζ} sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités ouvrage du bassin.

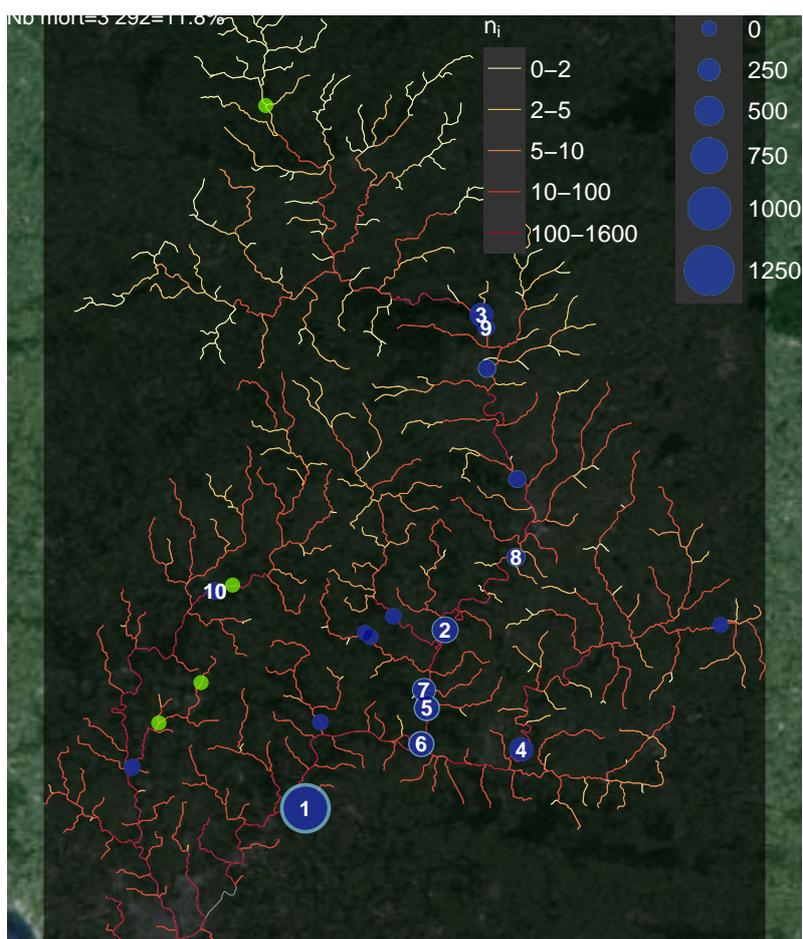


FIGURE M.10 – Nombre d’anguilles dévalantes par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin du Blavet, cercle extérieur (bleu clair)= N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_+ = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

N.1 L'Allier

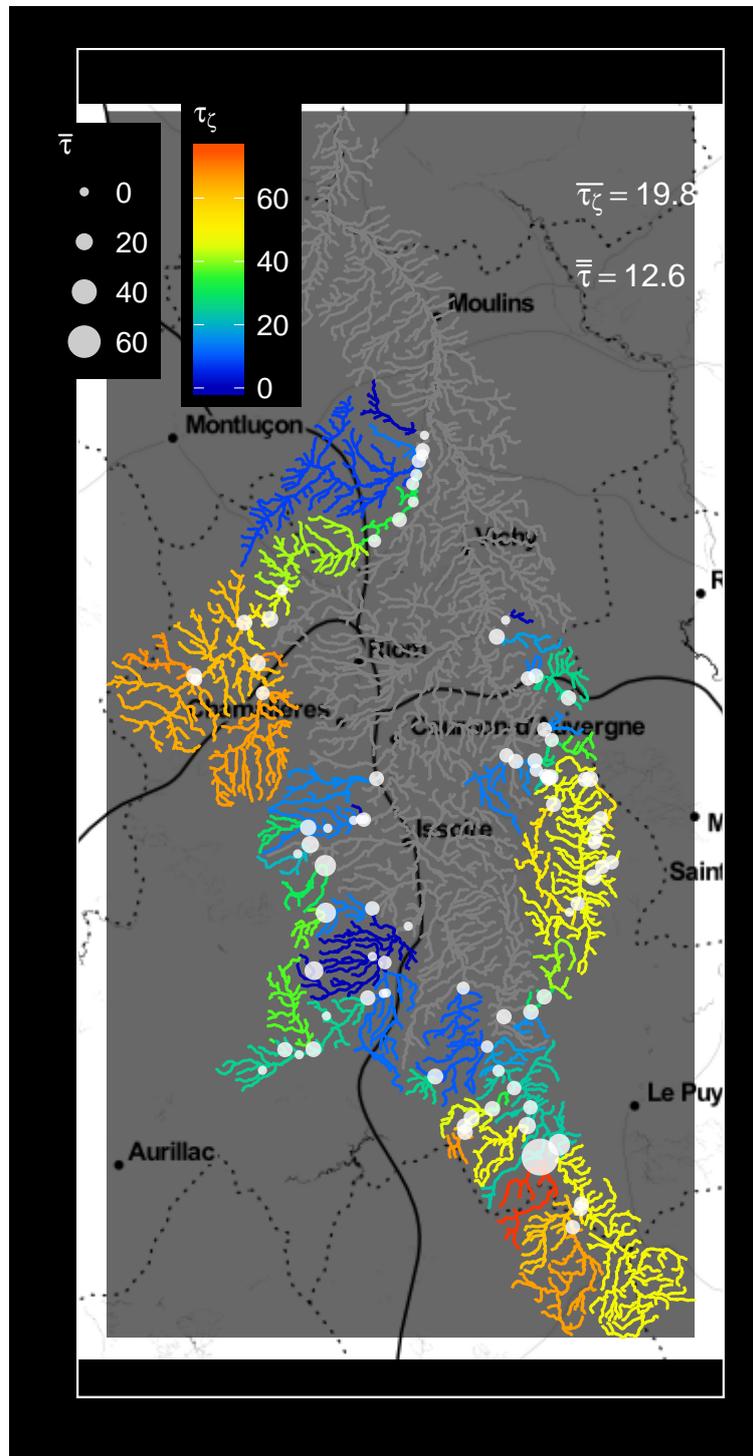


FIGURE N.1 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les smolts sur le sous bassin de l'Allier. τ_c = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (smolts), $\bar{\tau}_c$ = moyenne des τ_c sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités par ouvrage du bassin.

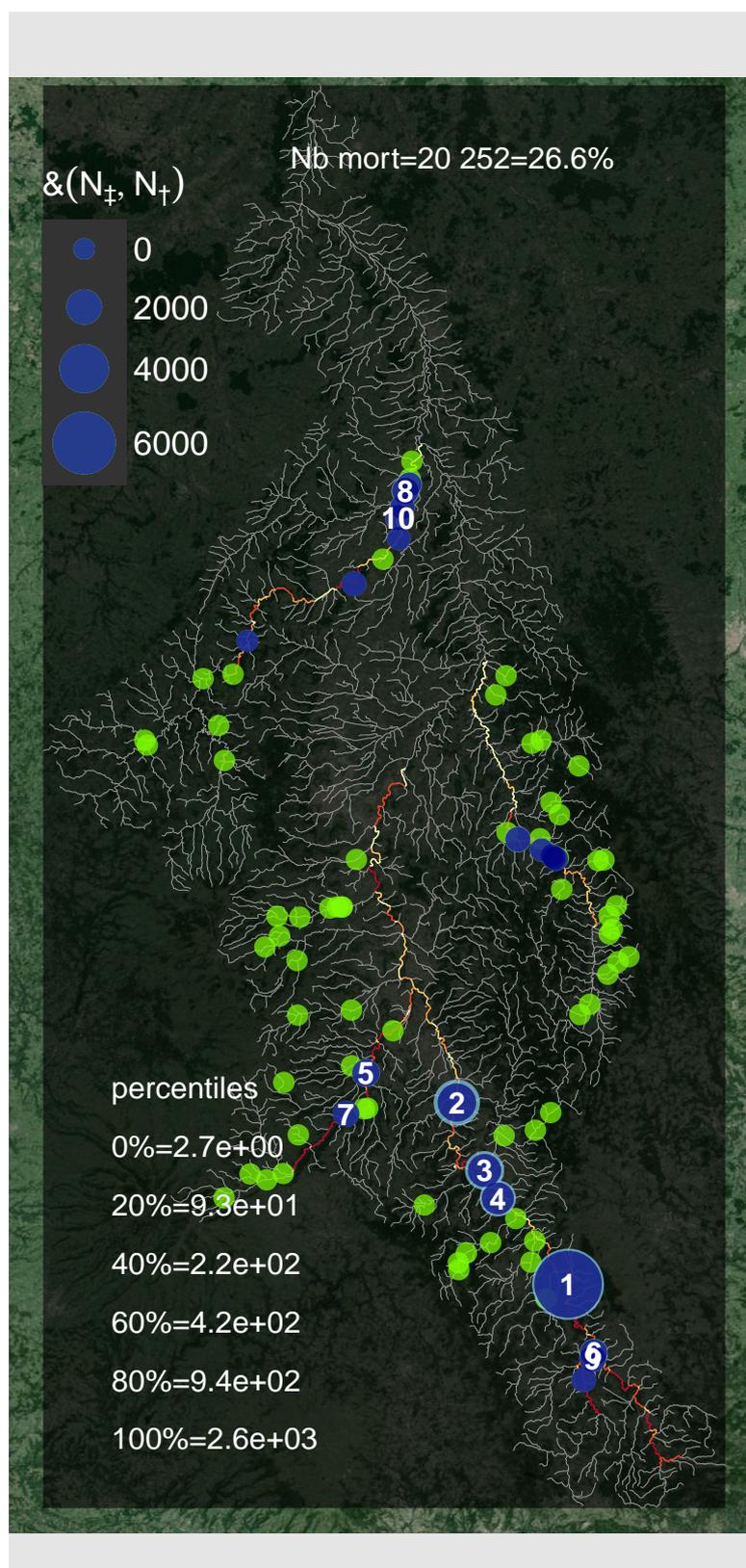


FIGURE N.2 – Nombre de smolts dévalants par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de l'Allier dans le cadre du scénario de production modélisée actuelle, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\dagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\dagger} = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

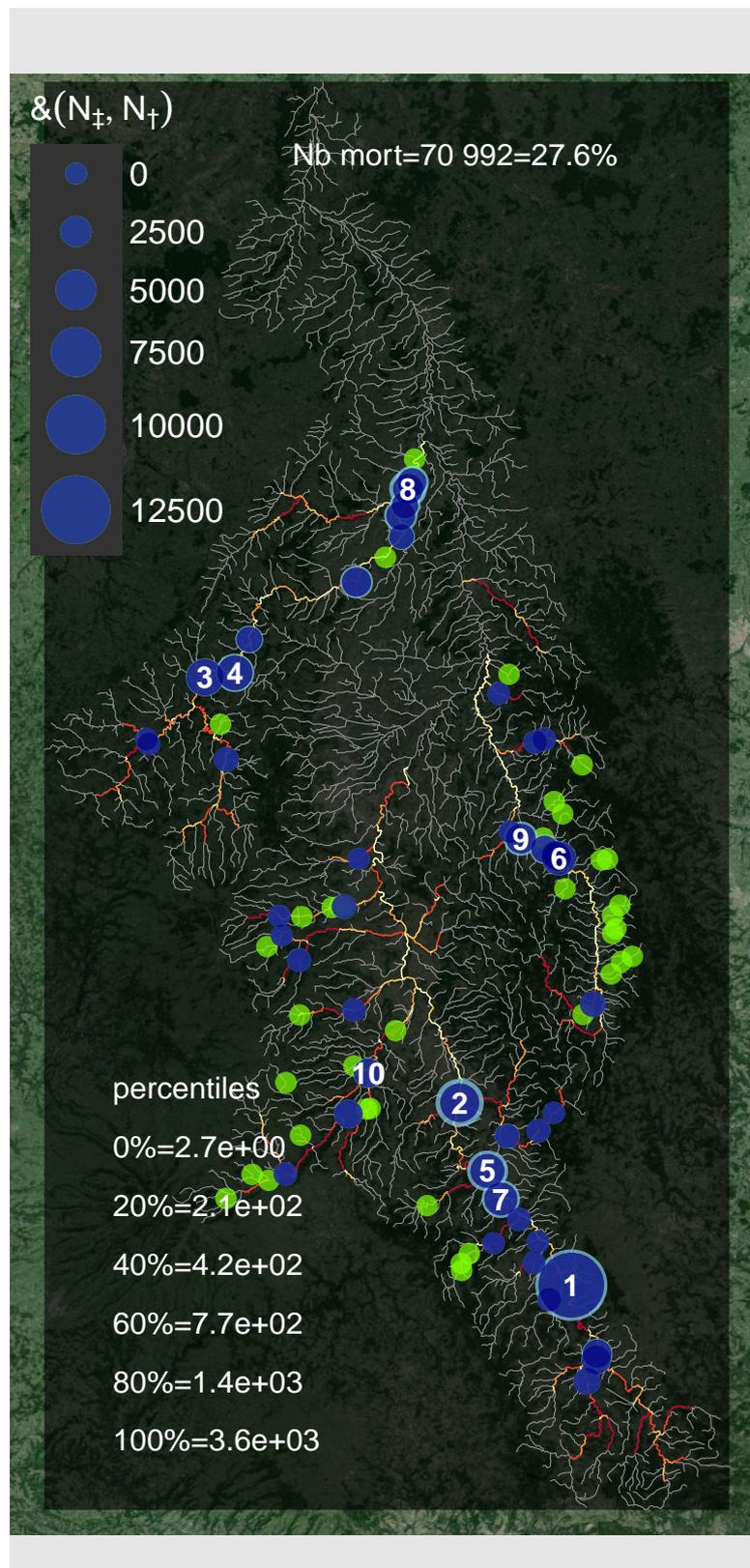


FIGURE N.3 – Nombre de smolts dévalants par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de l'Allier dans le cadre du scénario de production modélisée sans barrage, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\ddagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\dagger} = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

N.2 La Loire Amont

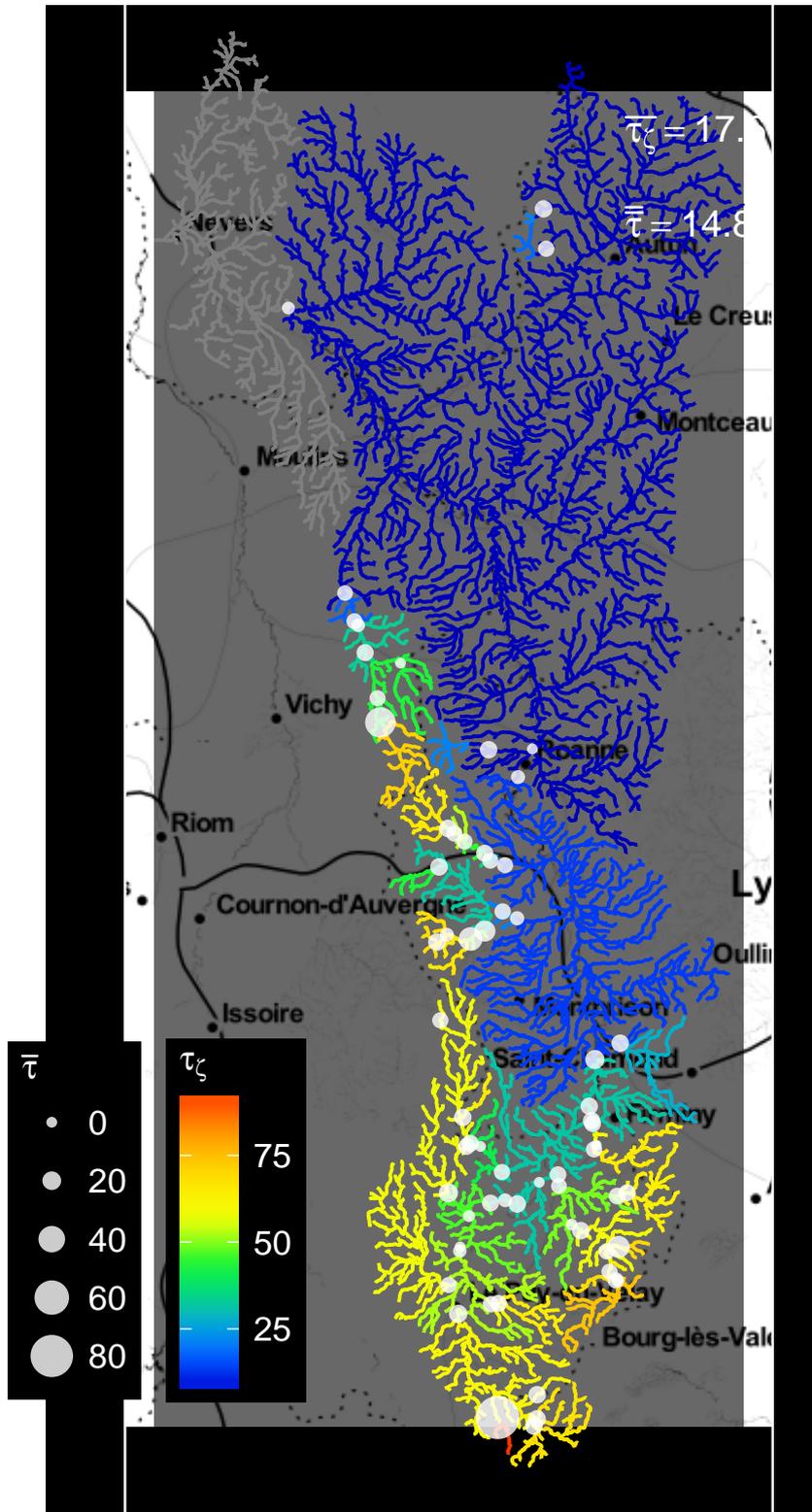


FIGURE N.4 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les smolts sur l'amont du bassin de la Loire. τ_z = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (smolts), $\bar{\tau}_z$ = moyenne des τ_z sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités par ouvrage du bassin.

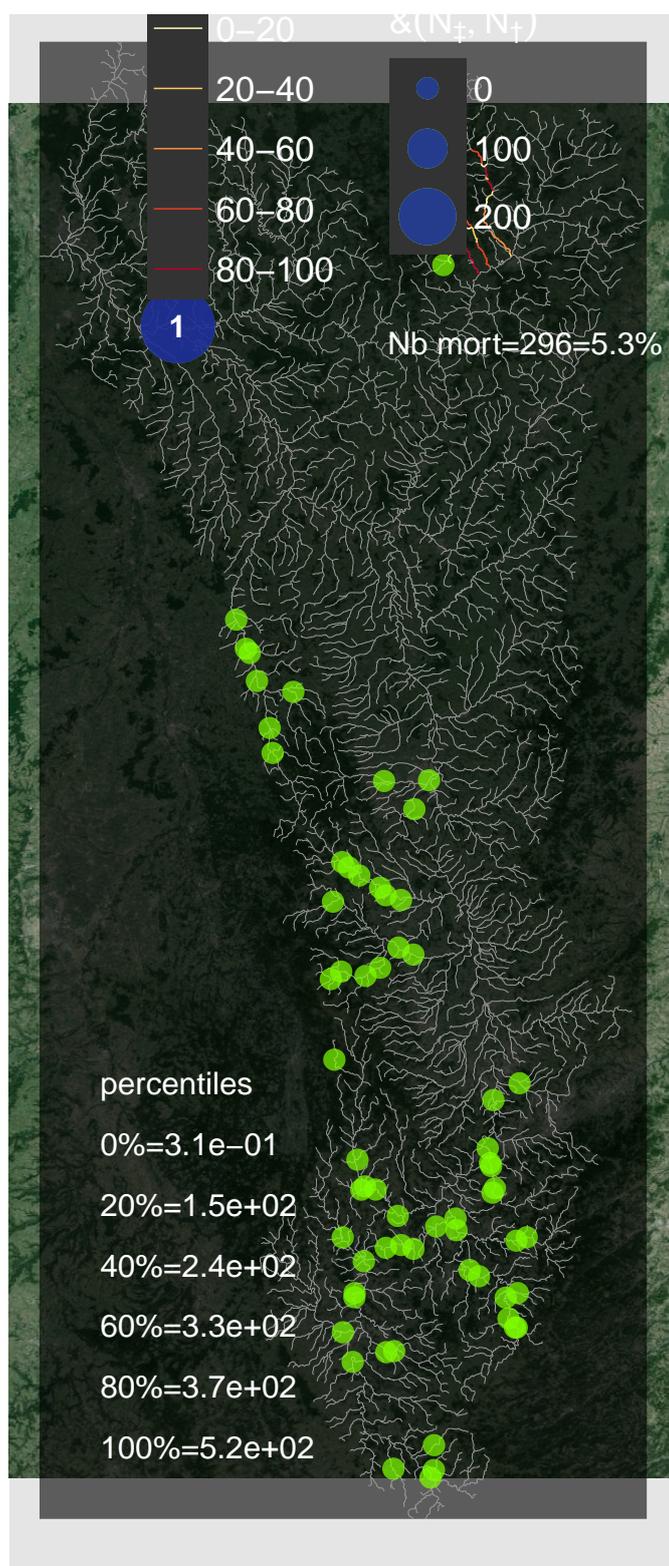


FIGURE N.5 – Nombre de smolts dévalants par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur l'amont du bassin de la Loire dans le cadre du scénario de *production modélisée actuelle*, cercle extérieur (bleu clair)=N_‡ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_‡= mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

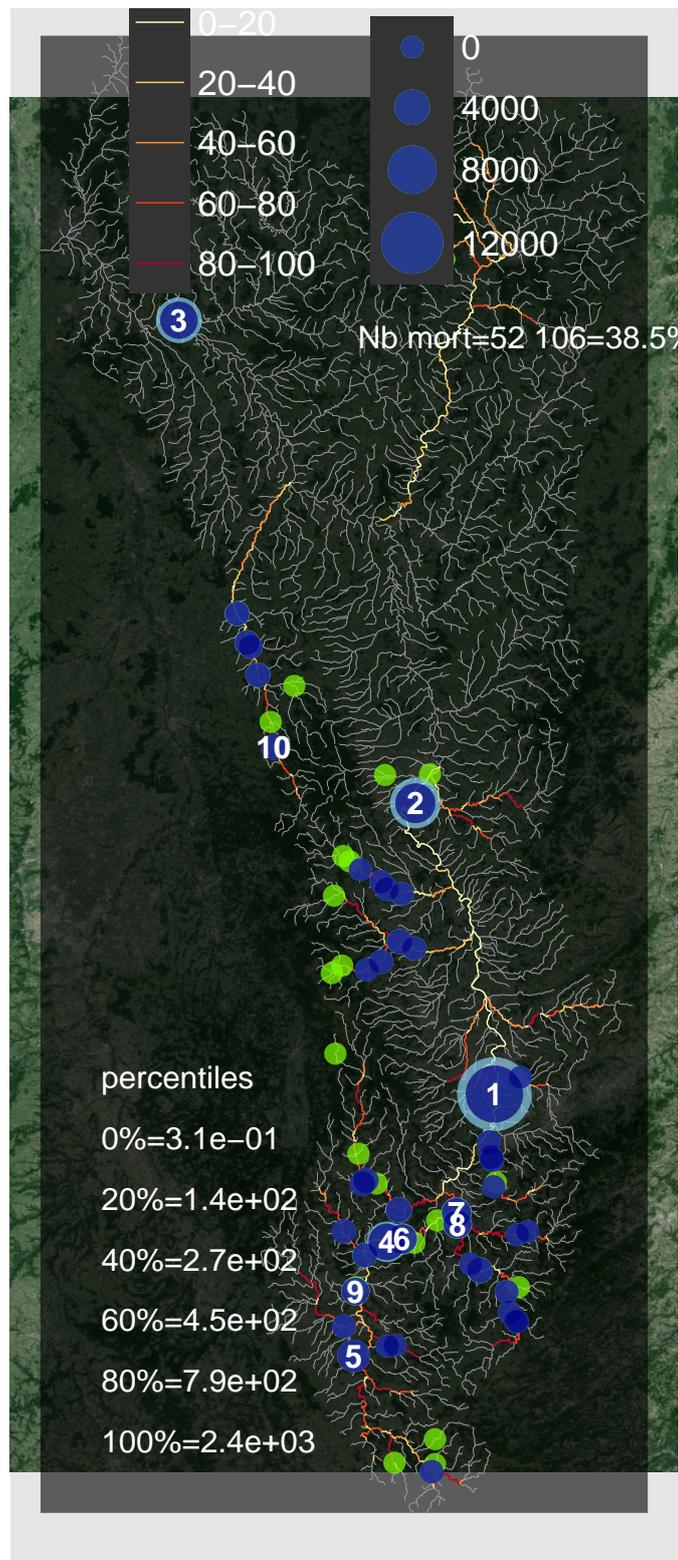


FIGURE N.6 – Nombre de smolts dévalants par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur l'amont du bassin de la Loire dans le cadre du scénario de *production modélisée sans barrage*, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\dagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\ddagger} = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

N.3 Le Cher

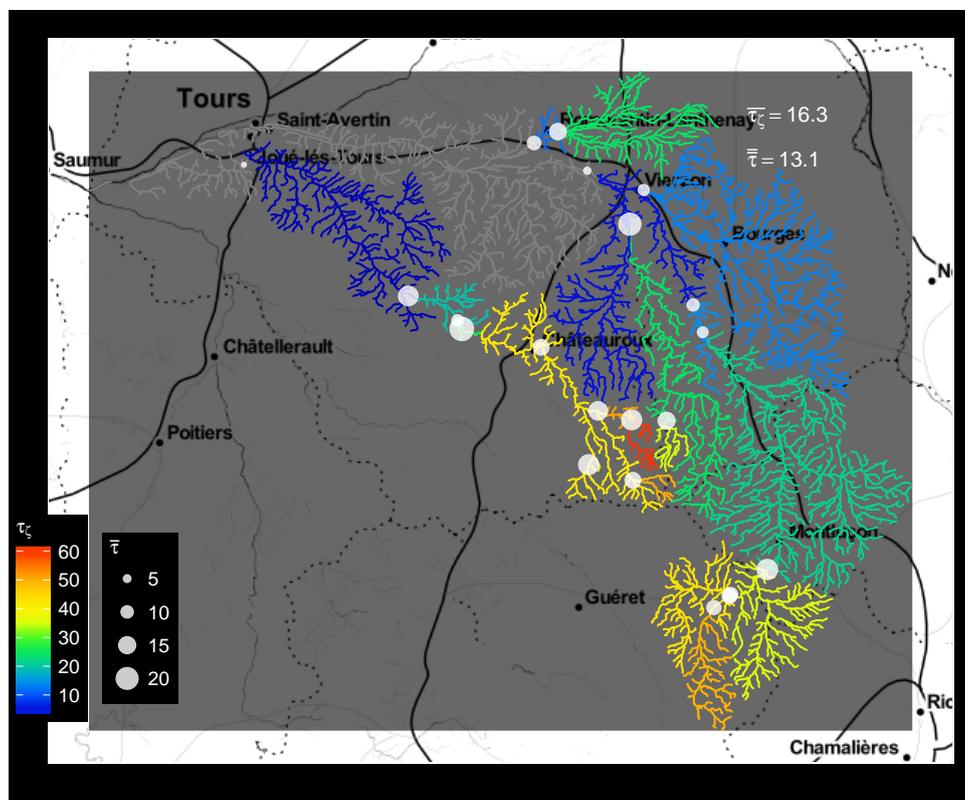


FIGURE N.7 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les smolts sur le sous bassin du Cher. τ_c = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (smolts), τ_c = moyenne des τ_c sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités par ouvrage du bassin.

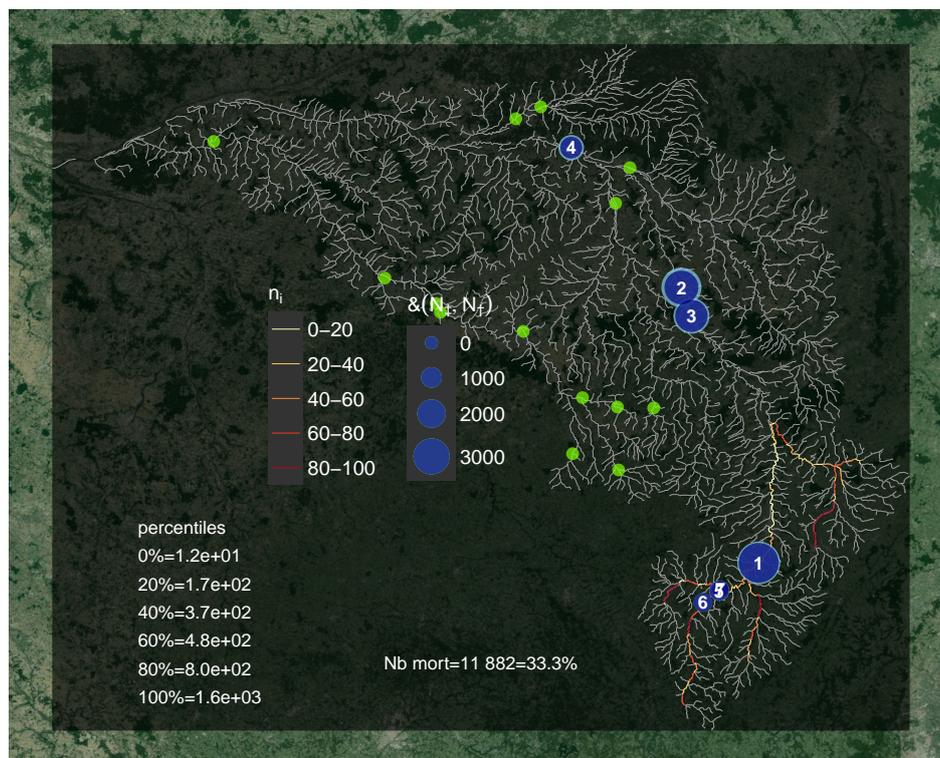


FIGURE N.8 – Nombre de smolts dévalants par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin du Cher dans le cadre du scénario de production modélisée sans barrage, cercle extérieur (bleu clair)= N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_+ = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

N.4 La Vienne

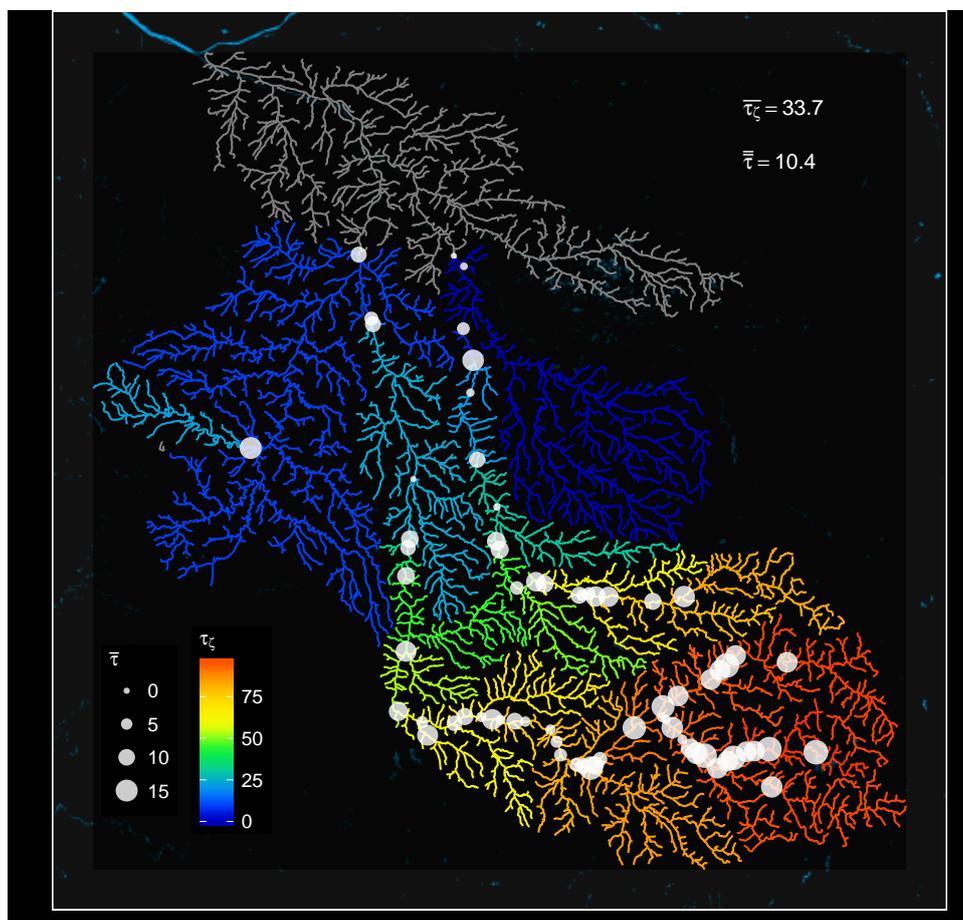


FIGURE N.9 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les smolts sur le sous bassin de la Vienne. τ_z = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (smolts), $\bar{\tau}_z$ = moyenne des τ_z sur le bassin, $\bar{\bar{\tau}}$ = moyenne des mortalités par ouvrage du bassin.

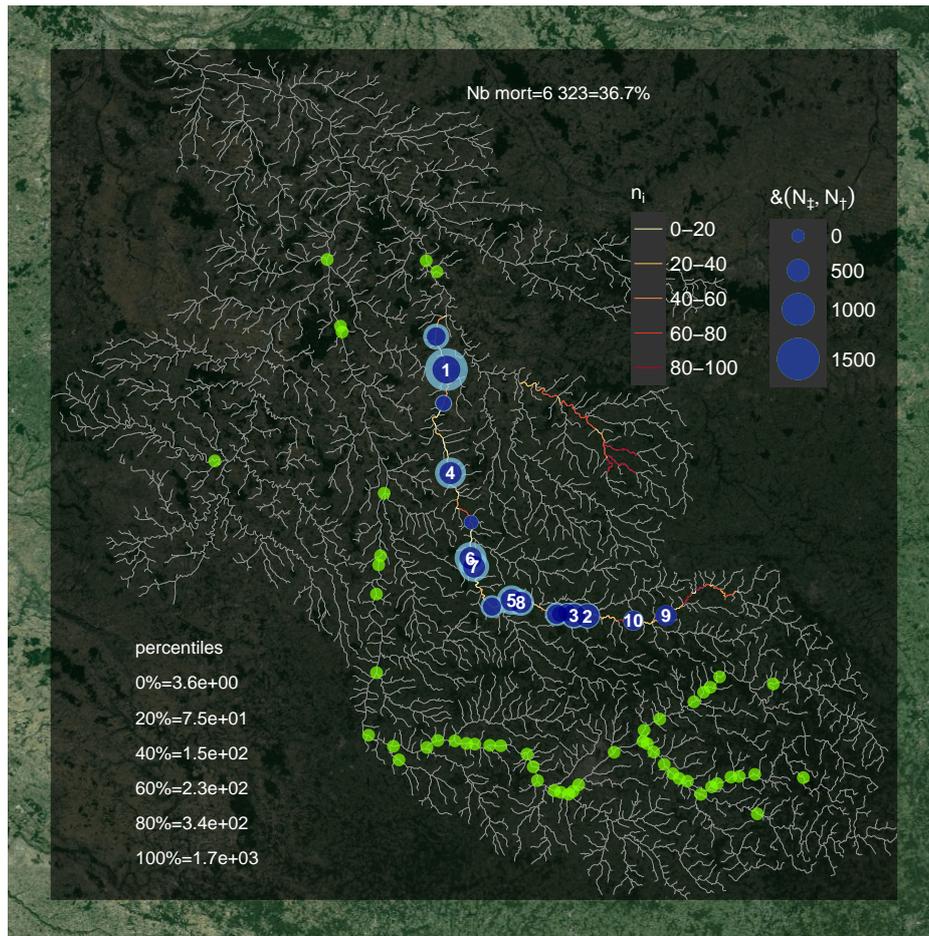


FIGURE N.10 – Nombre de smolts dévalants par *tronçon hydrographique* et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de la Vienne dans le cadre du scénario de *production modélisée actuelle*, cercle extérieur (bleu clair)= N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_+ = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

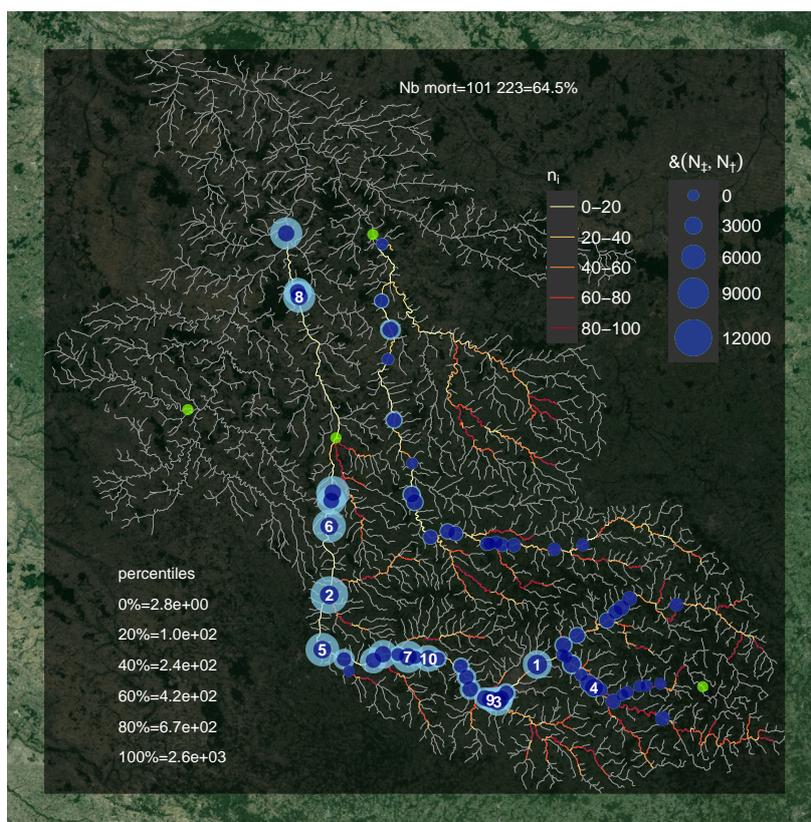


FIGURE N.11 – Nombre de smolts dévalants par tronçon hydrographique et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin de la Vienne dans le cadre du scénario de production modélisée sans barrage, cercle extérieur (bleu clair)= N_+ mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_+ = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

N.5 Le Blavet

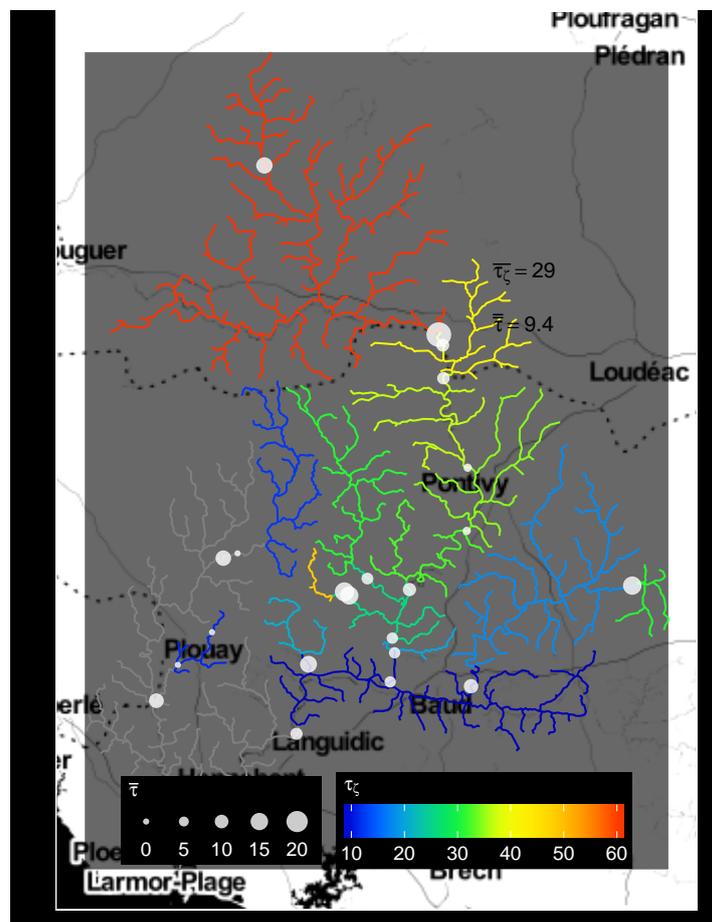


FIGURE N.12 – Estimation du taux de mortalité par les ouvrages hydroélectriques pour les smolts sur le sous bassin du Blavet. τ_c = Pourcentage cumulé de mortalité lors de la dévalaison, $\bar{\tau}$ = pourcentage de mortalité moyen au passage des ouvrages hydroélectriques (smolts), $\bar{\tau}_c$ = moyenne des τ_c sur le bassin, $\bar{\tau}$ = moyenne des mortalités par ouvrage du bassin.

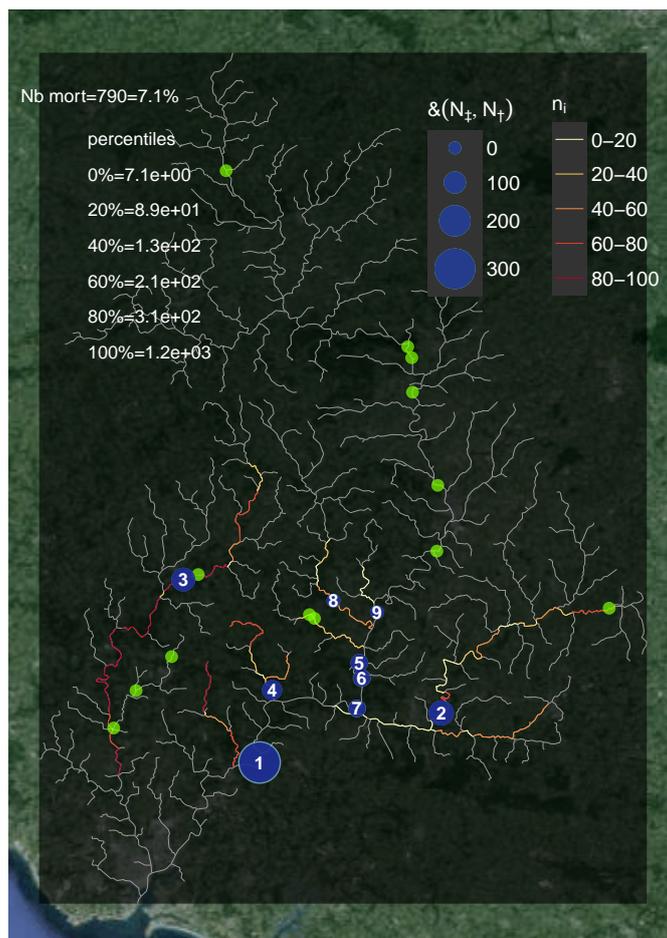


FIGURE N.13 – Nombre de smolts dévalants par *tronçon hydrographique* et mortalité estimée dans les ouvrages hydroélectriques sur le sous bassin du Blavet dans le cadre du scénario de *production modélisée actuelle*, cercle extérieur (bleu clair)= N_{\dagger} mortalité potentielle, cercle intérieur (bleu foncé) N_{\dagger} = mortalité réelle. En vert= pas de mortalité.

