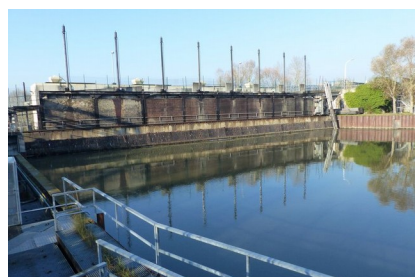


IMPACT A LA DÉVALAISON DE L'ANGUILLE DES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DE GRANDE CAPACITÉ DE L'AVAL DE LA SEINE

Rapport de synthèse

Décembre 2016



Partenaires de l'étude



Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V0	01/12/2016 09/12/2016	Rédaction Fanny GUILLOT et Zéphyre THINUS, Relecture Pierre BERNAT-Y-VICENS
V1	20/01/2017 23/01/2017	Intégration des remarques du COPIL du 12 janvier 2017 Relecture Pierre BERNAT-Y-VICENS

Affaire suivie par

Zéphyre THINUS - CEREMA / DTer Normandie-Centre / Département Aménagement durable des Territoires / Groupe Environnement Énergie / Littoral
Tél : 02 35 68 82 28
Courriel : zephyre.thinus@cerema.fr
Site de Rouen : Cerema Direction territoriale Normandie-Centre – 10, chemin de la poudrière – CS 90245 – 76 121 Le Grand-Quevilly cedex

Références

n° d'affaire : C16RA0066

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Zéphyre THINUS – CEREMA / DterNC / DADT / GEEL Fanny GUILLOT – CEREMA / DterNC / DADT / GEEL	1 ^{er} décembre 2016	
Contrôlé par	Pierre Bernat-y-Vicens – CEREMA / DterNC / DADT	24 janvier 2017	

Résumé de l'étude :

Cette étude vise à évaluer les mortalités d'anguilles argentées lors de la dévalaison au niveau des différents aménagements hydroélectriques équipant l'aval du bassin de la Seine, ceci dans le but de mieux appréhender l'impact de chacune des centrales et d'apprécier les effets cumulés de ces aménagements. Elle vise ensuite à évaluer l'impact supplémentaire que présenterait l'implantation de nouveaux projets. Elle vise enfin à définir des solutions pour limiter les mortalités d'anguilles argentées par les centrales hydroélectriques.

La première partie présente le bassin de la Seine, le cycle biologique de l'anguille et les aménagements hydroélectriques pris en compte (3 centrales hydroélectriques de l'aval de la Seine actuellement en fonctionnement à Poses, Notre Dame la Garenne et Méricourt, et 7 projets de développement répartis sur la Seine de Poses à Bougival et sur la Marne à Meaux).

La seconde partie présente l'évaluation des mortalités d'anguilles à la dévalaison en situation actuelle et en situation avec projets. Cette évaluation est basée sur une modélisation du phénomène de dévalaison intégrant la répartition des anguilles argentées dans le bassin de la Seine, l'hydrologie en période de dévalaison, le comportement et l'échappement des anguilles au droit des aménagements et l'estimation des mortalités dans les turbines dépendant des caractéristiques des centrales.

Sur les 122 tonnes d'anguilles argentées produites en 2012 à l'échelle de la Seine et ses affluents, 63 tonnes, soit plus de la moitié, sont produites en amont de l'ouvrage de Poses.

En situation actuelle, sur ces 63 tonnes, les mortalités sont variables et dépendent très fortement de l'hydrologie pendant la période de dévalaison. En moyenne sur les 6 périodes de dévalaison modélisées de 2010 à 2016, les mortalités sont estimées à 7,8 tonnes, soit 12 % de la biomasse produite en amont de Poses. Les années avec des débits élevés en période de dévalaison favorisant l'échappement par les ouvrages de décharge, les mortalités baissent à 4,4 tonnes (7 % des 63 tonnes amont Poses). Les années avec des débits faibles, les mortalités atteignent 19,6 tonnes (31 % des 63 tonnes amont Poses). En revanche, il n'y pas de différence significative de mortalité entre les centrales du fait de caractéristiques proches.

Sur les 7 projets, 4 ne présentent pas d'impact à la dévalaison de par la mise en place de turbines ichtyocompatibles. L'estimation globale des mortalités supplémentaires qu'engendrerait l'implantation des 3 autres projets est en moyenne sur les 6 années modélisées de 2 tonnes, soit une augmentation de 26 % de l'impact actuel en biomasse.

Après avoir rappelé les solutions existantes pour éviter ou réduire les mortalités dans les centrales hydroélectriques (prises d'eau ichtyocompatibles, turbines ichtyocompatibles, arrêts de turbinage ciblés, capture et transport ...), la dernière partie présente les solutions les plus adaptées pour les 3 centrales hydroélectriques de grande capacité de l'aval de la Seine. En outre, des propositions d'optimisation des projets sont formulées pour éviter ou réduire au maximum les impacts dès leur conception.

Table des matières

1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....	6
2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....	8
2.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU BASSIN.....	8
2.2 SECTEUR D'ÉTUDE.....	9
2.3 BIOLOGIE DE L'ANGUILLE.....	9
2.4 LES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DE GRANDE CAPACITÉ DE L'AVAL DE LA SEINE.....	11
3 ESTIMATION DES MORTALITÉS A LA DÉVALAISON SUR LES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DE GRANDE CAPACITÉ DE L'AVAL DE LA SEINE.....	17
3.1 PRÉSENTATION DES PRINCIPES DE LA MODÉLISATION.....	17
3.2 DONNÉES D'ENTRÉE UTILISÉES DANS LA MODÉLISATION.....	18
3.2.1 La répartition des anguilles argentées dans le bassin de la Seine.....	18
3.2.2 La taille des anguilles et sex-ratio.....	21
3.2.3 Mise en perspectives des estimations d'anguilles argentées en nombre, en biomasse et en fécondité.....	22
3.2.4 La période de dévalaison.....	23
3.2.5 L'hydrologie en période de dévalaison.....	23
3.2.6 Le comportement et l'échappement des anguilles au droit des aménagements.....	25
3.2.7 L'estimation de la mortalité dans les turbines.....	26
3.2.8 Les caractéristiques des centrales concernées.....	27
3.3 MODÉLISATION.....	28
3.3.1 Données d'entrées.....	28
3.3.2 Calculs des pertes par classe de taille, assemblage des classes de tailles et calcul des pertes en nombre, en poids et en quantité d'œufs.....	29
3.4 RÉSULTATS.....	29
3.4.1 Impact des centrales existantes.....	29
3.4.2 Impact supplémentaire en cas de nouveaux équipements hydroélectriques sur la Seine et la Marne.....	34
4 SOLUTIONS ET PRÉCONISATIONS POUR LIMITER LES DOMMAGES SUR LES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES CONCERNÉES.....	42
4.1 LES SOLUTIONS POTENTIELLES.....	42

4.2 LES SOLUTIONS ENVISAGEABLES SUR LES CENTRALES EXISTANTES DE L'AVAL DE LA SEINE.....	46
4.3 LES SOLUTIONS ENVISAGEABLES SUR LES CENTRALES DES PROJETS DE DÉVELOPPEMENT SUR LA SEINE ET LA MARNE.....	47
5 DISCUSSIONS ET CONCLUSION.....	48
BIBLIOGRAPHIE.....	51
ANNEXES.....	53

PRÉAMBULE

Cette étude a été réalisée par la Direction Territoriale Normandie Centre du Cerema avec :

- le concours technique de la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie d'Île-de-France,
- le concours technique de l'Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Direction Inter Régionale Nord-Ouest, pôle Ecohydraulique de Toulouse et pôle Gestion des écosystèmes aquatiques en territoire agricole de Rennes),
- le concours technique de l'association Seine Normandie-Nord Migrateur,
- le concours technique et financier de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Nous tenons à remercier :

- Les propriétaires des aménagements pour leur participation à l'enquête sur les caractéristiques techniques des ouvrages et leur accueil lors de visites de terrain,
- Dominique Courret de l'ONEMA, du pôle Ecohydraulique de Toulouse, pour les échanges en matières de solutions techniques pour la dévalaison de l'anguille pouvant être mises en œuvre sur les centrales de grandes capacités,
- Laurent Beaulaton de l'ONEMA, pôle Gestion des écosystèmes aquatiques en territoire agricole de Rennes, et Cédric Briand, pôle milieu naturel et animation bassin de Institution d'Aménagement de la Vilaine, pour la fourniture de la répartition des anguilles argentées estimée sur le bassin Seine Normandie par le modèle Eel Density analysis.

1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Après avoir subi un brusque effondrement dans les années 80, le stock d'anguilles européennes poursuit progressivement son déclin, à tel point que son niveau actuel menace la survie de l'espèce.

Cette situation semble résulter d'un ensemble de facteurs défavorables, notamment :

- l'inaccessibilité de certains cours d'eau suite à l'édification de barrages,
- la disparition des habitats favorables à l'espèce, notamment les marais côtiers,
- les mortalités dues à l'entraînement dans les turbines lors du retour vers l'océan,
- la grande sensibilité de l'espèce aux contaminants toxiques et aux produits phytosanitaires,
- une forte exploitation par la pêche, à tous les stades de vie,
- l'introduction récente d'un parasite (*Anguillicola crassus*) qui perturbe la migration marine des adultes.

Face à cette situation préoccupante, la Commission européenne a voté, en septembre 2007, un règlement européen qui institue des mesures de reconstitution du stock d'anguilles. L'objectif fixé par ce règlement européen est d'agir à court terme sur les principaux facteurs de mortalité et ce pour assurer à long terme un taux d'échappement vers la mer d'au moins 40 % de la biomasse pristine (biomasse théorique dans l'hypothèse d'une absence de contraintes anthropiques sur le milieu, étant difficilement évaluable la biomasse observée dans les années 80 sert de référence).

En application de ce règlement européen, la France a élaboré un « plan de gestion de l'anguille », approuvé en février 2010, contenant un socle national et des déclinaisons locales au sein d'unités de gestion de l'anguille (UGA). Le bassin Seine-Normandie constitue une des unités de gestion de l'anguille.

L'une des actions identifiées dans le plan de gestion anguille français est d'évaluer au niveau de chaque UGA l'impact des centrales hydroélectriques, en particulier sur la dévalaison, et de réduire si besoin leur impact.

Dans le bassin Seine-Normandie, un travail important de diagnostic de l'impact à la dévalaison des centrales hydroélectriques de petites et moyennes capacités a été réalisé de 2010 à 2015. Ceci a débouché sur des améliorations des prises d'eau des centrales présentant un impact significatif via notamment la mise en place de grille fines inclinées associées à la reconfiguration des exutoires de dévalaison. Fin 2015, la majeure partie des centrales hydroélectriques de petites et moyennes capacités sur la zone d'action prioritaire identifiée dans le plan de gestion de l'anguille n'engendrent plus de mortalité à la dévalaison de l'anguille.

Jusqu'alors, l'évaluation de l'impact à la dévalaison sur les centrales hydroélectriques de grandes capacités sur l'axe Seine n'a pas été réalisée. Le contexte sur ces sites n'est pas comparable aux micro-centrales. D'une part, les taux de mortalité dans les turbines sont en général plus faibles que ceux des micro-centrales. D'autre part, les solutions pour limiter le passage par les turbines mise en place sur les micro-centrales sont difficilement transposables compte tenu de la taille importante des structures des centrales de grandes capacités.

Fort de ce constat, le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) Seine-Normandie 2016-2021, document de référence en matière de gestion des poissons migrateurs, préconise la réalisation d'une étude permettant d'évaluer la mortalité de l'anguille à la dévalaison par usine et cumulée dans les grands équipements de la Seine, pour savoir si elle est admissible par rapport à ce qui est préconisé par le plan anguille, et, si nécessaire, définir des dispositions pour limiter la mortalité des anguilles dans ces turbines.

Au-delà d'une identification des risques à la dévalaison par usine, l'enjeu identifié en Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) est de savoir si le taux des mortalités cumulées engendré par les 3 usines en aval de Paris peut laisser la place à de nouveaux équipements hydroélectriques sur la Seine, l'Oise et la Marne au regard des obligations du « règlement Anguille ».

L'étude envisagée a pour **objectif** de proposer et de mettre en œuvre une méthodologie visant à :

- évaluer les dommages lors du passage des anguilles argentées en dévalaison au niveau des différents aménagements hydroélectriques équipant le bassin versant de la Seine ; ceci dans le but de mieux appréhender l'importance des problèmes sur chacune des centrales et d'apprécier les impacts cumulés de ces aménagements ;
- définir des dispositions pour limiter la mortalité des anguilles par les centrales hydroélectriques.

Pour répondre à ces objectifs, la présente étude s'est déroulée de juillet à décembre 2016 en 3 phases.

Phase 1 : Collecte de données

Cette phase, menée en partenariat avec l'ONEMA, a permis de collecter les données nécessaires à la

réalisation de l'étude sur la base d'une bibliographie sur le sujet, de la récupération des données de production estimées d'anguilles argentées, d'une enquête auprès des propriétaires des centrales de l'étude et d'une visite de terrain sur les sites.

Phase 2 : Construction d'un modèle de dévalaison intégrant les centrales hydroélectriques existantes et les projets de développement hydroélectriques et modélisation

Cette phase a consisté à établir un modèle schématisant la dévalaison des anguilles argentées au niveau de chaque aménagement depuis leur secteur de grossissement jusqu'à l'aval de la Seine en prenant en compte l'hydrologie en période de migration, les caractéristiques des aménagements et les probabilités de mortalité lors du transit dans les turbines.

Cette phase s'est appuyée sur des travaux comparables déjà réalisés sur d'autres bassins français, notamment ceux du gave de Pau (Voegtli et Larinier, 2008), du bassin de la Nive (Voegtli, 2010) et du Gave d'Oloron (Voegtli, 2014).

Le modèle de la présente étude intègre :

- l'évaluation de la production d'anguilles argentées estimée par le modèle Eel Density Analysis 2.2 pour le bassin de la Seine. Ce modèle a été développé notamment dans le cadre du Plan de Gestion Anguille français ;
- les conditions hydrologiques en période de migration (octobre à janvier) sur les années antérieures (octobre 2010 - janvier 2016) permettant de caler les hypothèses de répartition du contingent d'anguille dévalant sur la période de migration et d'obtenir sur chaque ouvrage la part des débits turbinés et déversés ;
- les caractéristiques des centrales hydroélectriques concernées et de leurs turbines (type de turbine, débit nominal, hauteur de chute nette, vitesse de rotation, nombre de pales, diamètre de la roue). Ces caractéristiques permettent d'évaluer les mortalités potentielles lors du transit des anguilles par chaque turbine.

Les estimations de mortalités ont été calculées :

- en situation existante avec les 3 centrales existantes.
- en situation avec projets intégrant les 3 centrales existantes et 7 projets de développement déposés au stade intention dans le cadre de l'appel à projet hydroélectricité de 2015.

Pour ces 2 situations, les estimations de mortalités sont présentées :

- de manière globale pour l'ensemble des ouvrages considérés permettant d'avoir une vision globale des pertes cumulées par effet de série ;
- par ouvrage, permettant de comparer les pertes estimées de chaque ouvrage.

La comparaison des 2 situations permet de déduire les pertes supplémentaires en cas d'implantation des 7 projets pris en compte.

Phase 3 : Identification de solutions pour limiter les dommages des centrales hydroélectriques et préconisation pour les projets de développement

En s'appuyant sur les retours d'expériences sur les sites comparables, un point a été fait sur les solutions pour limiter les dommages à la dévalaison des anguilles au droit des centrales existantes.

Des préconisations d'adaptation des projets de développement ont en outre été formulées.

Ce rapport restitue le travail réalisé et est articulé autour des chapitres suivants :

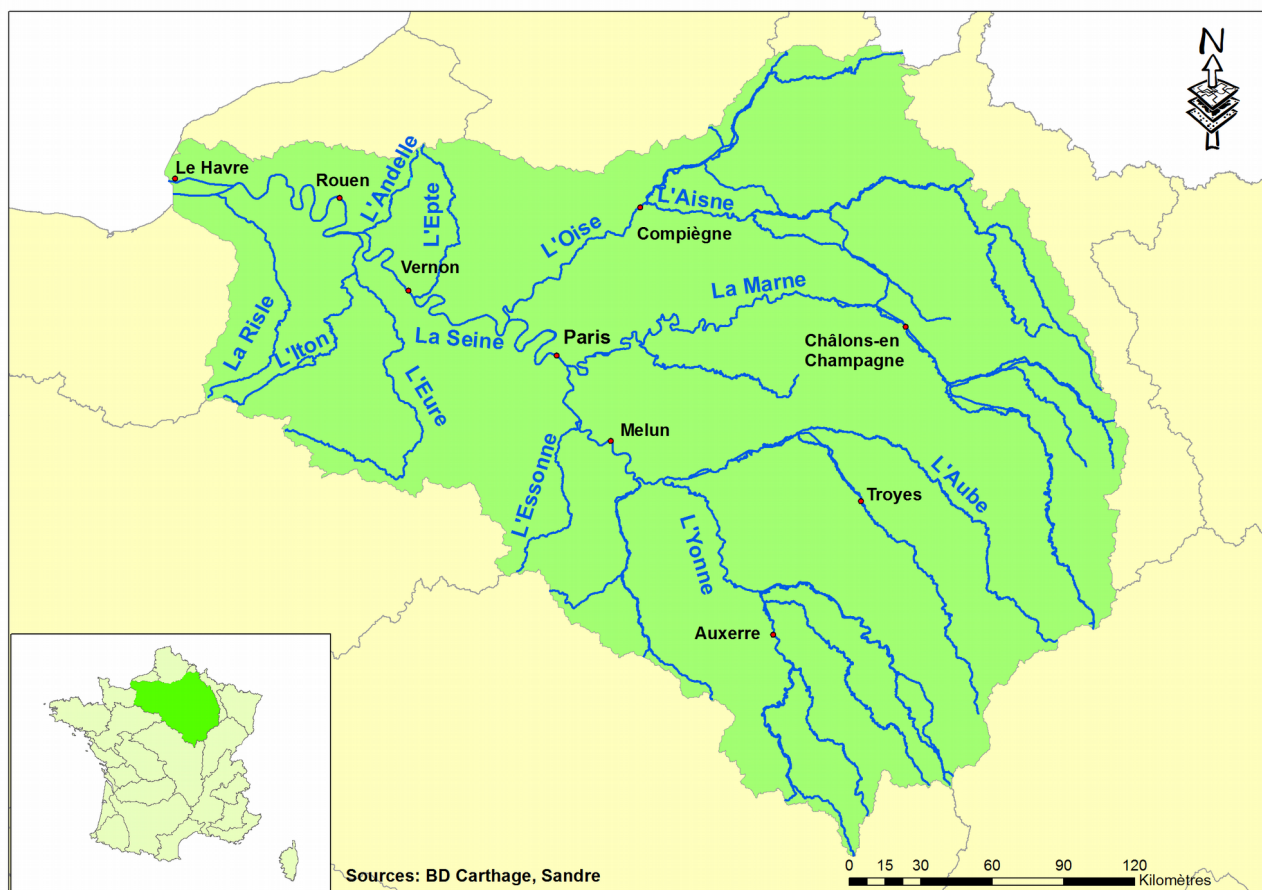
- une présentation générale : bassin versant de la Seine, cycle de vie de l'anguille, secteur d'étude et caractéristique des centrales ;
- l'estimation des mortalités d'anguilles argentées à la dévalaison : description de la modélisation, des données d'entrées utilisées, des résultats en situation actuelle et en situation future avec projets de développement de centrales ;
- l'examen de solutions pour limiter les dommages sur les centrales existantes et la formulation de proposition à prendre en compte dans le cadre des projets de développement pour éviter ou réduire les impacts sur la dévalaison de l'anguille ;

2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

2.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU BASSIN

La Seine prend sa source sur la commune de Source-Seine en Côte d'Or sur le plateau de Langres à une altitude de 450 mètres. Elle se jette dans la Manche après un parcours de 773,6 km.

Le bassin versant de la Seine a une orientation générale du Sud-Est au Nord-Est et s'étend sur 75 000 km² soit près de 14 % du territoire français. Ses principaux affluents sont l'Aube, la Marne, l'Oise et l'Epte en rive droite ainsi que l'Yonne, l'Eure et la Risle en rive gauche.



Présentation du bassin versant de la Seine

Les débits moyens interannuels (module) et l'évolution des débits moyens mensuels sont indiqués à titre indicatif dans le tableau suivant. Les données sont issues de la Banque hydro.

Stations	Module (m ³ /s)	Débits moyens mensuels (en m ³ /s)											
		J	F	M	A	Mai	J	Jt	A	S	O	N	D
Seine à Nod-sur-Seine (BV=371km ²)	5	8	9	7	5	4	3	2	1	2	3	5	8
Seine à Paris – Pont d'Austerlitz (BV=43800km ²)	312	513	550	463	406	303	210	160	139	142	201	269	406
Seine à Poses (BV=65000km ²)	538	845	907	784	724	525	377	317	266	271	354	452	663
Aisne à Trosly-Breuil (BV=7940 km ²)	65	110	118	105	97	63	44	35	26	24	32	48	86
Oise à Pont-Saint-Maxence (BV= 14200km ²)	109	172	187	170	153	108	76,70	63,4	49,7	47,5	61,6	87,7	142
Marne à Gournay-sur-Marne (BV= 12660 km ²)	109	180	182	157	133	90	68	60	56	59	79	99	146
Yonne à Coulon-sur-Yonne (BV=10700)	92	159	169	132	111	87	59	44	41	43	57	76	127

Evolution des débits moyens mensuels de la Seine à Nod-sur-Seine, Paris-Pont d'Austerlitz et Vernon, de l'Oise à Pont-Saint-Maxence, de la Marne à Gournays-sur-Marne, de l'Yonne à Coulon-sur-Yonne

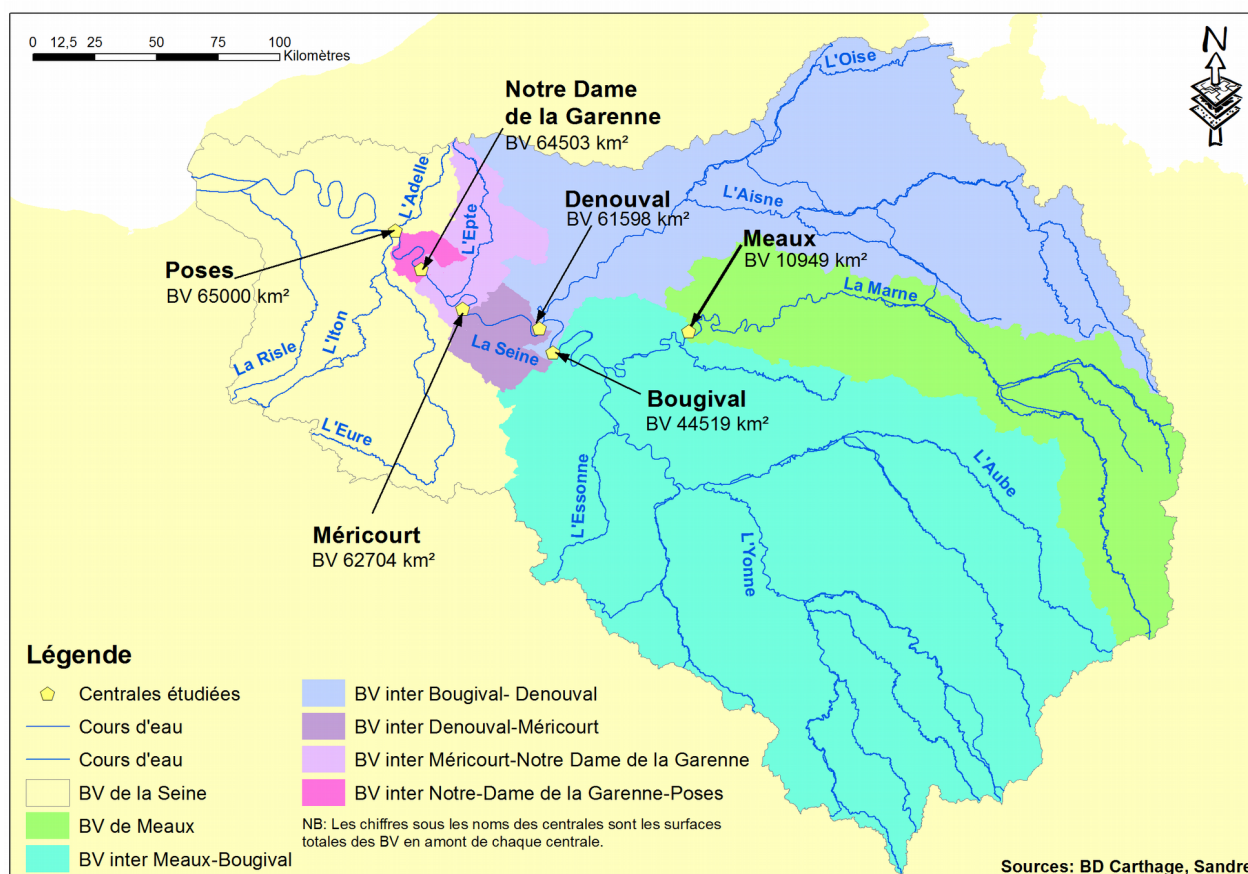
2.2 SECTEUR D'ÉTUDE

Le secteur concerné par l'étude est l'ensemble du cours d'eau Seine et ses affluents.

La production d'anguille argentée est analysée sur l'ensemble du cours de la Seine et de ses affluents.

Les estimations de mortalités à la dévalaison de l'anguille par les ouvrages hydroélectriques sont réalisées :

- d'une part pour les centrales hydroélectriques existantes de l'aval de la Seine à Méricourt, Notre Dame la Garenne et Poses ;
- d'autre part pour les projets de développement de centrales hydroélectriques sur la Marne à Meaux, et sur la Seine à Bougival, Denouval, Méricourt, Notre-Dame-la-Garenne et Poses (2 projets de développement).



Positionnement des ouvrages hydroélectriques actuels et des projets concernés par l'étude

2.3 BIOLOGIE DE L'ANGUILLE

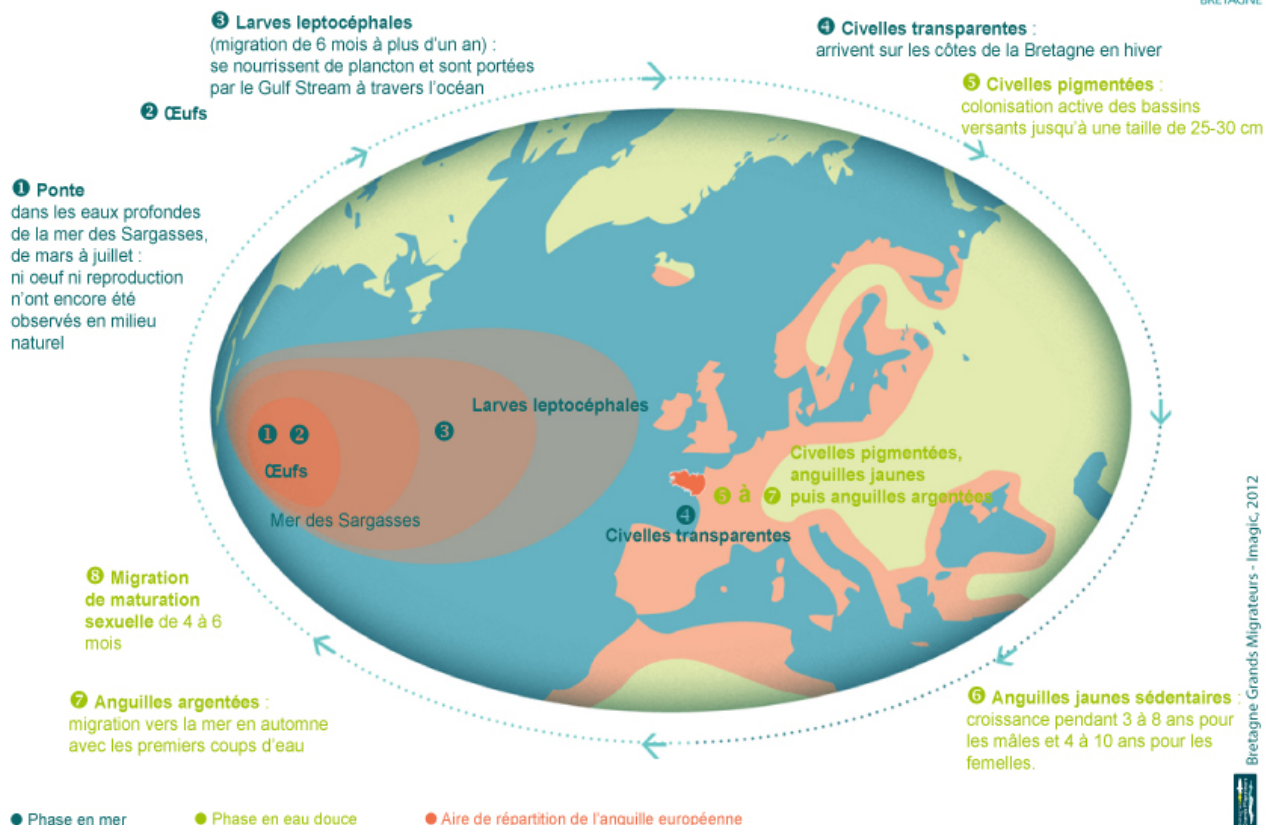
Rappel sur le cycle de vie de l'anguille européenne

Les anguilles adultes se reproduisent dans la mer des Sargasses située dans la partie centre-ouest de l'océan Atlantique. Les larves transparentes et pélagiques appelées leptocephales migrent ensuite passivement, grâce au Gulf Stream, vers les côtes européennes et d'Afrique du Nord, en passant par le pourtour méditerranéen.

À l'approche des côtes, les larves évoluent en anguilles transparentes appelées civelles.

Après s'être pigmentées, ces dernières se métamorphosent en anguilles jaunes (printemps-été) dans les eaux continentales ou littorales où elles vont croître pendant une dizaine d'années, de 3 à 15 ans, pour ensuite se transformer en anguilles argentées. Arrivées à leur maturation sexuelle, les anguilles argentées migrent depuis les bassins versants (automne-hiver) jusque dans la mer des Sargasses.

CYCLE BIOLOGIQUE DE L'ANGUILLE EUROPEENNE

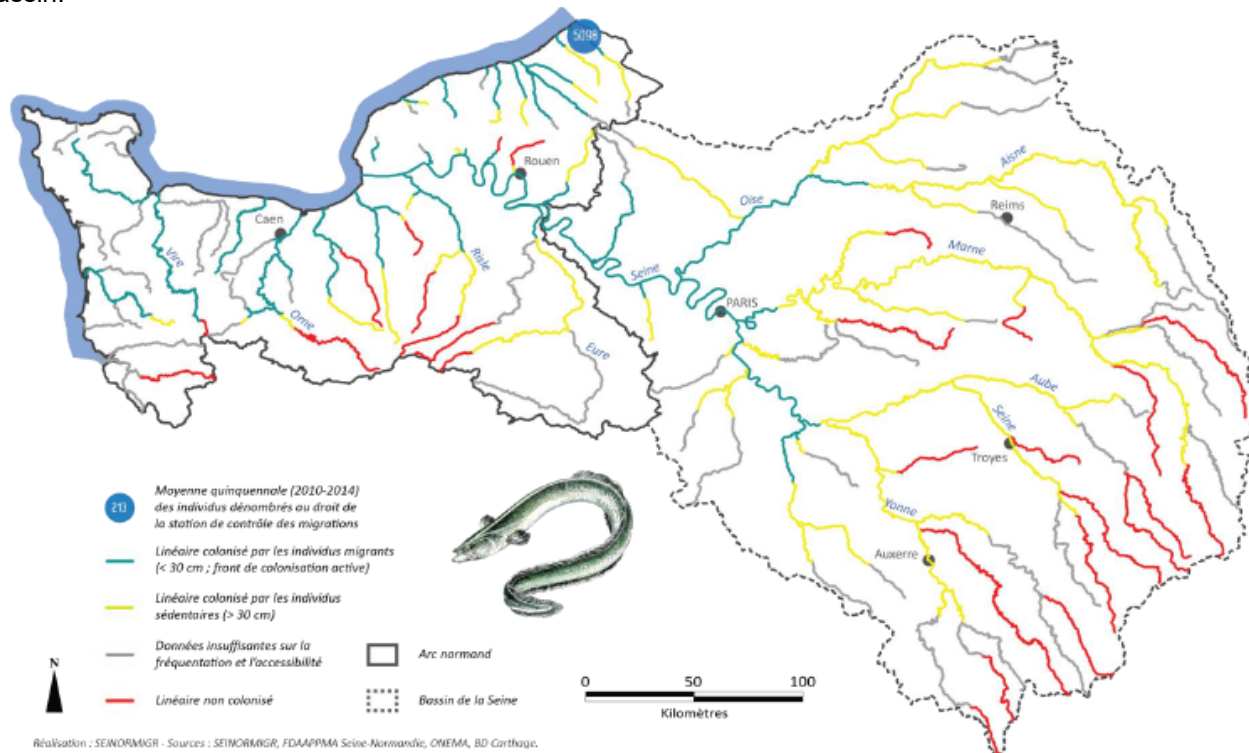


Bretagne Grands Migrateurs - Imagis, 2012

Cycle biologique de l'anguille Européenne (Source : Observatoire des poissons migrateurs Bretagne)

Répartition de l'anguille dans le bassin de la Seine

L'anguille Européenne est largement répandue dans les cours d'eau du bassin Seine-Normandie. Les densités observées sont plus fortes à proximité de la mer. Seuls des secteurs très à l'amont du bassin ne sont pas colonisés d'anguilles. Malgré cette large répartition, les densités restent faibles en moyenne sur le bassin.



Linéaires colonisés par l'anguille sur les cours d'eau du bassin Seine-Normandie (source : Plagepomi du bassin Seine-Normandie 2016-2021)

2.4 LES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DE GRANDE CAPACITÉ DE L'AVAL DE LA SEINE

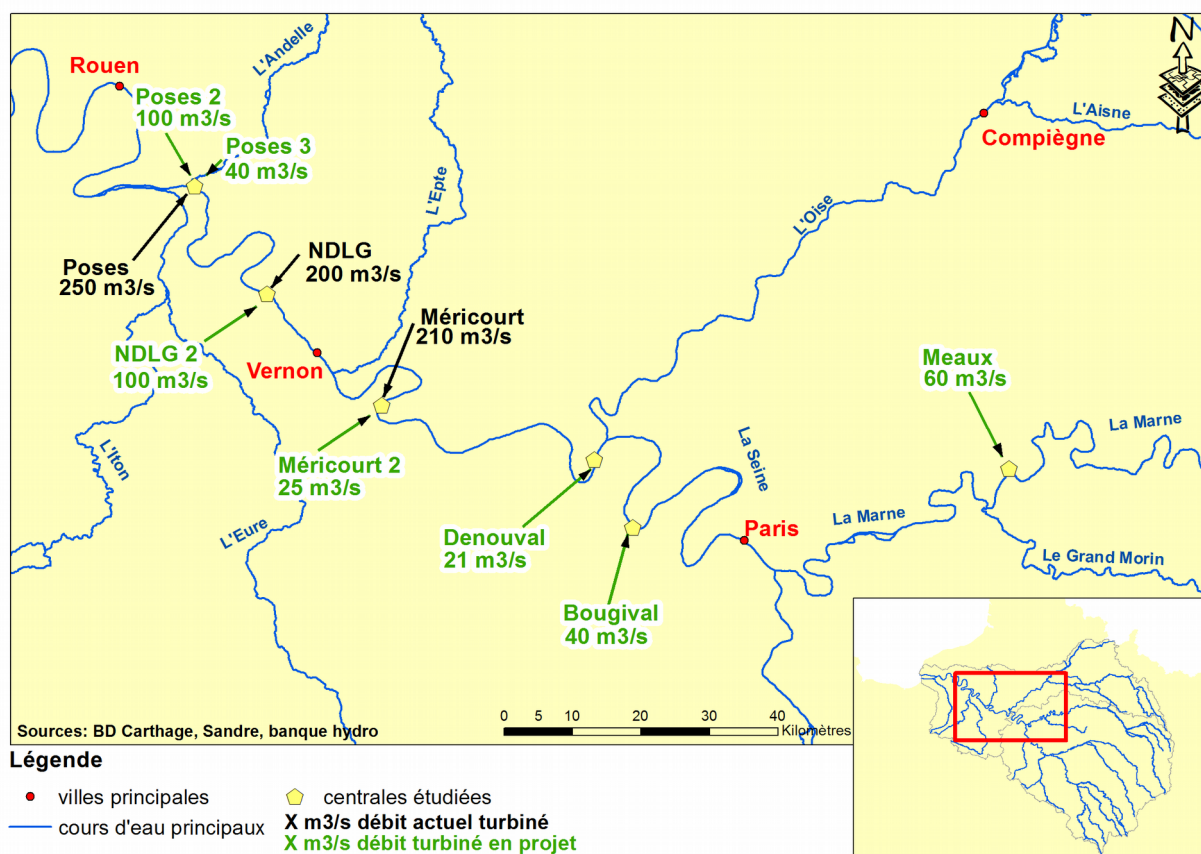
Actuellement 3 centrales sont en fonctionnement sur l'aval de la Seine. Il s'agit des centrales de :

- Méricourt, avec un débit turbiné de 210 m³/s, exploitée par ÉNERGIES FRANCE ;
- Notre Dame la Garenne, avec un débit turbiné de 200 m³/s, exploitée par UNIT ENERGY ;
- Poses, avec un débit turbiné de 250 m³/s, exploitée par UNIT ENERGY.

7 projets de développement sont pris en compte dans l'étude. Il s'agit des projets de centrales de :

- Meaux, sur la Marne, avec un débit turbiné de 60 m³/s, porté par VNF ;
- Bougival, sur la Seine, avec un débit turbiné de 40 m³/s, porté par VNF ;
- Denouval, sur la Seine, avec un débit turbiné de 21 m³/s, porté par VNF ;
- Méricourt 2, sur la Seine, avec un débit turbiné de 25 m³/s, porté par VNF ;
- Notre Dame La Garenne 2, sur la Seine, avec un débit turbiné de 100 m³/s, porté par VNF ;
- Poses 2, sur la Seine, avec un débit turbiné de 100 m³/s, porté par UNIT ENERGY ;
- Poses 3, sur la Seine, avec un débit turbiné de 40 m³/s, porté par VNF ;

Il s'agit de projets qui ont fait l'objet d'un dépôt de dossier courant été 2016 pour précadrage environnemental, dans le cadre de l'appel à projets hydro-électricité du MEDDE de juillet 2016. Cette liste ne préjuge pas du de la suite qui a pu être donnée par les porteurs de projets, et notamment de l'abandon de certains d'entre eux.



Zoom sur le positionnement des centrales hydroélectriques actuelles de l'aval de la Seine et les projets de développement

Description par site des centrales existantes et des projets (de l'aval vers l'amont)

Concernant les centrales existantes, les données ont été recueillies par enquêtes auprès des propriétaires et d'une visite sur chaque site. L'efficacité des exutoires de dévalaison et les taux de mortalités ont été définis sur la base de la bibliographie. Ces points sont détaillés dans la suite du rapport.

Concernant les projets, les caractéristiques précises sont à ce stade non connues. Les valeurs indiquées sont des valeurs cohérentes au regard des débits turbinés et des hauteurs de chutes permettant d'obtenir une approximation des taux de mortalités potentiels. Ainsi les résultats obtenus ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur. Cette approche, sans donner des résultats robustes, fournit les grandes

tendances de mortalités supplémentaires potentiellement engendrées par les nouveaux projets hydroélectriques.

Des schémas de principe des différents types de turbines mentionnées dans l'étude sont placés en annexe.

Poses

La centrale actuelle de Poses est située en rive gauche du barrage. Elle exploite un débit de $250 \text{ m}^3/\text{s}$, sous une hauteur de chute de l'ordre de 4,5 m. Elle est équipée de 4 turbines kaplan ($62 \text{ m}^3/\text{s}$ pour chacune d'entre elles) similaires de diamètre 3,62 m et tournant à environ 76 tr/min. Les taux de mortalité potentielle sont estimés à respectivement 8 %, 14 %, 20 %, 28 % pour des tailles d'anguille de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm.

Le plan de grille de la prise d'eau a une largeur d'environ 47 m, une profondeur immergée de 6 m, un espacement inter-barreaux de 9 cm. Il y a 2 exutoires de dévalaison de surface (1 sur chaque rive) servant par ailleurs pour alimenter le dispositif d'oxygénation. Le débit des exutoires est estimé à environ $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le site est équipé d'une passe à montaison à bassins successifs d'un débit de $0,850 \text{ m}^3/\text{s}$ avec débit d'attrait à l'aval de l'ordre de $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Une passe spécifique pour la montaison des anguilles a été installée.



Vue aérienne du barrage de Poses, source : géo-portail, novembre 2016

2 projets sont envisagés sur Poses.

Le 1^{er} projet de centrale est situé en rive droite de Seine. Le projet prévoit l'implantation d'un groupe bulbe (turbine Kaplan) turbinant $40 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de chute est de 4,95 m au module. En l'absence de données fournies sur les caractéristiques de la turbine, les valeurs suivantes ont été fixées dans l'étude : vitesse de rotation 120 tr/min, diamètre 3 m, nombre de pale 4. Pour ces valeurs, les taux de mortalité potentielle des turbines sont estimés à respectivement 12 %, 20 %, 29 %, 41 % pour des tailles d'anguille de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm.

A ce stade aucun élément n'est fourni concernant le plan de grille de prise d'eau, les exutoires et autres dispositifs pour la dévalaison.

Le 2^{er} projet de centrale est situé en rive gauche de Seine. Le projet prévoit l'implantation de 4 groupes water wing (turbine Kaplan) turbinant chacun $25 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un total de $100 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de chute est de 4,5 m au module. Suite à l'entretien avec le porteur de projet, les valeurs suivantes ont été fixées dans l'étude: vitesse de rotation 100 tr/min, diamètre 2,5 m, nombre de pale 4. Pour ces valeurs, les taux de mortalité potentielle des turbines sont estimés respectivement à 14 %, 22,5 %, 33 %, 46 % pour des tailles d'anguille de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm.

Le projet prévoit l'équipement de la prise d'eau de grilles avec espacement des barreaux de 2 cm. Ce type

de grille permet un arrêt des anguilles de grandes tailles. L'efficacité prise dans l'étude est respectivement de 0 %, 15 %, 72,5 %, 97,5 % d'arrêt pour les anguilles de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm (les abaques conduisant à ces résultats sont présentées dans la suite du rapport).

Notre Dame La Garenne

La centrale de Notre Dame La Garenne est située en rive droite du barrage. Elle exploite un débit de 200 m³/s, sous une hauteur de chute de l'ordre de 3,8 m. Elle est équipée de 4 turbines kaplan (48 m³/s pour chacune d'entre elles) similaires de diamètre 3,7 m et tournant à environ 76 tr/min. Les taux de mortalité potentielle des turbines sont estimés à respectivement 9 %, 14 %, 21 %, 29 % pour des tailles d'anguille de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm.

Le plan de grille de la prise d'eau a une largeur d'environ 50 m, une profondeur immergée de 7 m, un espacement inter-barreaux de 9 cm. Il y a un exutoire de surface spécifique à la dévalaison, en rive gauche, d'un débit de l'ordre de 10 m³/s. Le débit est canalisé vers l'aval et déversé au niveau d'un dispositif « d'oxygénation ».

Le site est équipé d'une passe à montaison à bassins successifs d'un débit de l'ordre de 0,850 m³/s avec débit d'attrait à l'aval de l'ordre de 3 m³/s.



Vue aérienne du barrage de Notre Dame la Garenne, source : géo-portail, novembre 2016

Le projet de centrale de Notre Dame la Garenne est situé en rive gauche de Seine. Le projet prévoit l'implantation de 2 turbines VLH turbinant chacune 50 m³/s, soit un total de 100 m³/s. La hauteur de chute est de 3,3 m au module. Ce type de turbine ne présente pas de mortalité à la dévalaison.

Méricourt

La centrale actuelle de Méricourt est située en rive droite du barrage. Elle exploite un débit de 210 m³/s, sous une hauteur de chute de l'ordre de 3,9 m. Elle est équipée de 3 turbines kaplan (70 m³/s pour chacune d'entre elles) similaires de diamètre 4,2 m et tournant à environ 80 tr/min. Les taux de mortalité potentielle des turbines sont estimés à respectivement 8 %, 13 %, 20 %, 28 % pour des tailles d'anguille de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm.

Le plan de grille de la prise d'eau a une largeur d'environ 40 m, une profondeur immergée de 7m, un espacement inter-barreaux de 9 cm. Il n'y a pas d'exutoire spécifique à la dévalaison. Un canal « d'oxygénation » en rive droite de la prise d'eau, dérive 30 m³/s vers l'aval. Compte tenu de sa disposition, ce canal ne permet pas un passage significatif pour la dévalaison.

Le site est équipé d'une passe à montaison à bassins successifs d'un débit de l'ordre de 1 m³/s avec débit d'attrait à l'aval de l'ordre de 3 m³/s. Des travaux sont programmés pour optimiser ce dispositif (diminution et rééquilibrage des chutes inter-bassin, diminution de la puissance dissipée, création d'orifices noyés pour les petites espèces, mise en place de rugosité sur le fond des bassins...)



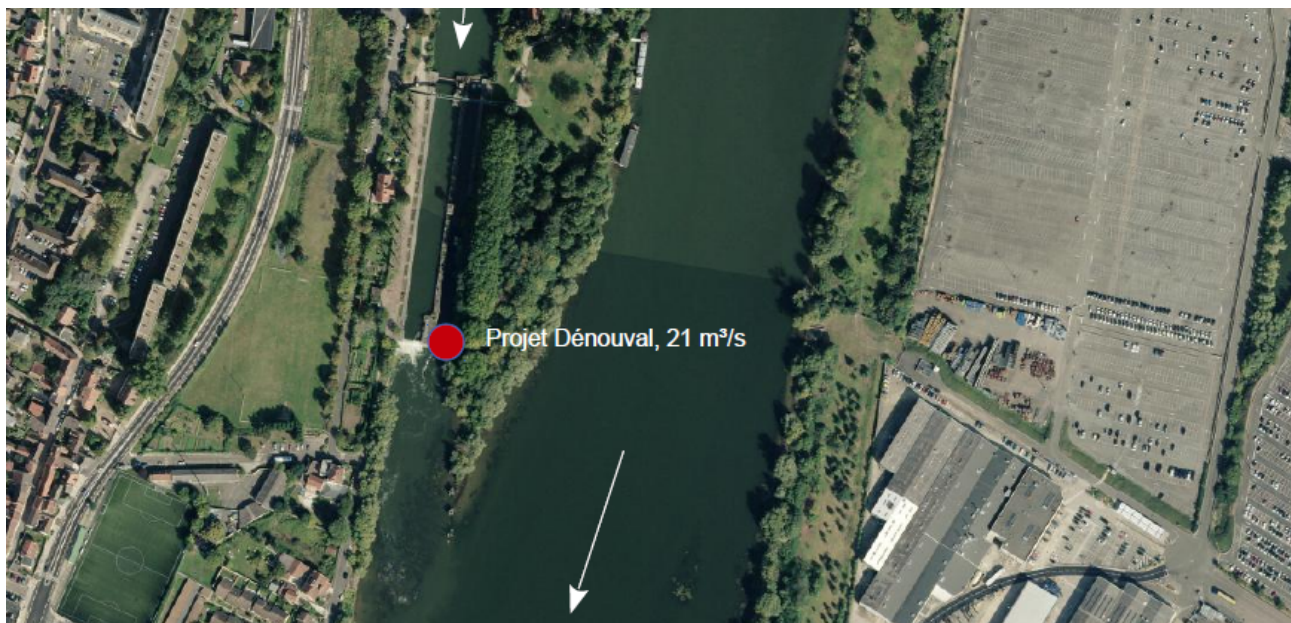
Vue aérienne du barrage de Méricourt, source : géo-portail, novembre 2016

Le projet de centrale de Méricourt est situé en rive gauche de la Seine. Le projet prévoit l'implantation d'un groupe bulbe (turbine Kaplan) turbinant $25 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de chute est de 3,9 m au module. En l'absence de données fournies sur les caractéristiques de turbines, les valeurs suivantes ont été fixées dans l'étude: vitesse de rotation 100 tr/minute, diamètre 2,5 m, nombre de pale 4. Pour ces valeurs, les taux de mortalité potentielle de la turbine sont estimés à respectivement 12 %, 20 %, 29 %, 41 % pour des tailles d'anguille de 375mm, 525mm, 675mm, 850mm.

A ce stade aucun élément n'est fourni concernant le plan de grille de prise d'eau, les exutoires et autres dispositifs pour la dévalaison.

Dénouval

Le projet de centrale de Dénouval est située en rive gauche de Seine. Le projet prévoit l'implantation d'une turbine VLH turbinant $21 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de chute est de 2,3 m au module. Ce type de turbine ne présente pas de mortalité à la dévalaison.



Vue aérienne de l'écluse de Dénouval, source : géo-portail, novembre 2016

Bougival

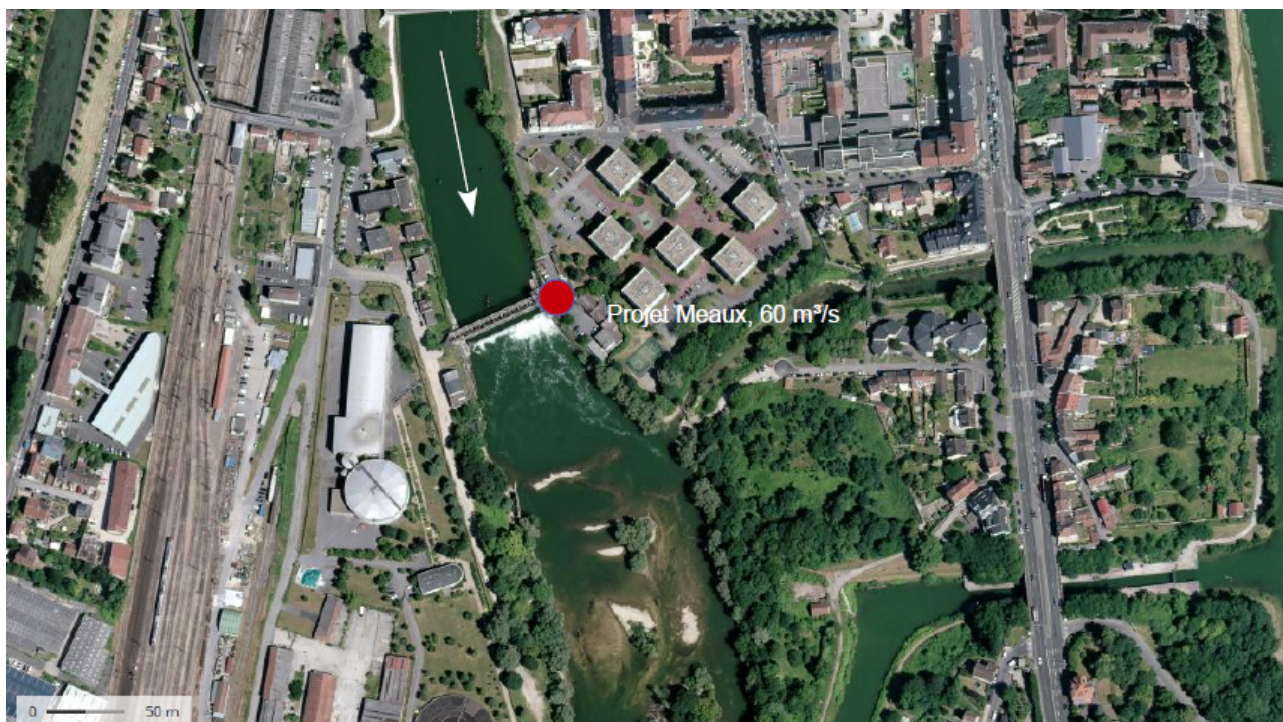
Le projet de centrale de Bougival est située entre 2 bras de Seine. Le projet prévoit l'implantation de 2 turbines VLH turbinant chacune $20 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un total de $40 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de chute est de 2,96 m au module. Ce type de turbine ne présente pas de mortalité à la dévalaison.



Vue aérienne du barrage de Bougival, source : géo-portail, novembre 2016

Meaux

Le projet de centrale de Meaux est située en rive gauche du barrage. Le projet prévoit l'implantation de 3 turbines VLH turbinant chacune $20 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un total de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. La hauteur de chute est de 3,2 m au module. Ce type de turbine ne présente pas de mortalité à la dévalaison.



Vue aérienne du barrage de Meaux, source : géo-portail, novembre 2016

Le tableau de la page suivante synthétise les caractéristiques des centrales existantes et des projets.

Caractéristiques des aménagements hydrauliques en activité

		Caractéristiques générales													Dispositifs de franchissement										Caractéristiques des groupes							Mortalité anguille par usure (%)			
Codé ROE	Nom de l'usine	Commune	Département	Propriétaire	Régime	Module (m³/s)	Surface de bassin versant (km²)	Longueur avalée (m)	débit avalé (m³/s)	Longueur grille (m)	Puissance brute (kW)	Longueur plan de grille immergée (m)	Inclinaison plan de grille horizontale (°)	Epaisseur des barreaux (cm)	Epaisseur grille à la prise d'eau (cm)	Passe à l'anguille (ou/oui)	Ecure de déviation (ou/oui)	Débit avalé de déviation (m³/s)	Estimation efficacité pour l'anguille ang. 37,5 cm (%) ang. 52,5 cm	Estimation efficacité pour l'anguille ang. 52,5 cm (%) ang. 67,5 cm	Estimation efficacité pour l'anguille ang. 67,5 cm (%) ang. 85 cm	Nombre de groupes	Type	Débit tubéré par groupe (m³/s)	Hauteur de chute (m)	Vitesse de rotation (tr/min)	Niveau de prise au abais	diamètre anguille (m)	Taille anguille 37,5 cm	Taille anguille 52,5cm	Taille anguille 67,5 cm	Taille anguille 85 cm			
54754	Centrale de Maticourt	Maticourt	Yvelines	Energies France SAS (Soyes)	concession	503	62704	0	4	/	210	9700	39,9	7	88	0,1	9	oui	non	0	0%	0%	0%	3	Kaplan Rongée	70	210	3,9	80	4	4,2	8%	13,4%	20%	28%
52383	Centrale de Notre Dame La Garenne	Notre Dame la Garenne	Eure	UNIF ENERG DCJ Hugues Ababei	concession	523	64503	0	/	/	200	5750	50	7	79	0,1	9	oui	oui	10	0%	0%	0%	4	Kaplan	48	200	3,8	76	4	3,7	9%	14,2%	21%	29%
52354	Centrale de Poesi	Poesi	Eure	UNIF ENERG DCJ Hugues Ababei	concession	524	65000	0	/	/	250	9600	47	5,03	74	0,1	9	oui	oui	8,28	0%	0%	0%	4	Kaplan	62	250	4,5	76	4	3,62	8%	13,7%	20%	28%

Caractéristiques des aménagements hydrauliques en projet

		Caractéristiques générales												Dispositifs de franchissement												Caractéristiques des groupes												Mortalité anguille par usure (%)			
Codé ROE	Nom de l'usine	Commune	Département	Porteur projet	Régime	Module (m³/s)	Surface de bassin versant (km²)	Longueur avalée (m)	débit avalé (m³/s)	Longueur grille (m)	Puissance brute (kW)	Longueur plan de grille (m)	Inclinaison plan de grille horizontale (°)	Epaisseur des barreaux (cm)	Epaisseur grille à la prise d'eau (cm)	Passe à l'anguille (oui/non)	Ecureuil de dérivation (oui/non)	Débit avalé de dérivation (m³/s)	Estimation efficacité pour l'anguille ang. 37,5 cm (%) ang. 52,5 cm	Estimation efficacité pour l'anguille ang. 52,5 cm (%) ang. 67,5 cm	Estimation efficacité pour l'anguille ang. 67,5 cm (%) ang. 85 cm	Nombre de groupes	Type	Débit tubé par groupe (m³/s)	Hauteur de chute (m)	Vitesse de rotation (tr/min)	Niveau de prise au abais	diamètre anguille de la roue (m)	Taille anguille 37,5 cm	Taille anguille 52,5cm	Taille anguille 67,5 cm	Taille anguille 85 cm									
28733	Centrale de Mazon VNF	Mazon	Seine et Marne	VNF	/	97,4	10949	0	/	/	1500	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	V1H 4000	20	60	/	/	/	/	/	0%	0%	0%	0%							
61589	Centrale de Bougival VNF	Bougival	Yvelines	VNF	/	105	44519	0	/	/	1000	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2	V1H 4000	20	40	2,96	/	/	/	/	0%	0%	0%	0%							
54752	Centrale de Dreuval VNF	Dreuval	Yvelines	VNF	/	48 (sans le bassin versant)	61598	500	/	/	21	400	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	V1H 4000	21	21	2,3	/	/	/	/	0%	0%	0%	0%							
54754	Centrale de Maticourt VNF	Maticourt	Yvelines	VNF	/	503	62704	0	/	/	25	1000	/	/	/	/	/	/	/	0,0%	0,0%	0,0%	1	Groupe tubé Kaplan	25	25	3,9	100	4	2,5	12%	18,8%	29%	41%							
52383	Centrale de Notre Dame La Garenne VNF	Notre Dame la Garenne	Eure	VNF	/	523	64503	0	/	/	100	1000	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2	V1H 4000	50	100	3,3	/	/	/	/	0%	0%	0%	0%							
52354	Centrale de Poesi 2	Poesi	Eure	UNIF ENERGI (DG Hugues Ababei)	/	524	65000	0	/	/	100	4000	/	/	/	/	/	/	/	0%	15%	72,5%	4	Groupe tubé Kaplan	25	100	4,5	100	4	2,2	12%	20,3%	30%	42%							
52354	Centrale de Poesi VNF	Poesi	Eure	VNF	/	524	65000	0	/	/	40	2000	/	/	/	/	/	/	/	0,0%	0,0%	0,0%	1	Groupe tubé Kaplan	40	40	4,95	120	4	3	12%	19,7%	29%	41%							

* Données non définies à ce stade de développement des projets. Les valeurs indiquées sont des valeurs catégorielles au regard des étiages tubérés et des hauteurs de chutes permettant d'obtenir une approximation des taux de mortalités potentiels

3 ESTIMATION DES MORTALITÉS A LA DÉVALAISON SUR LES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DE GRANDE CAPACITÉ DE L'AVAL DE LA SEINE

Cette étude ne présente que les dommages induits lors du passage à travers les turbines des centrales hydroélectriques. Ne sont donc pas pris en compte d'autres aspects pouvant avoir des effets des barrages sur la dévalaison : retard de migration, mortalité au cours des chutes au barrage, exposition aux prédateurs dans les retenues et au pied des turbines...

3.1 PRÉSENTATION DES PRINCIPES DE LA MODÉLISATION

La figure suivante schématise la répartition des anguilles lors de la dévalaison au droit d'un barrage équipé d'une centrale hydroélectrique. Une partie des anguilles transite par la centrale hydroélectrique et une autre par les ouvrages de décharge (vannes...) et les ouvrages de navigation. La répartition dépend de la configuration du barrage, de l'ouvrage de prise d'eau, et de la répartition des débits transitant par les ouvrages de décharge et par le canal d'amenée de la centrale.

Ensuite au niveau de la centrale hydroélectrique, lorsqu'un ouvrage de dévalaison existe, une part des anguilles emprunte ce dispositif sans dommage. L'autre part transite par les turbines et subit un pourcentage de mortalité qui dépend des caractéristiques des turbines et de la taille des anguilles prises en compte. Les anguilles ayant survécu rejoignent celles qui ont transité par les ouvrages de décharge, les ouvrages de navigation éventuels, et les dispositifs spécifiques de dévalaison.

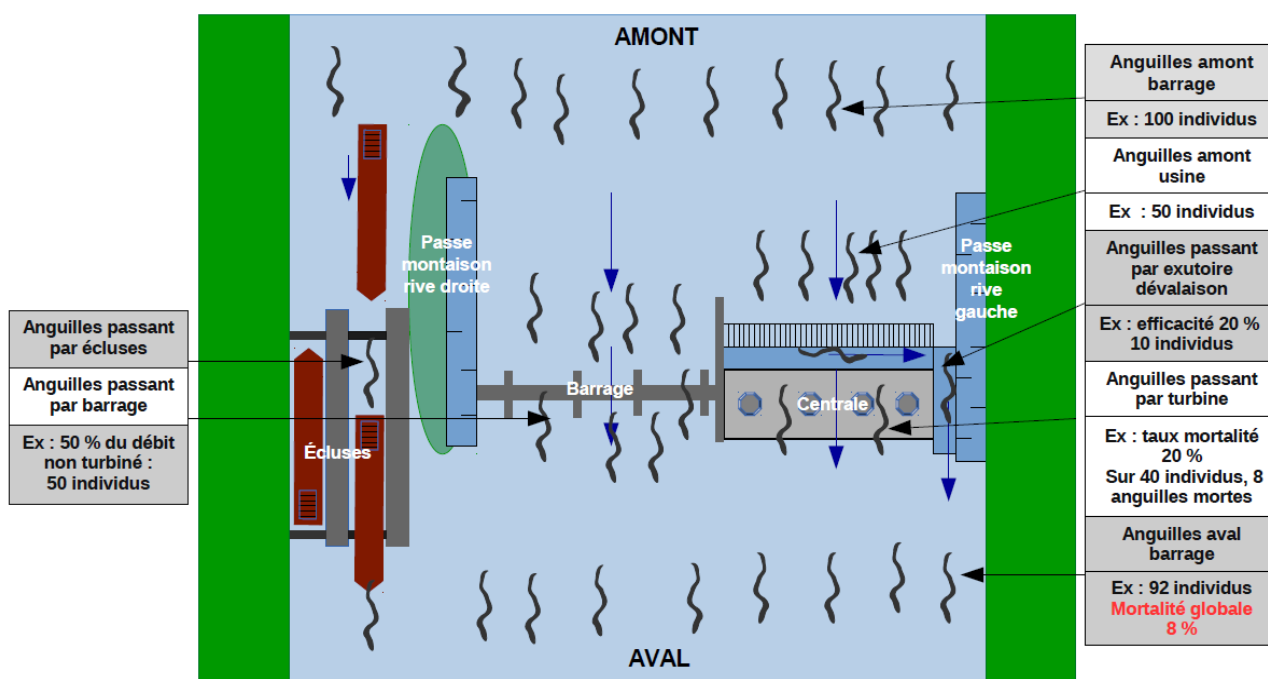


Schéma type de la dévalaison des anguilles argentées sur un ouvrage de la Seine aval (d'après Voegtli, 2014, modifié)

Le modèle consiste ainsi à simuler le transit des anguilles au niveau de chaque ouvrage pris en compte dans la zone d'étude et permet d'en déduire les pertes cumulées par effets de série lors de la dévalaison par l'ensemble des ouvrages pris en compte.

Les données nécessaires pour construire le modèle sont :

- la répartition des anguilles dévalant sur la zone d'étude considérée afin de déterminer le nombre d'individus susceptibles de se présenter au droit de chaque ouvrage ;
- au niveau de chaque ouvrage, la répartition des anguilles entre la centrale hydroélectrique et les ouvrages de décharges ou de navigation : ceci dépend des débits en période de migration, de la part des débits turbinés et déversés, et de la configuration des aménagements ;
- de l'efficacité des ouvrages éventuels de dévalaison : ceci dépend des espacements des grilles et de la configuration des exutoires de dévalaison lorsqu'ils existent et sont fonctionnels ;
- des pourcentages de mortalités potentiels des turbines. Ceci dépend notamment du type et des caractéristiques des turbines ainsi que de la taille des anguilles prises en compte.

3.2 DONNÉES D'ENTRÉE UTILISÉES DANS LA MODÉLISATION

3.2.1 La répartition des anguilles argentées dans le bassin de la Seine

La détermination de la répartition des anguilles dans le bassin de la Seine est fondée sur le modèle Eel Density Analysis (EDA 2.2, Briand et al, 2015) à partir duquel ont été sélectionnées géographiquement les données relatives au bassin de la Seine et à ses sous-bassins.

Présentation du modèle Eel density analysis (EDA 2.2)

Eel Density Analysis est un outil de modélisation s'appuyant sur un réseau hydrographique géo-référencé de France métropolitaine (Réseau Hydrographique Théorique RHT) qui permet de prédire les densités d'anguilles jaunes à partir des résultats de pêches électriques et d'en déduire l'échappement historique ou actuel d'anguilles argentées.

Plus précisément, l'approche EDA se décline en 5 étapes.

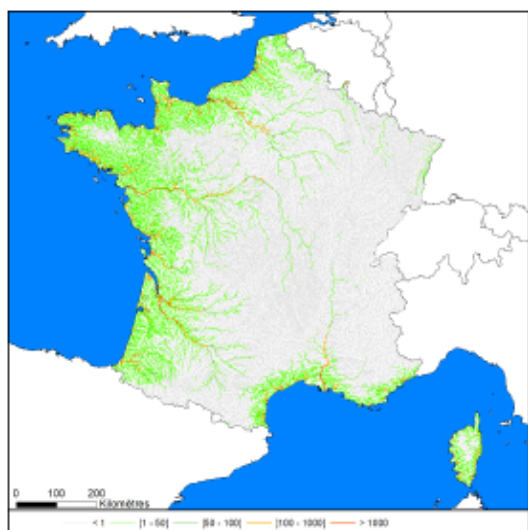
1. Relier les densités d'anguilles jaunes observées lors des pêches électriques à différents paramètres : protocole de pêche, caractéristiques environnementales, pression anthropiques.... ;
2. Extrapoler les densités d'anguilles jaunes dans chaque tronçon du réseau hydrographique en appliquant le modèle statistique élaboré calibré à l'étape 1 : calcul de densité par classes de taille et par an ;
3. Calculer l'abondance totale du stock d'anguilles jaunes en multipliant ces densités par la surface en eau des tronçons et en les additionnant ;
4. Calculer un échappement potentiel en convertissant le stock estimé d'anguilles jaunes en anguilles argentées : travail sur la probabilité d'argenture et le poids moyen d'une anguille argentée selon sa taille ;
5. Calculer l'échappement effectif et le meilleur échappement possible en prenant en compte les mortalités anthropiques.

La figure page suivante présente des résultats du modèle en nombre d'anguilles par tronçon RHT et par classes de taille.

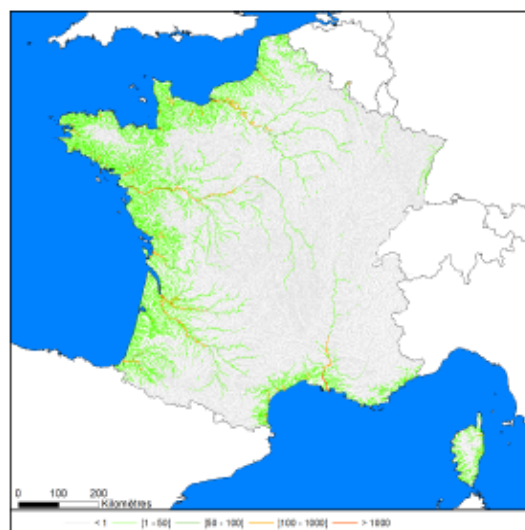
Méthodologie de calcul de la production d'anguilles argentées sur différents sous bassin de la Seine

Cette méthodologie s'appuie essentiellement sur un travail géomatique de sélection par secteurs d'étude et suit les étapes suivantes.

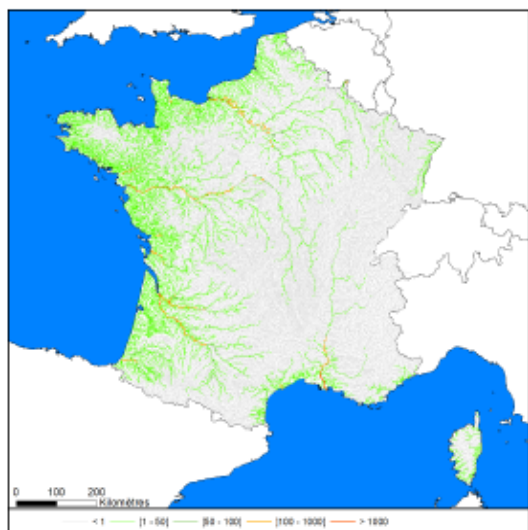
1. Préparation des données :
 - Récupération des zonages hydrographiques sur BD Carthage ;
 - Positionnement des ouvrages supportant les centrales de l'étude par sélection dans le référentiel des obstacles à l'écoulement ;
 - Sélection des données de productions d'anguilles argentées issues du modèle EDA2.2 comprises dans les régions hydrographiques de la Seine uniquement .
2. Délimitation des bassins versants inter-ouvrages par accumulation des bassins versants unitaires.
3. Calcul de la production d'anguilles argentées par bassin versant inter-ouvrage :
 - Agrégation des données de productions d'anguilles argentées issues du modèle EDA2.2 dans chaque bassin versant inter-ouvrage ;
 - Dans les cas où des redécoupages des tronçons du modèle EDA 2.2 ont été nécessaires, la production d'anguilles argentées a été réattribuée au prorata des linéaires.



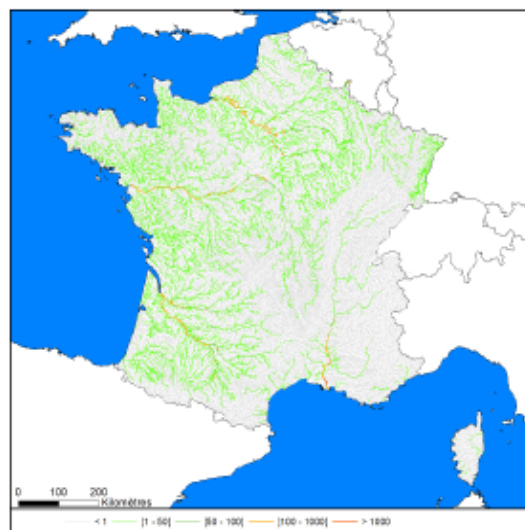
(a) ♂ 300-450 mm



(b) ♀ 450-600 mm



(c) ♀ 600-750 mm



(d) ♀ > 750 mm

Nombre d'anguilles argentées produites pour les classes de taille 300-450mm (mâle), 450-600 mm (petites femelles), 600-750 (grandes femelles), > 750mm (très grandes femelles) (source : rapport EDA2.2, 2015)

Les résultats sur le bassin de la Seine

Les tableaux suivants présentent les estimations de production d'anguilles argentées par secteur et par classe de taille **pour l'année 2012** en nombre puis en biomasse. Les calculs en nombre ont été réalisés par agrégation des données estimées sur les tronçons du modèle EDAD2.2 (Briand et al, 2015). La conversion en biomasse a été réalisée en appliquant un poids moyen par classe. Afin de disposer d'éléments de comparaison les données sont fournies pour des secteurs à l'aval du bassin notamment sur les cours d'eau de l'Arc Normand et pour certains affluents.

La production d'anguilles argentées estimées en 2012 sur le **bassin de la Seine** est d'environ 270 000 individus, pour une biomasse de 122 tonnes.

La partie du bassin de la **Seine et de ses affluents à l'amont du barrage de Poses** a une production estimée à environ 90 000 individus, pour une biomasse de 63 tonnes avec une part importante d'anguilles de grandes tailles et donc une part importante de femelles.

La partie du bassin de la **Seine et de ses affluents à l'aval du barrage de Poses** a une production estimée à environ 180 000 individus, pour une biomasse de 59 tonnes avec une part importante d'anguilles de petites tailles et une part importante de mâles.

A titre de comparaison la production d'anguilles argentées estimées sur l'ensemble des cours d'eau du bassin **Seine-Normandie et côtiers Normand** est d'environ 370 000 individus, pour une biomasse de 147

tonnes.

La **Risle**, **L'Eure** et **l'Andelle** sont 3 cours d'eau de la zone d'action prioritaire sur lesquels des mises aux normes dévalaison ont été réalisées au cours du premier plan de gestion anguilles 2010-2015. Sur ces 3 cours d'eau, la production totale estimée en 2012 est d'environ 4,5 tonnes, soit 3,7 % de la part de l'ensemble de Seine et ses affluents. Ces chiffres confirment l'enjeu à engager des actions plus largement sur la Seine et ses autres affluents.

Secteur	Classe de taille				Total	% du total Seine
	300-450 Mâle	450-600 Femelle	600-750 Femelle	>750 Femelle		
Potentialités par secteur (en nombre)						
Amont Meaux / Marne	797	645	1662	4504	7 608	2,8%
Amont Bougival sans Marne amont Meaux	4619	3532	6667	14401	29 219	10,9%
Denouval - Bougival	2968	2172	3655	6691	15 486	5,8%
Méricourt – Denouval	2990	2130	2397	2626	10 143	3,8%
Total amont Méricourt	11 374	8 479	14 381	28 222	62 456	23,2%
Notre Dame La Garenne – Méricourt	4 102	2 818	2 987	2 692	12 600	4,7%
Poses - Notre Dame La Garenne	5 638	3 770	3 937	2 993	16 339	6,1%
Total amont Poses	21 114	15 067	21 305	33 908	91 394	34,0%
Seine et affluents aval Poses	90 206	38 255	35 983	13 105	177 550	66,0%
Total bassin Seine	111 321	53 322	57 289	47 013	268 944	100,0%
Total bassin Seine-Normandie	175 835	75 780	69 181	50 004	370 800	137,9%
Arc Normand hors Seine et affluents Seine : différence bassin SN – Seine et affluents	64515	22457	11892	2991	101 855	37,9%
Risle	2257	1059	860	429	4 605	1,7%
Eure	1221	783	1004	1215	4 223	1,6%
Andelle	253	150	161	143	707	0,3%

Estimations du nombre d'anguilles argentées produites par secteur et par classe de taille pour l'année 2012

Secteur	Classe de taille				Total	% du total Seine
	300-450 Mâle	450-600 Femelle	600-750 Femelle	>750 Femelle		
Poids moyen de la classe (kg)	0,103	0,291	0,593	1,298		
Potentialités par secteur (en kg)						
Amont Meaux / Marne	82	188	986	5 846	7 102	5,8%
Amont Bougival sans Marne amont Meaux	476	1 028	3 954	18 692	24 150	19,8%
Denouval - Bougival	306	632	2 167	8 685	11 790	9,7%
Méricourt – Denouval	308	620	1 421	3 409	5 758	4,7%
Total amont Méricourt	1 172	2 467	8 528	36 632	48 799	40,0%
Notre Dame La Garenne – Méricourt	422	820	1 771	3 495	6 509	5,3%
Poses - Notre Dame La Garenne	581	1 097	2 335	3 885	7 898	6,5%
Total amont Poses	2 175	4 385	12 634	44 012	63 205	51,8%
Seine et affluents aval Poses	9 291	11 132	21 338	17 010	58 772	48,2%
Total bassin Seine	11 466	15 517	33 972	61 023	121 978	100,0%
Total bassin Seine-Normandie	18 111	22 052	41 024	64 905	146 092	119,8%
Arc Normand hors Seine et affluents Seine : différence bassin SN – Seine et affluents	6 645	6 535	7 052	3 883	24 115	19,8%
Risle	232	308	510	557	1 607	1,3%
Eure	126	228	595	1 577	2 526	2,1%
Andelle	26	44	95	186	351	0,3%

Estimations de la biomasse d'anguilles argentées produites par secteur et par classe de taille pour l'année 2012

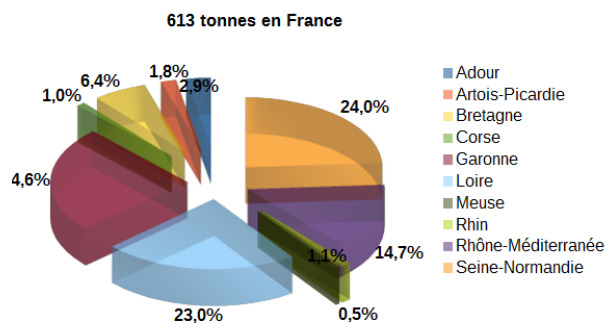
Il ressort de cette analyse que la biomasse d'anguilles argentées de la Seine est majeure au sein du bassin Seine-Normandie (122 tonnes sur 147 tonnes). En outre au sein du bassin de la Seine, la zone en amont de Poses représente un enjeu important car elle concentre plus de la moitié de la biomasse d'anguilles argentées produite (63 tonnes sur 122 tonnes).

Mise en perspective de la production d'anguilles argentées du bassin de la Seine avec les autres bassins français

Les biomasses d'anguilles argentées (en tonnes) prédites pour 2012 par le modèle EDA 2.2 sur les différentes Unités de Gestion de l'Anguille en France sont indiquées dans le tableau ci-après (source : rapport EDA 2.2, 2015).

Le bassin Seine-Normandie produit environ 25 % des anguilles argentées de la France. Les bassins de la Garonne et de la Loire ont une production du même ordre de grandeur. Ainsi l'unité de gestion Seine Normandie et notamment le cours d'eau Seine et ses affluents représentent un enjeu important dans la préservation de l'espèce anguille à l'échelle nationale.

UGA	En tonne	%
Adour	18	3%
Artois-Picardie	11	2%
Bretagne	39	6%
Corse	6	1%
Garonne	151	25%
Loire	141	23%
Meuse	3	0%
Rhin	7	1%
Rhône-Méditerranée	90	15%
Seine-Normandie	147	24%
France	613	100%



3.2.2 La taille des anguilles et sex-ratio

La taille des poissons est un facteur déterminant dans l'estimation des dommages subis par les poissons lors de leur passage à travers les turbines.

En outre, il existe d'importantes différences de tailles entre les sujets et selon le sexe. D'après notamment Legault et al. (1993), Durif et al. (2000 et 2009), Durif (2003), Gabriel (2004) et Charrier (2009), les mâles présentent des tailles à la dévalaison généralement comprises entre 30 cm et 45 cm et les femelles présentent des tailles supérieures à 45 cm, pouvant dépasser 100 cm.

Si la taille des mâles semble assez peu variable, celle des femelles peut présenter des différences marquées, selon notamment le type de territoire, le nombre d'années passées en rivière. Il s'agit d'un élément d'importance dans la mesure où les grandes femelles possèdent le meilleur potentiel reproducteur (Chanseau et al, 2012).

Les classes de taille et le sex ratio retenus dans l'étude sont ceux du modèle EDA2.2 :

- 300 – 450 mm, taille moyenne 375 mm, mâles ;
- 450 – 600 mm, taille moyenne 525 mm, femelles ;
- 600 – 750, taille moyenne 675 mm, femelles ;
- > 750 mm, taille moyenne 850 mm, femelles.

Les anguilles de la classe 300-450 mm sont considérées comme mâles, les anguilles des autres classe sont considérés comme femelles.

À partir des travaux de MacNamara et McCarthy, 2012 qui donnent une estimation de la fécondité fonction de la taille des individus ($F = 10^{-2,992+3,293 \cdot \log_{10}(l)}$ avec « l » la longueur en mm), il est possible d'estimer par secteur et par classe de taille la production en nombre d'œufs.

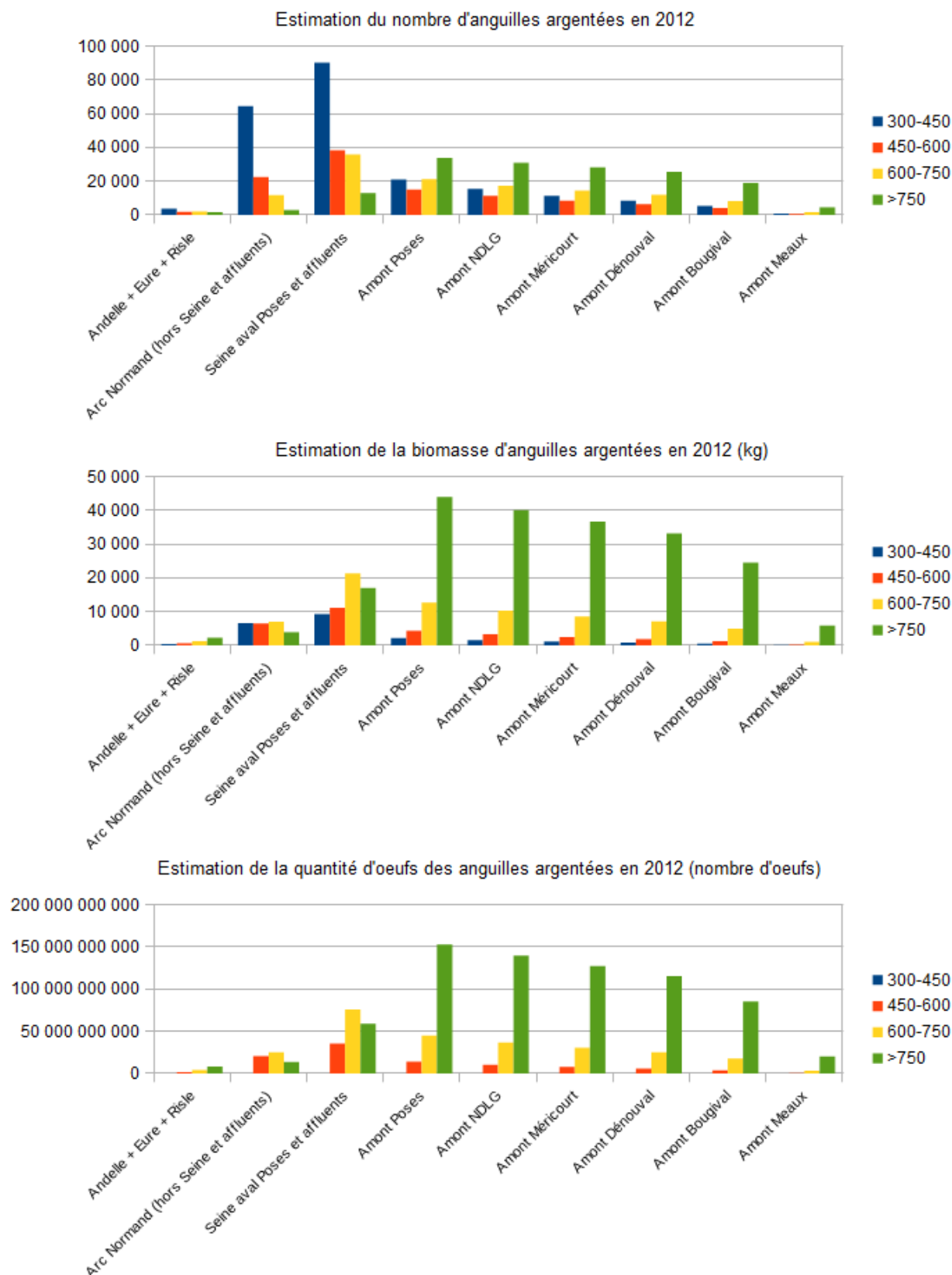
	Classe de taille				Total	% du total Seine
	300-450 Mâle	450-600 Femelle	600-750 Femelle	>750 Femelle		
Longueur moyenne de la classe (mm)	375	525	675	850		
Secteur	Potentialités par secteur (en nombre d'œufs)					
Amont Meaux / Marne	0	595 722 908	3 511 788 428	20 331 756 707	24 439 268 042	6,4%
Amont Bougival sans Marne amont Meaux	0	3 262 160 172	14 087 300 510	65 008 354 426	82 357 815 107	21,5%
Denouval - Bougival	0	2 006 062 257	7 722 976 356	30 204 214 948	39 933 253 561	10,4%
Méricourt – Denouval	0	1 967 270 998	5 064 835 657	11 854 172 538	18 886 279 193	4,9%
Total amont Méricourt	0	7 831 216 335	30 386 900 950	127 398 498 619	165 616 615 903	43,3%
Notre Dame La Garenne – Méricourt	0	2 603 032 027	6 311 130 571	12 153 973 951	21 068 136 549	5,5%
Poses - Notre Dame La Garenne	0	3 481 880 328	8 319 684 570	13 511 860 748	25 313 425 647	6,6%
Total amont Poses	0	13 916 128 690	45 017 716 091	153 064 333 318	211 998 178 099	55,4%
Seine et affluents aval Poses	0	35 332 575 039	76 032 586 008	59 158 369 934	170 523 530 981	44,6%
Total bassin Seine	0	49 248 703 730	121 050 302 098	212 222 703 252	382 521 709 080	100,0%
Total bassin Seine-Normandie	0	69 990 122 689	146 178 825 803	225 725 637 569	441 894 586 061	115,5%
Arc Normand hors Seine et affluents Seine : différence bassin SN – Seine et affluents	0	20 741 418 959	25 128 523 705	13 502 934 317	59 372 876 981	15,5%
Risle	0	978 093 891	1 817 170 907	1 936 572 741	4 731 837 539	1,2%
Eure	0	723 179 902	2 121 441 385	5 484 699 023	8 329 320 310	2,2%
Andelle	0	138 540 211	340 191 298	645 524 247	1 124 255 756	0,3%

Estimations du nombre d'œufs produits par secteur et par classe de taille pour l'année 2012

3.2.3 Mise en perspectives des estimations d'anguilles argentées en nombre, en biomasse et en fécondité

Les figures suivantes présentent les estimations d'anguilles argentées cumulées en amont des ouvrages de l'étude, en nombre, en biomasse et en quantité d'œufs.

Pour faciliter les comparaisons au sein du bassin Seine Normandie, sont représentées les estimations de la Seine à l'aval de Poses, du cumul Andelle Eure Risle et de l'ensemble des cours d'eau de l'arc normand (hors seine et affluents).



Les secteurs de la Seine et des affluents en aval de Poses produisent un nombre d'anguilles argentées important (66 % du nombre total d'anguilles argentées de la Seine), dominés par des individus de petites tailles. A l'inverse les secteurs amont de Poses produisent un nombre d'anguilles argentées plus faibles (34% du nombre d'anguilles argentées), dominés par des individus de grande taille.

A l'inverse concernant la biomasse et la fécondité, les secteurs amont de Poses produisent une part plus importante de la biomasse et de la quantité d'oeufs du bassin de la Seine (52 % de la biomasse d'anguilles argentées et 55 % de la quantité d'oeufs), du fait de la part importante d'individus de grande taille à l'amont de Poses qui sont des femelles.

3.2.4 La période de dévalaison

La période principale de dévalaison de l'anguille européenne a lieu du mois d'octobre au mois de janvier. Cependant, des suivis réalisés en dehors de cette période montrent que des pics de dévalaison peuvent se produire dès l'été sur des coups d'eau et se poursuivre jusqu'au printemps (Durif, 2003).

Ainsi, par exemple, un suivi réalisé par l'Onema sur la rivière Bresle (rapport 2010 du groupe de travail R&D Anguilles et Ouvrages, Euzenat et al, 2011), révèle qu'il existe une dévalaison toute l'année sur ce cours d'eau, avec une activité importante en fin d'été et en automne et une activité plus faible au printemps.

Il n'existe pas de suivi proprement dit du rythme de dévalaison sur le cours de la Seine. Toutefois des données acquises dans le dispositif de montaison de l'ouvrage de la centrale de Poses, par le syndicat mixte de la base de loisir de Léry Poses, font état d'observation d'anguille dévalant par la passe à poissons sur une période relativement étendue. En 2015 des anguilles dévalant ont été observées ponctuellement à partir de mi-juin jusque fin décembre.

La période de migration retenue dans la présente étude s'étend du 1^{er} octobre au 31 janvier, période durant laquelle, ont lieu les pics de migration les plus importants.

3.2.5 L'hydrologie en période de dévalaison

De nombreux paramètres environnementaux sont susceptibles d'exercer une influence sur la migration de dévalaison : débit, température de l'eau, photopériode, phases de la lune, turbidité, pression atmosphérique...

Les suivis réalisés sur des cours d'eau à régime variable (cas de la Seine), montrent en général que la migration de dévalaison est fortement liée à l'augmentation des débits et de la turbidité de l'eau.

Ceci a notamment été observé sur des campagnes de piégeage sur la Nive à Halsou (Gosset et al, 2000, 2001 et 2002) ainsi que sur des campagnes de radiopistage sur le gave de Pau aval (Subra et al, 2005 ; 2006 ; Bau et al, 2008, 2010a, 2011a et 2013 ; Travade et al, 2010).

Afin de prendre en compte cette répartition de la dévalaison sur les pics de débits, il a été choisi dans la présente étude la répartition suivante :

- 20% des passages à un débit voisin du 3^{ème} quartile (75^{ème} centile) des débits journaliers de la période,
- 20% des passages à un débit voisin du 90^{ème} centile des débits journaliers de la période,
- 20% des passages à un débit voisin du 95^{ème} centile des débits journaliers de la période,
- 20% des passages à un débit voisin du 97,5^{ème} centile des débits journaliers de la période,
- 20% des passages à un débit voisin du 99^{ème} centile quartile des débits journaliers de la période.

Cette répartition correspond à celle retenue dans des études relatives à l'impact des ouvrages hydroélectriques sur les gaves de Pau (Voegtli et Larinier, 2008) ou le gave d'Oloron (Voegtli, 2014).

La station hydrométrique utilisée dans l'étude est celle de Vernon qui est proche des 3 centrales hydroélectriques de l'aval de la Seine. Des données sont disponibles pour cette station à partir de 2010. Les débits caractéristiques en période de migration ont été déterminés à partir des débits moyens journaliers issus de la banque Hydro.

Les débits ont ensuite été estimés au niveau des aménagements hydroélectriques en effectuant une correction de façon à prendre en compte les superficies des bassins versants avec la formule de Myer :

$$Q_a = Q_s \times (S_a / S_s)^{0.8}$$

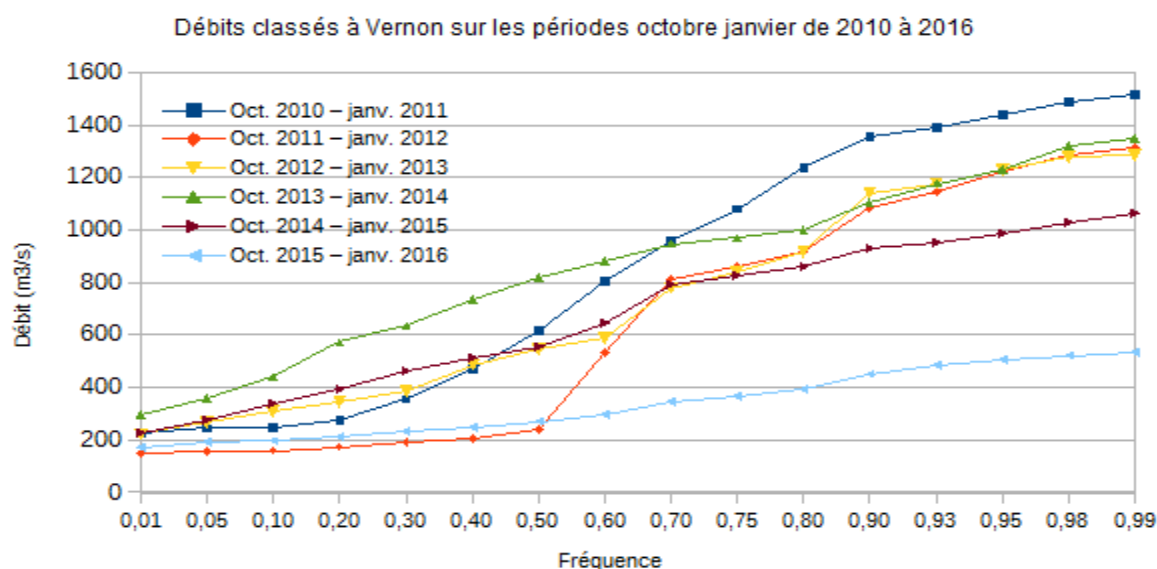
avec :

- Q_a : débit au niveau de l'aménagement
- Q_s : débit au niveau de la station de mesure de débit

- Sa : superficie du bassin versant au niveau de l'aménagement
- Ss : superficie du bassin versant au niveau de la station de mesure de débit

Le tableau suivant reprend les débits classés à Vernon sur les périodes octobre-janvier de 2010 à 2016.

Fréquence	0,99	0,975	0,95	0,925	0,90	0,80	0,75	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01
Oct. 2010 – janv. 2011	1518	1489	1439	1389	1358	1236	1080	957	807	617	468	356	277	249	244	225
Oct. 2011 – janv. 2012	1313	1289	1224	1147	1084	915	863	815	535	241	207	192	173	160	157	148
Oct. 2012 – janv. 2013	1288	1280	1230	1177	1138	918	839	780	590	546	487	385	345	308	269	223
Oct. 2013 – janv. 2014	1348	1319	1229	1177	1106	1000	969	948	880	818	737	635	572	439	361	297
Oct. 2014 – janv. 2015	1060	1030	985	953	929	858	828	792	643	555	511	464	395	337	277	228
Oct. 2015 – janv. 2016	533	522	507	483	452	393	368	346	294	271	248	233	214	195	191	173



Il ressort un contraste important entre :

- 5 périodes avec des débits relativement importants : supérieurs à 800 m³/s dès la fréquence 0,75 ;
- 1 période (oct 2015-janvier 2016) avec des débits relativement faibles : inférieurs à 600 m³/s sur toute la période.

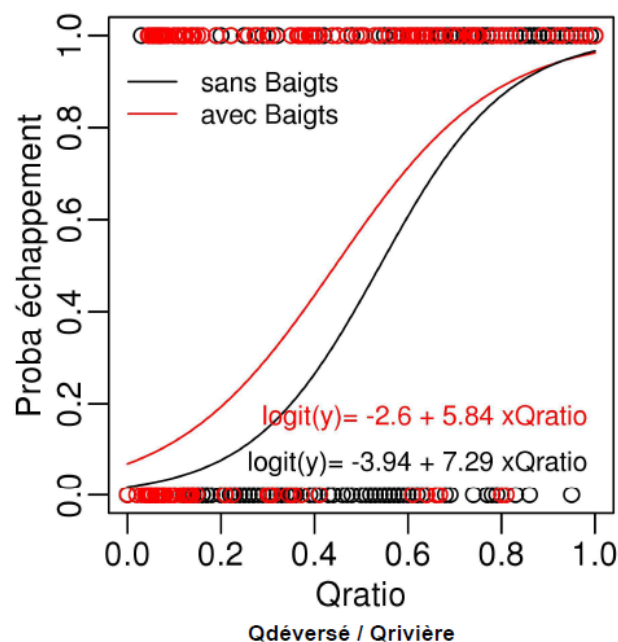
3.2.6 Le comportement et l'échappement des anguilles au droit des aménagements

Répartition des anguilles entre centrales et ouvrages évacuateurs

Les taux d'échappement des anguilles au droit de chaque ouvrage hydroélectrique sont avant tout fonction de la répartition entre les poissons transitant par les ouvrages évacuateurs (déversoir, seuil, clapet, vanne, écluse de navigation...) et ceux entraînés dans la prise d'eau de la centrale.

Les études de radiopistage d'anguilles argentées effectuées sur le gave de Pau aux niveaux des sites hydroélectriques de Pardies, Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo ont montré que le taux de poissons transitant par les barrages reste faible tant que le débit du gave ne devient pas très significativement supérieur au débit turbiné à la centrale. Ainsi, la proportion de poissons transitant par déversement au niveau des ouvrages évacuateurs n'est pas tout à fait linéaire en fonction du rapport débit déversé sur débit du cours d'eau.

Les régressions logistiques établies sur les données de radiopistage (Bau et al, 2013) montrent qu'à un rapport Qdév/Qtot de 20%, les probabilités de passage par le barrage seraient de l'ordre de 10%. À un rapport Qdév/Qtot de 50%, les probabilités de passage par le barrage atteindraient environ 40% (voir figure ci-après).



Prédiction de la probabilité d'échappement par le déversoir du barrage en fonction des conditions de débit (Qratio = débit déversé au barrage/débit total du Gave) (Bau et al, 2013).

Le modèle général obtenu par Bau et al (2013) fournit ainsi une probabilité d'échappement en fonction uniquement du rapport de débit :

$$P = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta)) \quad \text{où} \quad \eta = -3,94 + 7,29 \cdot (Q_{\text{dev}} / Q_{\text{total}})$$

Cette formule a été utilisée dans la présente étude.

Perméabilité des grilles

Lors des études de radiopistage menée sur le gave de Pau de 2006 à 2008 (Travade et al, 2010), des tests de franchissement de grilles de différentes tailles d'anguilles, ont été effectués afin de déterminer les capacités de franchissement des poissons en fonction des données biométriques des individus (longueur totale, hauteur et largeur de tête, hauteur et largeur maximales du corps). Lors de ces tests, il a été constaté que la largeur de tête « limite » (au-delà de laquelle les anguilles ne parviennent pas à franchir les grilles) est nettement supérieure à l'espacement des grilles. Cela provient du fait notamment que les anguilles sont capables de « forcer le passage » en comprimant fortement leur tête par des mouvements de rotation. La largeur de tête maximale des anguilles parvenant à franchir les grilles représente environ 1.5 fois l'espacement des grilles.

Dans la présente étude :

- les plan de grilles des centrales existantes ont des espacements importants (>90 mm). De tels

espacements ne constituent pas une barrière quelle que soit la taille des anguilles ;

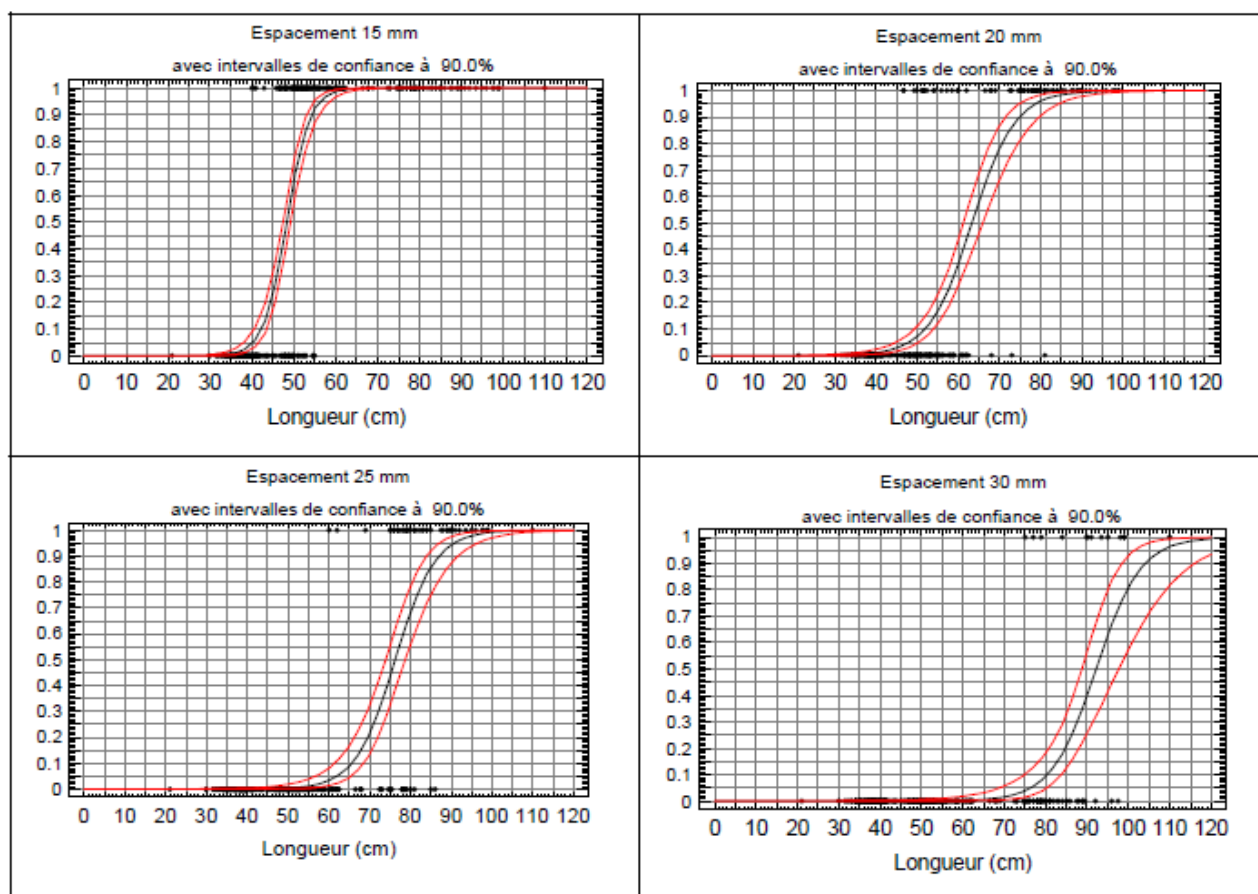
- dans le cadre d'un des projets intégré pour la situation future, qui prévoit notamment l'installation de grille à 20 mm d'espacement, il a été retenu les taux de passage suivants (100 % pour anguille de 375 mm / 85 % pour anguille de 525 mm / 27,5 % pour anguille de 675 mm / 2,5 % pour anguille de 850 mm). Ces chiffres sont déduits des abaques de Travade et al, 2010 dans le cas de grille à section circulaire espacés de 20mm.

Efficacité des exutoires de dévalaison

2 centrales existantes sont munies d'exutoire de dévalaison. Toutefois au regard de la perméabilité totale des grilles sur ces sites, il a été retenu dans l'étude une efficacité des exutoires de dévalaison égale à 0 % quelle que soit la taille des anguilles.

Dans le cadre des projets intégrés en situation future, les éléments transmis ne font état de mise en place de grille à 2 cm que sur 1 projet. Il a donc été retenu comme simulation :

- dans un premier temps, l'absence d'équipement de dévalaison sur les autres projets afin d'évaluer la situation telle qu'elle est présentée dans les dossiers d'intention ;
- dans un deuxième temps, la mise en place d'équipement de dévalaison sur les autres projets (sauf pour les turbines type VLH) afin d'évaluer une situation optimisée.



Probabilité de passage d'anguilles au travers de grilles à barreaux de section circulaire espacés de 15, 20, 25 et 30 mm en fonction de la longueur totale du corps. 0 représente le franchissement et 1 le blocage.

(Travade et al, 2010)

3.2.7 L'estimation de la mortalité dans les turbines

Lors du passage à travers les turbines, les anguilles sont susceptibles de subir des dommages d'origines diverses (chocs mécaniques résultant d'un contact plus ou moins violent du poisson avec un élément fixe ou mobile de la turbine, variations rapides de la pression et de la cavitation ou encore forces de cisaillement).

Les blessures les plus souvent observées sont en effet des sectionnements totaux, des sectionnements partiels, des dilacérations ou autres blessures externes ainsi que des déformations importantes, voire des ruptures de la colonne vertébrale sans blessure externe (Gomes et Larinier, 2008).

Les anguilles dévalant au stade adulte ont une taille relativement importante qui les rend très vulnérables lors du passage dans les turbines.

Des expérimentations ont été menées dans divers pays (Etats Unis, Canada, Suède, Écosse, Allemagne, France), principalement sur les juvéniles de salmonidés, mais aussi sur l'anguille, pour évaluer les dommages – en termes de % de mortalité et de type de blessures - résultant du transit dans les différents types de turbines. Les résultats obtenus sont assez concordants et permettent de tirer certaines conclusions générales sur les dommages potentiels subis par les poissons. Les mortalités sur l'anguille sont 2 à 5 fois plus importantes que sur les juvéniles de salmonidés, principalement en raison de leur taille. Elles sont de l'ordre de 10% à 20% sur les turbines les moins dommageables (grosses turbines Kaplan installées sur les usines de basse chute) mais peuvent être beaucoup plus importantes sur les turbines de petit diamètre. (Voegle et Larinier, 2008).

Des expressions donnant un ordre de grandeur des mortalités des poissons en fonction du type de turbine et de ses caractéristiques hydromécaniques (nombre de pales, vitesse de rotation, diamètre de la roue), de la hauteur de chute et de la taille du poisson ont été proposées, en particulier pour les juvéniles de salmonidés et plus récemment pour les anguilles.

Dans la présente étude, les turbines rencontrées sont des turbines Kaplan (situation existante) ou VLH (pour certains des projets).

Cas des turbines Kaplan

Dans le cas de turbines Kaplan, le nombre conséquent d'expérimentations a permis d'établir trois expressions donnant le pourcentage de mortalité en fonction de la taille de l'anguille, du diamètre de la roue, du débit nominal et de la vitesse de rotation de la turbine (Gomes et Larinier, 2008).

$$M(\%) = 4,67.TL^{1.53}.D^{-0.48}.N^{0.6}$$

$$M(\%) = 6,59.TL^{1.63}.Q^{-0.24}.N^{0.63}$$

$$M(\%) = 12,42.TL^{1.36}.Q^{-0.22}.D^{-0.10}.N^{0.49}$$

où :

M : Pourcentage de mortalité

TL : Longueur du poisson (m)

D : Diamètre de la turbine (m)

Q : Débit nominal (m3/s)

N : Vitesse de rotation de la turbine (tours/min)

Dans le cadre de cette étude, la moyenne des trois expressions a été utilisée.

Cas des turbines VLH (Very Low Head)

Les tests réalisés sur la deuxième version de ce type de turbines ont montré des taux de mortalité pour l'anguille de 0 % en pleine ouverture (source synthèse du séminaire R&D anguille, 2011).

Il est envisagé l'installation de turbines VLH sur plusieurs sites. Pour ces projets, il a été retenu dans l'étude des taux de mortalité de 0 %.

3.2.8 Les caractéristiques des centrales concernées

Les caractéristiques des centrales existantes concernées par l'étude ont été obtenues par enquête auprès des propriétaires.

Des visites de terrain sur chaque site ont permis de consolider certaines données et de compléter au besoin les données issues de l'enquête.

Les principales données collectées sont les caractéristiques :

- générales de l'usine hydroélectrique (débit turbiné, puissance brute, caractéristique plan de grille) ;
- des dispositifs de franchissement (dispositif de montaison, dispositif de dévalaison) ;
- des turbines (type de turbine, débit nominal, hauteur de chute nette, vitesse de rotation, nombre de pales, diamètre de la roue) permettant d'évaluer les taux de mortalités.

Les caractéristiques des centrales projet intégrées dans la phase 3 de l'étude ont été fournies par l'ONEMA et la DRIEE. Ces projets n'étant à ce jour qu'au stade d'intention, les caractéristiques précises ne sont pas définies à ce stade. À défaut d'information précises disponibles, des caractéristiques manquantes ont été fixées à dire d'expert dans la modélisation. Le tableau en partie 2.4 reprend l'ensemble des caractéristiques collectées pour les centrales existantes et les projets.

3.3 MODÉLISATION

La modélisation est réalisée dans la présente étude sous le logiciel « libre office », avec des fichiers de calculs liés.

Dans un premier temps, des simulations réalisées pour les 4 classes de tailles considérées. Dans un deuxième temps, les résultats des différentes classes de tailles sont assemblés pour reconstituer les pertes sur l'ensemble de la population d'anguilles dévalant au droit de chacune des centrales.

Les résultats des pertes calculées sont présentés en nombre d'individus, en biomasse et en quantité d'œufs.

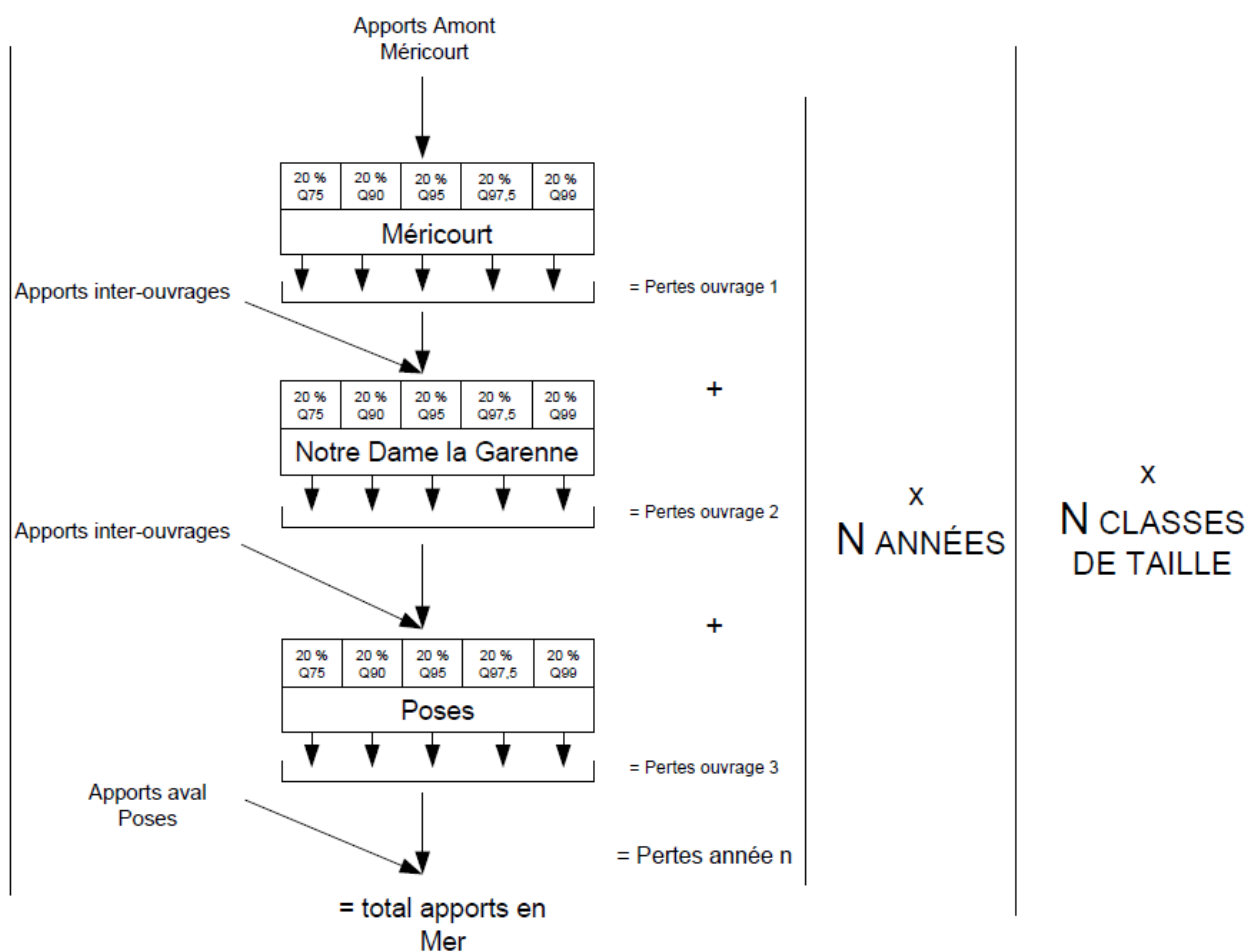


Schéma de principe du modèle de dévalaison

3.3.1 Données d'entrées

Le modèle comprend dans les données d'entrées :

- 1 fichier sur l'hydrologie sur la période 2010- 2016 (issue de la banque hydro) avec calcul des débits classés au droit de chaque ouvrage ;
- 1 fichier sur la répartition des anguilles argentées dans le bassin de la Seine précisant sur l'ensemble des secteurs inter-ouvrage, le nombre d'anguilles pour les 4 classes de tailles. Les données prises en compte correspondent à la biomasse de l'année 2012 calculées dans le modèle EDA2.2. ;
- 1 fichier de calcul sur les caractéristiques des centrales existantes et projet.

3.3.2 Calculs des pertes par classe de taille, assemblage des classes de tailles et calcul des pertes en nombre, en poids et en quantité d'œufs

Le modèle comprend :

- 1 fichier permettant de définir le fonctionnement des centrales (marche/arrêt) et de faire des simulations en situation actuelle et en situation avec intégration des projets.
- pour chaque classe de taille : 1 fichier de calculs comprenant plusieurs feuilles liées :
 - 1 feuille reprenant l'hydrologie,
 - 1 feuille reprenant les caractéristiques centrales,
 - 1 feuille reprenant la répartition des anguilles dans le bassin de la Seine pour la classe considérée,
 - 1 feuille par période de dévalaison de octobre 2010 à fin janvier 2016, permettant le calcul des pertes sur chaque centrale. Ces calculs intègrent l'hydrologie sur la période de migration, les caractéristiques des centrales, la répartition des anguilles argentées dans le bassin.
 - 1 feuille de synthèse des résultats permettant de comparer les résultats des calculs des différentes années hydrologiques,
 - 1 feuille de synthèse des résultats avec calcul des pertes globales sur l'ensemble des centrales prise en compte.
- 1 fichier permettant d'assembler les résultats des 4 classes de tailles, avec expression des pertes d'anguilles argentées, en nombre, en biomasse, et en quantité d'œufs.

Les simulations suivantes ont été réalisées :

- simulation de la situation existantes : fonctionnement des 3 centrales existantes ;
- simulation de la situation avec projet : fonctionnement des 3 centrales existantes et des 7 projets ;
- simulation de la situation avec projet « optimisés » : fonctionnement des 3 centrales existantes et des 7 projets avec optimisation des dispositifs de dévalaison pour les turbines projets hors VLH.

3.4 RÉSULTATS

La présentation des résultats est organisée de la façon suivante :

- impact des centrales existantes / impact avec ajout des projets / impact des projets uniquement ;
- pour chaque situation, présentation des pertes globales de toutes les centrales puis des pertes par centrale.

3.4.1 Impact des centrales existantes

Synthèse des pertes globales des centrales existantes (Méricourt, Notre Dame la Garenne et Poses)

Les tableaux suivant présentent les pertes globales d'anguilles argentées induites par les 3 centrales hydroélectriques existantes (Méricourt, Notre Dame la Garenne et Poses) par période de dévalaison. La quantité d'anguilles argentées entrante dans la modélisation est celle de 2012 du modèle EDA2.2 Les résultats sont exprimés en Nombre, en Biomasse et en équivalent quantité d'œufs.

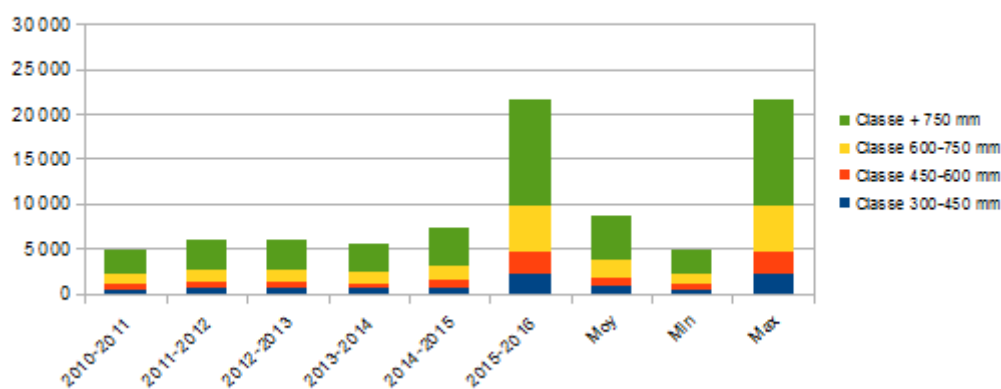
	Pertes globales d'anguilles argentées						En nombre		
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	Moy	Min	Max
Classe 300-450 mm	424	531	533	499	652	2 059	783	424	2 059
Classe 450-600 mm	506	634	636	596	777	2 414	927	506	2 414
Classe 600-750 mm	1 110	1 386	1 392	1 304	1 694	5 145	2 005	1 110	5 145
Classe + 750 mm	2 707	3 368	3 382	3 173	4 103	12 032	4 794	2 707	12 032
Total	4 747	5 919	5 943	5 572	7 226	21 651	8 510	4 747	21 651
% bassin Seine	2%	2%	2%	2%	3%	8%	3%	2%	8%
% bassin Seine amont Poses	5%	6%	7%	6%	8%	24%	9%	5%	24%

	Pertes globales d'anguilles argentées En biomasse (kg)						Moy	Min	Max
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016			
Classe 300-450 mm	44	55	55	51	67	212	81	44	212
Classe 450-600 mm	147	184	185	173	226	702	270	147	702
Classe 600-750 mm	658	822	825	773	1 005	3 051	1 189	658	3 051
Classe + 750 mm	3 514	4 372	4 389	4 118	5 325	15 618	6 223	3 514	15 618
Total	4 363	5 433	5 455	5 117	6 623	19 584	7 762	4 363	19 584
% bassin Seine	4%	4%	4%	4%	5%	16%	6%	4%	16%
% bassin Seine amont Poses	7%	9%	9%	8%	10%	31%	12%	7%	31%

	Pertes globales d'anguilles argentées En quantité d'oeufs						Moy	Min	Max
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016			
Classe 300-450 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Classe 450-600 mm	4,68E+08	5,85E+08	5,88E+08	5,50E+08	7,17E+08	2,23E+09	8,56E+08	4,68E+08	2,23E+09
Classe 600-750 mm	2,35E+09	2,93E+09	2,94E+09	2,76E+09	3,58E+09	1,09E+10	4,24E+09	2,35E+09	1,09E+10
Classe + 750 mm	1,22E+10	1,52E+10	1,53E+10	1,43E+10	1,85E+10	5,43E+10	2,16E+10	1,22E+10	5,43E+10
Total	1,50E+10	1,87E+10	1,88E+10	1,76E+10	2,28E+10	6,74E+10	2,67E+10	1,50E+10	6,74E+10
% bassin Seine	4%	5%	5%	5%	6%	18%	7%	4%	18%
% bassin Seine amont Poses	7%	9%	9%	8%	11%	32%	13%	7%	32%

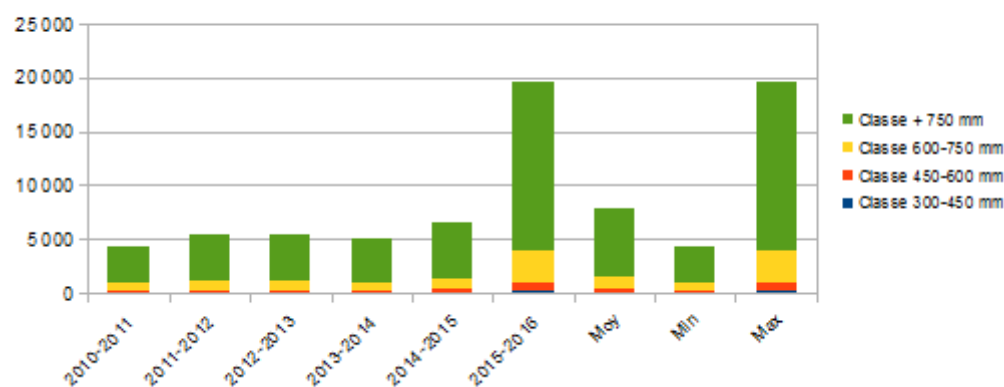
Estimations des pertes d'anguilles argentées en nombre

Situation actuelle



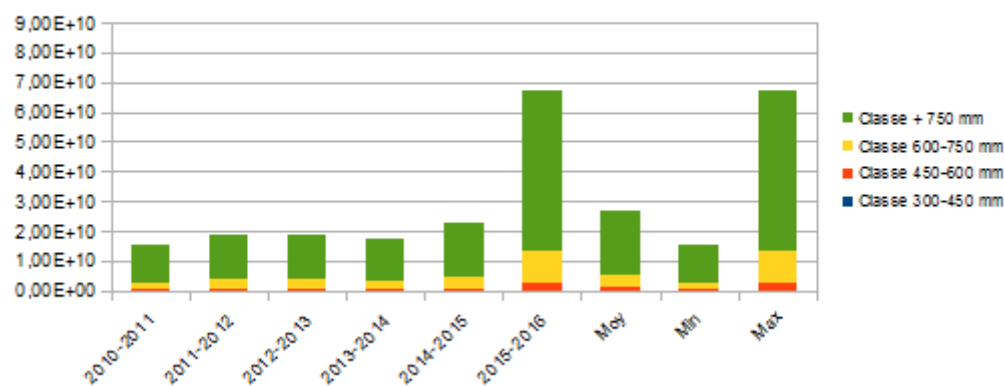
Estimations des pertes d'anguilles argentées en biomasse (kg)

Situation actuelle



Estimations des pertes d'anguilles argentées en quantité d'oeufs

Situation actuelle



Ces résultats mettent en évidence :

- des pertes variables en fonction de l'hydrologie : les années avec des débits élevés lors de la période de dévalaison se traduisent par des déversements plus importants, une part plus faible des anguilles transitant par les turbines et ainsi des pertes plus faibles. La période de dévalaison octobre 2010 - janvier 2011 a eu les débits les plus importants sur les 6 périodes de dévalaison modélisées, ce qui se traduit par les pertes les plus faibles. À l'inverse, la période de dévalaison octobre 2015 - janvier 2016 a eu les débits les plus faibles sur les 6 périodes de dévalaison modélisées, ce qui se traduit par les pertes les plus importantes. Sur ces 6 périodes, l'écart des pertes estimées est important : les pertes de la période 2015-2016 sont ainsi 4,5 fois plus importantes que les pertes de la période 2010-2011.
- **des pertes calculées sur ces 6 périodes respectivement en nombre, en biomasse :**
 - **en moyenne : 8 510 individus, 7,8 tonnes ;**
 - **minimum : 4 750 individus, 4,4 tonnes ;**
 - **maximum : 21 650 individus, 19,6 tonnes ;**
- rapportée **au total d'anguilles argentées de la Seine et de ses affluents**, des pertes représentant respectivement en nombre, en biomasse et en fécondité :
 - en moyenne : 3 %, 6 %, 7 % ;
 - minimum : 2 %, 4 %, 4 % ;
 - maximum : 8 %, 16 %, 18 % ;
- rapportée **au total d'anguilles argentées de la Seine et de ses affluents en amont de Poses**, des pertes représentant respectivement en nombre, en biomasse et en fécondité :
 - en moyenne : 9 %, 12 %, 13 % ;
 - minimum : 5 %, 7 %, 7 % ;
 - maximum : 24 %, 31 %, 32 % ;
- par comparaison avec le potentiel de 3 affluents de l'aval de la Seine, les pertes moyennes calculées correspondent à environ 1,7 fois la biomasse d'anguille argentées cumulées produite par la Risle, l'Eure et l'Andelle en 2012 et 1,9 fois la fécondité cumulée de ces 3 affluents.
- un impact très marqué sur les anguilles de grandes tailles (>750 mm) qui représente 56 % de la part des pertes en nombre et 80 % de la part des pertes en biomasse.

Globalement, l'hydrologie est un paramètre déterminant sur le niveau de pertes à la dévalaison. Les années avec des forts débits hivernaux (comme 2010-2011), les pertes sont plutôt faibles, les années avec des faibles débits hivernaux (comme 2011-2016), les pertes sont relativement importantes.

Synthèses des pertes par ouvrage en situation existante

Les tableaux suivants présentent le détail des pertes par centrale en nombre d'anguilles, en biomasse et en quantité d'oeufs.

La répartition des pertes par centrale est d'environ 30 % pour Méricourt, 30 % pour Notre Dame la Garenne et 40 % pour Poses, soit un impact équivalent entre Méricourt et Notre Dame la Garenne et légèrement supérieur à Poses.

Situation actuelle

- impact calculé en nombre d'anguilles argentées

Barrage	Centrales	Type turbines	Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes			Mortalité à l'aménagement						Mortalités occasionnées / total Seine			Mortalités occasionnées / total Seine amont Poses			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %		
							nombre d'anguilles argentées			% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage											
				moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max
Meaux	projet VNF	VLH	7 608	7 608	7 608	7 608	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Bouival	projet VNF	VLH	36 827	36 827	36 827	36 827	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Denouval	projet VNF	VLH	52 313	52 313	52 313	52 313	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Méricourt	Energie France	Kaplan	62 456	62 456	62 456	62 456	2 381	1 286	6 336	4%	2%	10%	1%	0%	2%	3%	1%	7%	28%	27%	29%
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	62 456	62 456	62 456	62 456	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous total Méricourt			62 456	62 456	62 456	62 456	2 381	1 286	6 336	4%	2%	10%	1%	0%	2%	3%	1%	7%	28%	27%	29%
NDLG	Unit Energie	Kaplan	75 056	72 675	73 769	68 719	2 490	1 436	6 229	3%	2%	9%	1%	1%	2%	3%	2%	7%	29%	30%	29%
NDLG	projet VNF	VLH	75 056	72 675	73 769	68 719	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous total Notre Dame la Garenne			75 056	72 675	73 769	68 719	2 490	1 436	6 229	3%	2%	9%	1%	1%	2%	3%	2%	7%	29%	30%	29%
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	91 394	86 523	88 672	78 829	3 639	2 025	9 086	4%	2%	12%	1%	1%	3%	4%	2%	10%	43%	43%	42%
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	91 394	86 523	88 672	78 829	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	91 394	86 523	88 672	78 829	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous Total poses			91 394	86 523	88 672	78 829	3 639	2 025	9 086	4%	2%	12%	1%	1%	3%	4%	2%	10%	43%	43%	42%
Total			91 394	/	/	/	8 510	4 747	21 651	/	/	/	3%	2%	8%	9%	5%	24%	100%	100%	100%

- impact calculé en biomasse d'anguilles argentées (Kg)

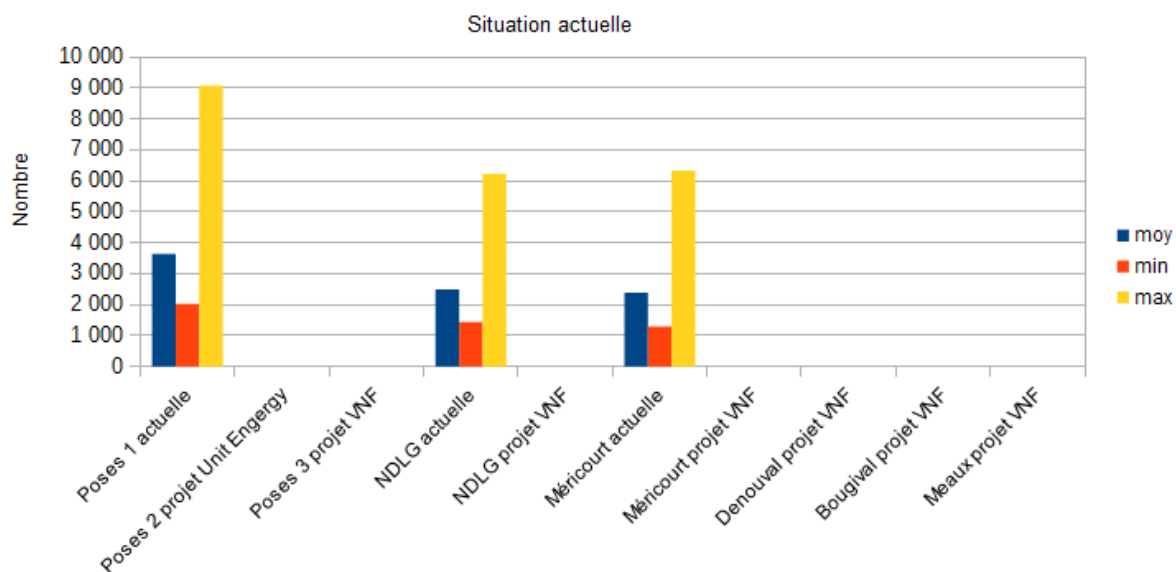
Barrage	Centrales	Type turbines	Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes			Mortalité à l'aménagement						Mortalités occasionnées / total Seine			Mortalités occasionnées / biomasse totale Seine amont Poses %			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %		
							biomasse d'anguilles argentées Kg			% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage											
				moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max
Meaux	projet VNF	VLH	7 102	7 102	7 102	7 102	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Bouival	projet VNF	VLH	31 251	31 251	31 251	31 251	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Denouval	projet VNF	VLH	43 041	43 041	43 041	43 041	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Méricourt	Energie France	Kaplan	48 799	48 799	48 799	48 799	2 296	1 241	6 110	5%	3%	13%	2%	1%	5%	4%	2%	10%	30%	28%	31%
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	48 799	48 799	48 799	48 799	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous total Méricourt			48 799	48 799	48 799	48 799	2 296	1 241	6 110	5%	3%	13%	2%	1%	5%	4%	2%	10%	30%	28%	31%
NDLG	Unit Energie	Kaplan	55 308	53 012	54 067	49 197	2 292	1 330	5 685	4%	2%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	30%	30%	29%
NDLG	projet VNF	VLH	55 308	53 012	54 067	49 197	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous total Notre Dame la Garenne			55 308	53 012	54 067	49 197	2 292	1 330	5 685	4%	2%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	30%	30%	29%
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	63 205	58 618	60 635	51 410	3 175	1 792	7 788	5%	3%	15%	3%	1%	6%	5%	3%	12%	41%	41%	40%
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	63 205	58 618	60 635	51 410	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	63 205	58 618	60 635	51 410	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous Total poses			63 205	58 618	60 635	51 410	3 175	1 792	7 788	5%	3%	15%	3%	1%	6%	5%	3%	12%	41%	41%	40%
Total			63 205	/	/	/	7 762	4 363	19 584	/	/	/	6%	4%	16%	12%	7%	31%	100%	100%	100%

- impact calculé en quantité d'oeufs

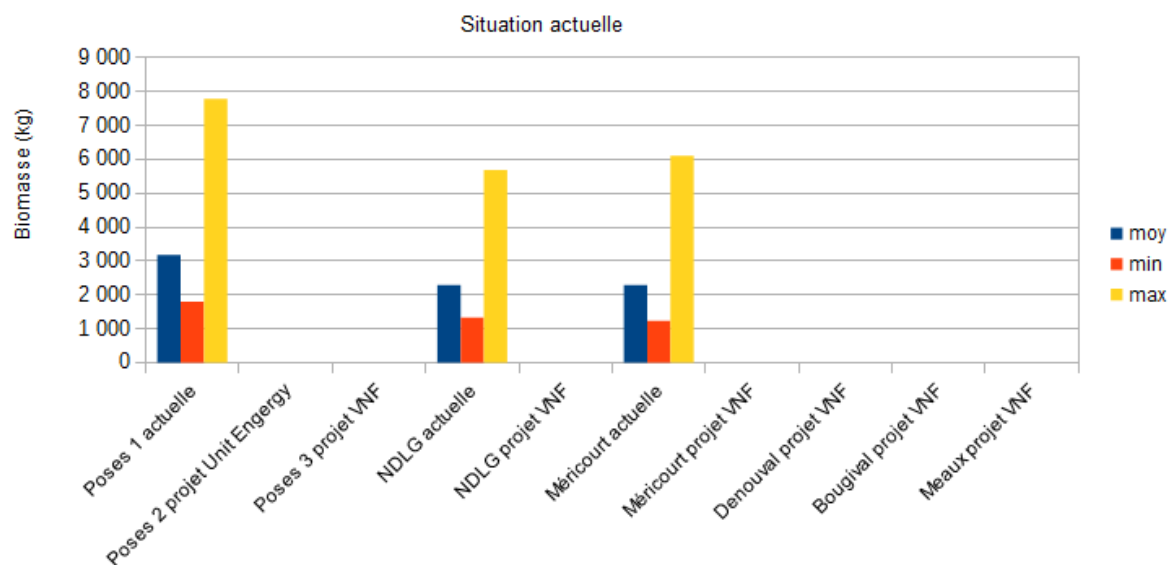
Barrage	Centrales	Type turbines	Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes En oeufs	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes			Mortalité à l'aménagement						Mortalités occasionnées / total Seine			pertes oeufs occasionnées / total Seine amont Poses %			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %		
							Pertes quantité d'oeufs			% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage											
				moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max
Meaux	projet VNF	VLH	2,44E+10	2,44E+10	2,44E+10	2,44E+10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Bouival	projet VNF	VLH	1,07E+11	1,07E+11	1,07E+11	1,07E+11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Denouval	projet VNF	VLH	1,47E+11	1,47E+11	1,47E+11	1,47E+11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Méricourt	Energie France	Kaplan	1,66E+11	1,66E+11	1,66E+11	1,66E+11	7,93E+09	4,29E+09	2,11E+10	5%	3%	13%	2%	1%	6%	4%	2%	10%	30%	29%	31%
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	1,66E+11	1,66E+11	1,66E+11	1,66E+11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous total Méricourt			1,66E+11	1,66E+11	1,66E+11	1,66E+11	7,93E+09	4,29E+09	2,11E+10	5%	3%	13%	2%	1%	6%	4%	2%	10%	30%	29%	31%
NDLG	Unit Energie	Kaplan	1,87E+11	1,79E+11	1,82E+11	1,66E+11	7,90E+09	4,59E+09	1,96E+10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
NDLG	projet VNF	VLH	1,87E+11	1,79E+11	1,82E+11	1,66E+11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous total Notre Dame la Garenne			1,87E+11	1,79E+11	1,82E+11	1,66E+11	7,90E+09	4,59E+09	1,96E+10	4%	3%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	30%	31%	29%
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	2,12E+11	1,96E+11	2,03E+11	1,71E+11	1,09E+10	6,16E+09	2,67E+10	6%	3%	16%	3%	2%	7%	5%	3%	13%	41%	41%	40%
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	2,12E+11	1,96E+11	2,03E+11	1,71E+11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	2,12E+11	1,96E+11	2,03E+11	1,71E+11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sous Total poses			2,12E+11	1,96E+11	2,03E+11	1,71E+11	1,09E+10	6,16E+09	2,67E+10	6%	3%	16%	3%	2%	7%	5%	3%	13%	41%	41%	40%
Total			2,12E+11	/	/	/	2,67E+10	1,50E+10	6,74E+10	/	/	/	7%	4%	18%	13%	7%	32%	100%	100%	100%

Les graphiques correspondant aux tableaux sont page suivante.

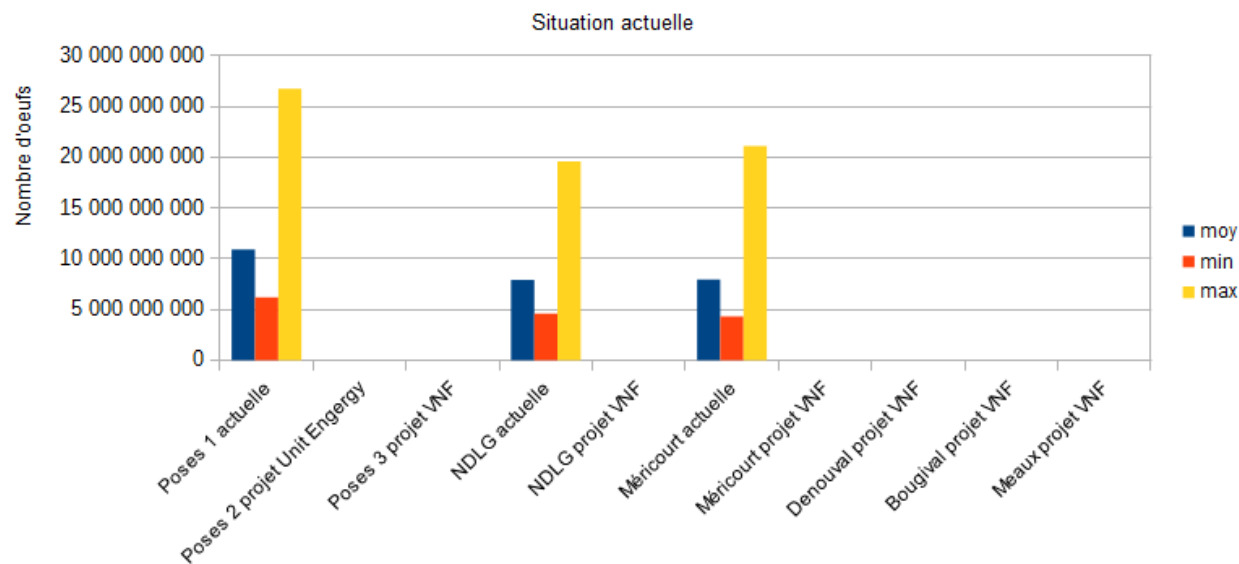
Estimations des pertes d'anguilles argentées par centrale



Estimations des pertes d'anguilles argentées par centrale



Estimations des pertes d'anguilles argentées par centrale



3.4.2 Impact supplémentaire en cas de nouveaux équipements hydroélectriques sur la Seine et la Marne

Limites du modèle liées à l'absence de caractérisation précise des projets

Les caractéristiques précises des projets de centrale sont à ce stade non connues. Les données intégrées dans le modèle sont donc pour partie définies approximativement. C'est le cas notamment des caractéristiques de turbines nécessaires au calcul des taux de mortalité. Ainsi les résultats obtenus ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur. Cette approche, sans donner des résultats robustes, fournit les grandes tendances de mortalités supplémentaires susceptibles d'être engendrées par les nouveaux projets hydroélectriques.

Synthèse des pertes globales situation avec projet

Les tableaux suivants présentent les résultats des calculs des pertes globales des centrales existantes et des centrales projets.

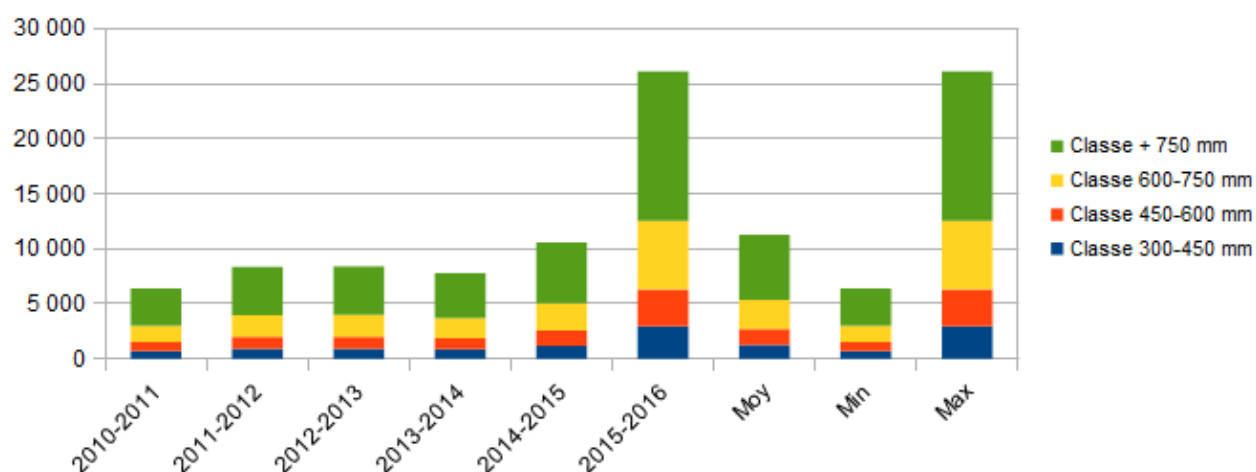
Centrales existantes et centrales en projets

	Pertes globales d'anguilles argentées En nombre								
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	Moy	Min	Max
Classe 300-450 mm	687	912	915	847	1 166	2 828	1 226	687	2 828
Classe 450-600 mm	790	1 045	1 049	971	1 332	3 212	1 400	790	3 212
Classe 600-750 mm	1 495	1 958	1 965	1 824	2 477	6 167	2 648	1 495	6 167
Classe + 750 mm	3 389	4 399	4 414	4 107	5 519	13 725	5 925	3 389	13 725
Total	6 360	8 314	8 343	7 750	10 494	25 933	11 199	6 360	25 933
% bassin Seine	2%	3%	3%	3%	4%	10%	4%	2%	10%
% bassin Seine amont Poses	7%	9%	9%	8%	11%	28%	12%	7%	28%

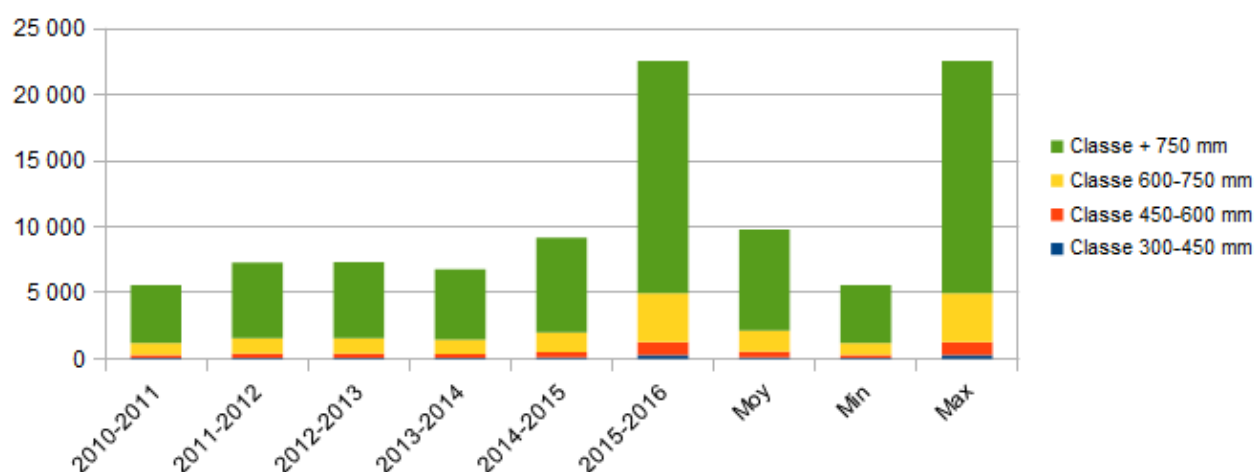
	Pertes globales d'anguilles argentées En biomasse (kg)								
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	Moy	Min	Max
Classe 300-450 mm	71	94	94	87	120	291	126	71	291
Classe 450-600 mm	230	304	305	283	388	935	407	230	935
Classe 600-750 mm	886	1 161	1 165	1 082	1 469	3 657	1 570	886	3 657
Classe + 750 mm	4 399	5 709	5 729	5 331	7 164	17 815	7 691	4 399	17 815
Total	5 586	7 269	7 294	6 782	9 140	22 698	9 795	5 586	22 698
% bassin Seine	5%	6%	6%	6%	7%	19%	8%	5%	19%
% bassin Seine amont Poses	9%	12%	12%	11%	14%	36%	15%	9%	36%

	Pertes globales d'anguilles argentées En quantité d'oeufs								
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	Moy	Min	Max
Classe 300-450 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Classe 450-600 mm	7,29E+08	9,65E+08	9,69E+08	8,97E+08	1,23E+09	2,97E+09	1,29E+09	7,29E+08	2,97E+09
Classe 600-750 mm	3,16E+09	4,14E+09	4,15E+09	3,85E+09	5,23E+09	1,30E+10	5,59E+09	3,16E+09	1,30E+10
Classe + 750 mm	1,53E+10	1,99E+10	1,99E+10	1,85E+10	2,49E+10	6,20E+10	2,67E+10	1,53E+10	6,20E+10
Total	1,92E+10	2,50E+10	2,50E+10	2,33E+10	3,14E+10	7,80E+10	3,36E+10	1,92E+10	7,80E+10
% bassin Seine	5%	7%	7%	6%	8%	20%	9%	5%	20%
% bassin Seine amont Poses	9%	12%	12%	11%	15%	37%	16%	9%	37%

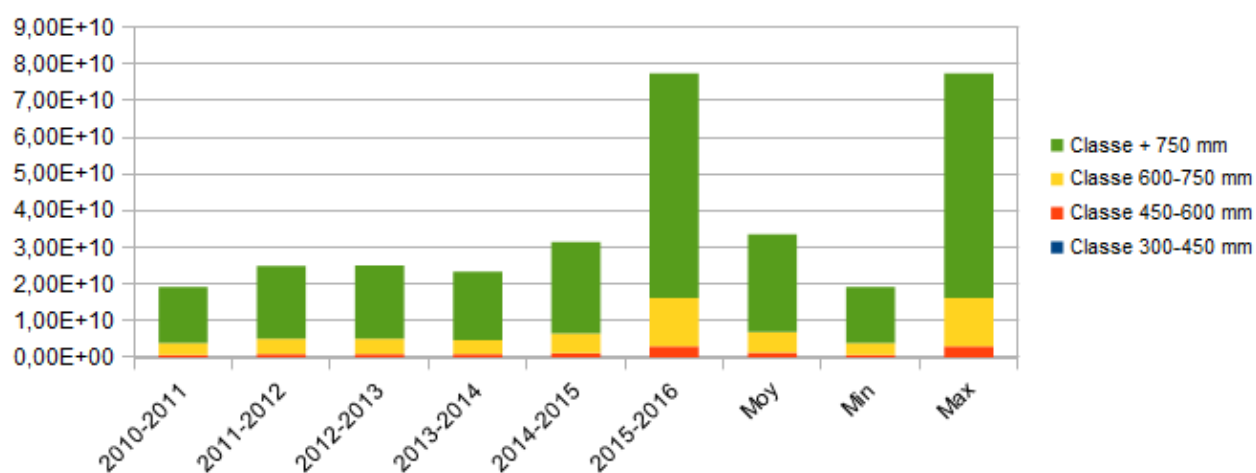
Estimations des pertes d'anguilles argentées en nombre
Situation avec projets



Estimations des pertes d'anguilles argentées en biomasse (kg)
Situation avec projets



Estimations des pertes d'anguilles argentées en quantité d'oeufs
Situation avec projets



Ces résultats mettent en évidence :

- des pertes calculées sur ces 6 périodes respectivement en nombre, en biomasse :
 - en moyenne : 11 200 individus, 9,8 tonnes ;
 - minimum : 6 360 individus, 5,6 tonnes ;
 - maximum : 25 930 individus, 22,7 tonnes ;
- rapportée **au total d'anguilles argentées de la Seine et de ses affluents**, des pertes représentant respectivement en nombre, en biomasse et en fécondité :
 - en moyenne : 4 %, 8 %, 9 % ;
 - minimum : 2 %, 5 %, 5 % ;
 - maximum : 10 %, 19 %, 20 % ;
- rapportée **au total d'anguilles argentées de la Seine et de ses affluents en amont de Poses**, des pertes représentant respectivement en nombre, en biomasse et en fécondité :
 - en moyenne : 12 %, 15 %, 16 % ;
 - minimum : 7 %, 9 %, 9 % ;
 - maximum : 28 %, 36 %, 37 % ;
- par comparaison avec le potentiel de 3 affluents de l'aval de la Seine, les pertes moyennes calculées correspondent à environ 2,2 fois la biomasse d'anguille argentées cumulées produite par la Risle, l'Eure et l'Andelle et 2,4 fois la fécondité cumulée produite par ces 3 affluents.

Synthèses des pertes par ouvrage situation avec projet

Les tableaux suivants présentent le détail des pertes par centrale en nombre d'anguilles, en biomasse et en quantité d'œufs.

Situation centrales existantes et projets

- impact évalué en nombre d'anguilles argentées

Barrage	Centrales	Type turbines	Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes		Mortalité à l'aménagement												Mortalités occasionnées / total Seine amont Poses %			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %				
						nombre d'anguilles argentées						% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage													
						moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max		
Meaux	projet VNF	VLH	7 608	7 608	7 608	7 608	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bougival	projet VNF	VLH	36 827	36 827	36 827	36 827	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dénouval	projet VNF	VLH	52 313	52 313	52 313	52 313	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Méricourt	Energie France	Kaplan	62 456	62 456	62 456	62 456	2 487	1 302	6 704		4%	2%	11%	1%	0%	2%	3%	1%	7%	22%	20%	26%			
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	62 456	62 456	62 456	62 456	436	228	1 174		1%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	4%	4%	5%			
Sous total Méricourt			62 456	62 456	62 456	62 456	2 923	1 530	7 878		5%	2%	13%	1%	1%	3%	3%	2%	9%	26%	24%	30%			
NDLG	Unit Energie	Kaplan	75 056	72 133	73 525	67 178	2 454	1 430	6 061		3%	2%	9%	1%	1%	2%	3%	2%	7%	22%	22%	23%			
NDLG	projet VNF	VLH	75 056	72 133	73 525	67 178	0	0	0		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
Sous total Notre Dame la Garenne			75 056	72 133	73 525	67 178	2 454	1 430	6 061		3%	2%	9%	1%	1%	2%	3%	2%	7%	22%	22%	23%			
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	91 394	86 018	88 434	77 455	4 194	2 431	8 774		5%	3%	11%	2%	1%	3%	5%	3%	10%	37%	38%	34%			
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	91 394	86 018	88 434	77 455	661	408	1 197		1%	0%	2%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	6%	6%	5%			
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	91 394	86 018	88 434	77 455	967	560	2 022		1%	1%	3%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	9%	9%	8%			
Sous Total poses			91 394	86 018	88 434	77 455	5 822	3 400	11 994		7%	4%	15%	2%	1%	4%	6%	4%	13%	52%	53%	46%			
Total			91 394	/	/	/	11 199	6 360	25 933		/	/	/	4%	2%	10%	12%	7%	28%	100%	100%	100%			

- impact évalué en biomasse d'anguilles argentées (Kg)

			Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes			Mortalité à l'aménagement						Mortalités occasionnées / total Seine	Mortalités occasionnées / biomasse totale Seine amont Poses %			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %		
Barrage	Centrales	Type turbines					biomasse d'anguilles argentées Kg			% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage									
							moy	min	max	moy	min	max							
				moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	
Meaux	projet VNF	VLH	7 102	7 102	7 102	7 102	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Bougival	projet VNF	VLH	31 251	31 251	31 251	31 251	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Dénouval	projet VNF	VLH	43 041	43 041	43 041	43 041	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Méricourt	Energie France	Kaplan	48 799	48 799	48 799	48 799	2 399	1 256	6 465	5%	3%	13%	2%	1%	5%	4%	2%	10%	
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	48 799	48 799	48 799	48 799	420	220	1 132	1%	0%	2%	0%	0%	1%	1%	0%	2%	
Sous total Méricourt			48 799	48 799	48 799	48 799	2 819	1 476	7 597	6%	3%	16%	2%	1%	6%	4%	2%	12%	
NDLG	Unit Energie	Kaplan	55 308	52 489	53 832	47 710	2 252	1 324	5 503	4%	2%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	
NDLG	projet VNF	VLH	55 308	52 489	53 832	47 710	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Sous total Notre Dame la Garenne			55 308	52 489	53 832	47 710	2 252	1 324	5 503	4%	2%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	63 205	58 134	60 406	50 105	3 657	2 150	7 478	6%	4%	15%	3%	2%	6%	6%	3%	12%	
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	63 205	58 134	60 406	50 105	223	140	395	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	63 205	58 134	60 406	50 105	843	496	1 724	1%	1%	3%	1%	0%	1%	1%	1%	3%	
Sous Total poses			63 205	58 134	60 406	50 105	4 724	2 786	9 598	8%	5%	19%	4%	2%	8%	7%	4%	15%	
Total			63 205	/	/	/	9 795	5 586	22 698	/	/	/	8%	5%	19%	15%	9%	36%	

- impact évalué en quantité d'œufs

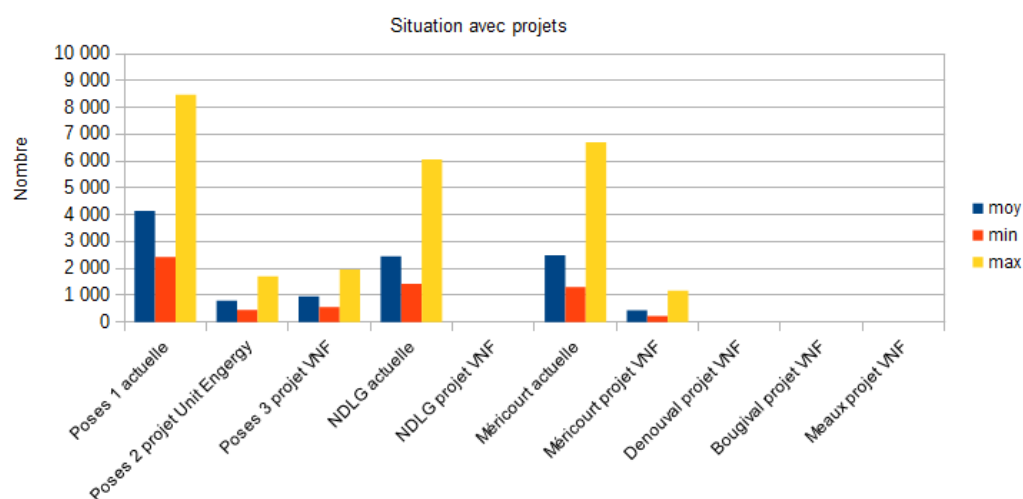
			Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes En oeufs	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes			Mortalité à l'aménagement						Mortalités occasionnées / total Seine			pertes oeufs occasionnées / total Seine amont Poses %			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %		
Barrage	Centrales	Type turbines					Pertes quantité d'oeufs			% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage											
				moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max
Meaux	projet VNF	VLH	2,44E+10	2,4E+10	2,4E+10	2,4E+10	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Bougival	projet VNF	VLH	1,07E+11	1,1E+11	1,1E+11	1,1E+11	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Denouval	projet VNF	VLH	1,47E+11	1,5E+11	1,5E+11	1,5E+11	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Méricourt	Energie France	Kaplan	1,66E+11	1,7E+11	1,7E+11	1,7E+11	8,3E+09	4,3E+09	2,2E+10	5%	3%	13%	2%	1%	6%	4%	2%	11%	25%	23%	29%
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	1,66E+11	1,7E+11	1,7E+11	1,7E+11	1,5E+09	7,6E+08	3,9E+09	1%	0%	2%	0%	0%	1%	1%	0%	2%	4%	4%	5%
Sous total Méricourt			1,66E+11	1,7E+11	1,7E+11	1,7E+11	9,7E+09	5,1E+09	2,6E+10	6%	3%	16%	3%	1%	7%	5%	2%	12%	29%	27%	34%
NDLG	Unit Energie	Kaplan	1,87E+11	1,8E+11	1,8E+11	1,6E+11	7,8E+09	4,6E+09	1,9E+10	4%	3%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	23%	24%	24%
	projet VNF	VLH	1,87E+11	1,8E+11	1,8E+11	1,6E+11	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Sous total Notre Dame la Garenne			1,87E+11	1,8E+11	1,8E+11	1,6E+11	7,8E+09	4,6E+09	1,9E+10	4%	3%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	23%	24%	24%
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	2,12E+11	1,9E+11	2,0E+11	1,7E+11	1,3E+10	7,4E+09	2,6E+10	6%	4%	15%	3%	2%	7%	6%	3%	12%	37%	39%	33%
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	2,12E+11	1,9E+11	2,0E+11	1,7E+11	6,8E+08	4,3E+08	1,2E+09	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	2%	2%
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	2,12E+11	1,9E+11	2,0E+11	1,7E+11	2,9E+09	1,7E+09	5,9E+09	1%	1%	4%	1%	0%	2%	1%	1%	3%	9%	9%	8%
Sous Total poses			2,12E+11	1,9E+11	2,0E+11	1,7E+11	1,6E+10	9,5E+09	3,3E+10	8%	5%	20%	4%	2%	9%	8%	4%	15%	48%	50%	42%
Total			2,12E+11	/	/	/	3,4E+10	1,9E+10	7,8E+10	/	/	/	9%	5%	20%	16%	9%	37%	100%	100%	100%

Il ressort :

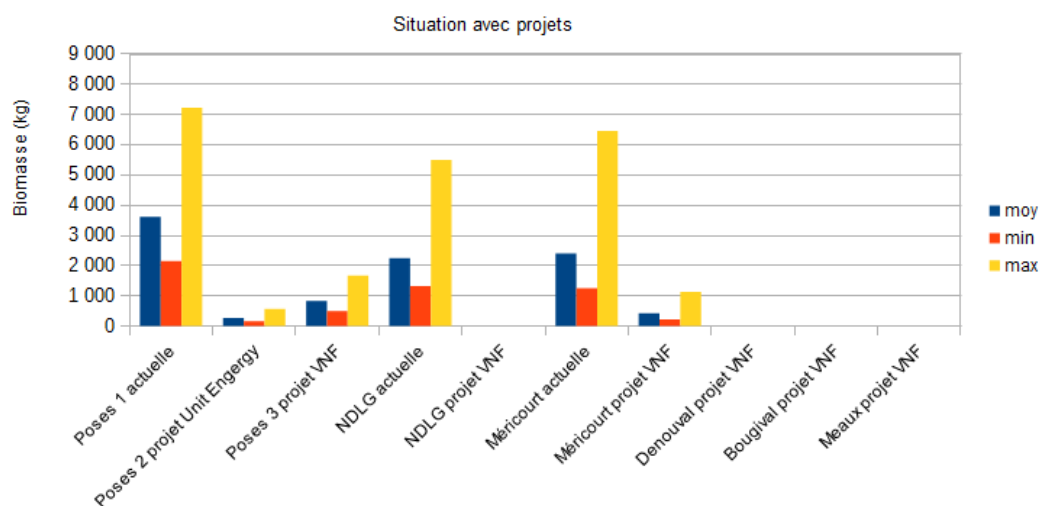
- des pertes liées au projet plus faibles que les centrales existantes (dues notamment aux débits turbinés plus faibles) ;
- l'absence de pertes sur les 4 projets avec turbines VLH (VNF Meaux, VNF Bougival, VNF Dénouval, VNF Notre Dame la Garenne), et des pertes sur les 3 autres projets (Poses Unit Energy, Poses VNF, Méricourt VNF) ;

- des pertes sur les projets VNF de Poses et Méricourt importante au regard des débits turbinés du fait du type de turbine proposé et de l'absence de dispositifs de dévalaison ;
- des pertes sur le projet Unit Energy Poses relativement faibles du fait de grilles fines (espacement 2 cm) au niveau de la prise d'eau.

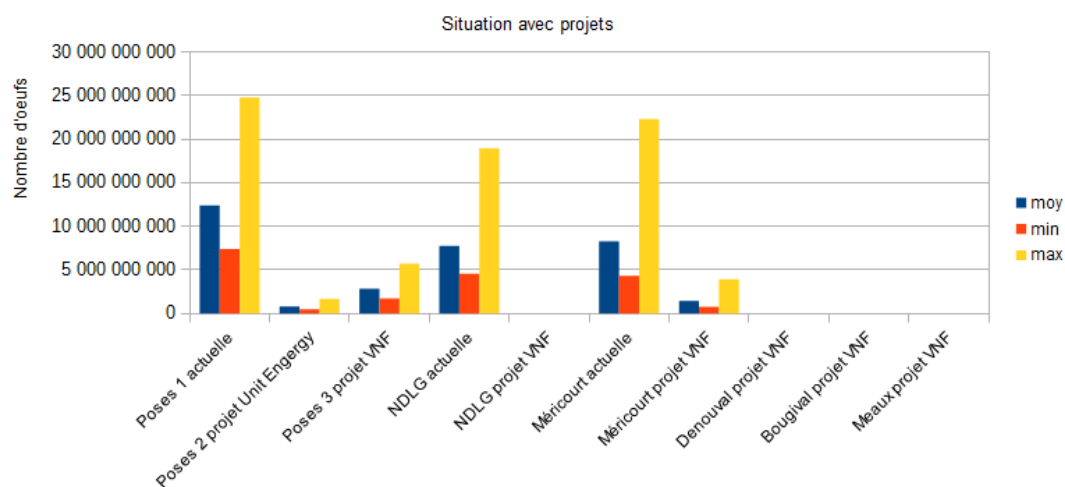
Estimations des pertes d'anguilles argentées par centrale



Estimations des pertes d'anguilles argentées par centrale



Estimations des pertes d'anguilles argentées par centrale



Approche comparée situation actuelle et situation avec projets

L'implantation d'un nouveau projet de centrale est susceptible de provoquer une augmentation des mortalités de part l'impact du projet lui-même et de part la modification des équilibres avec les centrales déjà en place.

Ainsi lorsqu'un barrage est déjà équipé d'une centrale, l'ajout d'une nouvelle centrale entraîne une diminution des débits déversés à l'échelle du barrage, ce qui est susceptible d'orienter davantage d'anguilles vers la centrale déjà en place dans la mesure où l'échappement des anguilles par les ouvrages de décharge n'obéit pas à une règle linéaire.

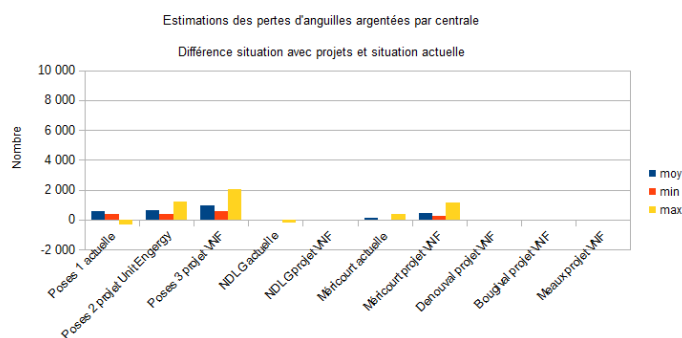
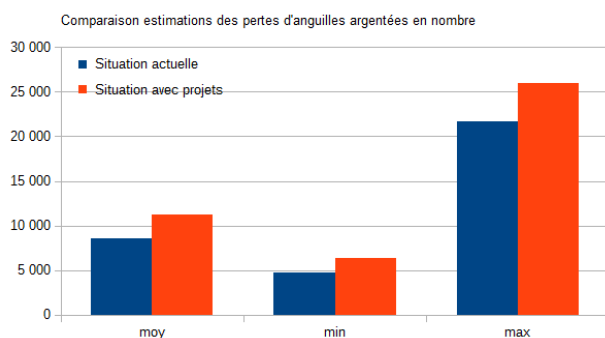
En outre l'implantation de projets sur les barrages amont entraîne de pertes supplémentaires et donc une moindre part d'anguilles qui poursuivent leur dévalaison vers les ouvrages aval. Dans ce cas, les centrales aval provoquent des mortalités plus faibles après implantation des projets amont.

Cette approche comparée des 2 situations permet ainsi d'évaluer l'impact supplémentaire réel lié à l'implantation de nouveaux projets qui intègre l'impact des projets et les modifications d'impact sur les centrales déjà en place.

Comparaison des pertes situation actuelle et situation avec projets

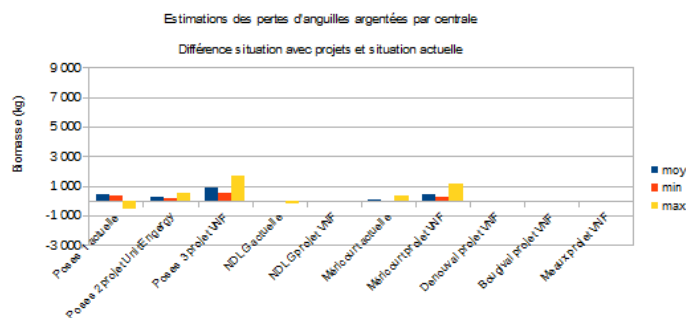
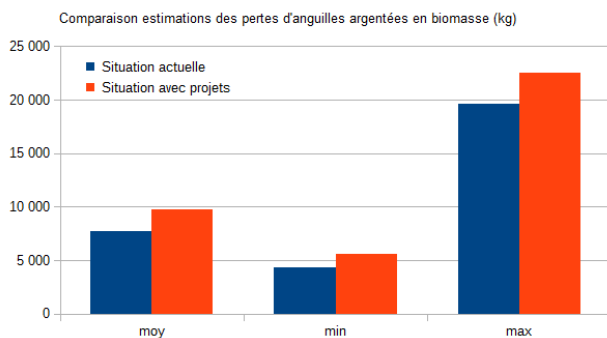
Estimations pertes en nombre

	Situation actuelle	Situation avec projets	différence avec projets et actuelle : D	D / actuelle	cumul production Andelle, Risle, Eure	Pertes situation actuelle/ C	Pertes situation avec projets/C
moy	8 510	11 199	2 689	32%	9535	0,9	1,2
min	4 747	6 360	1 613	34%	9535	0,5	0,7
max	21 651	25 933	4 282	20%	9535	2,3	2,7



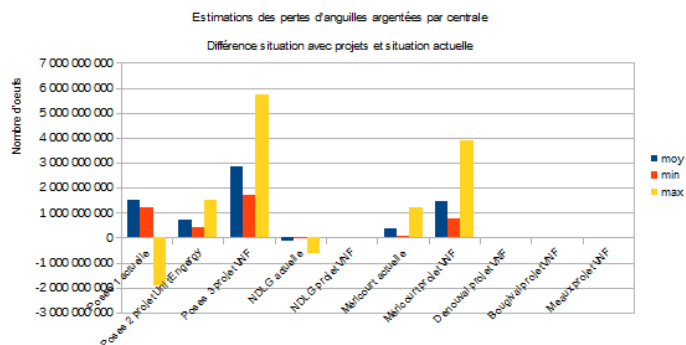
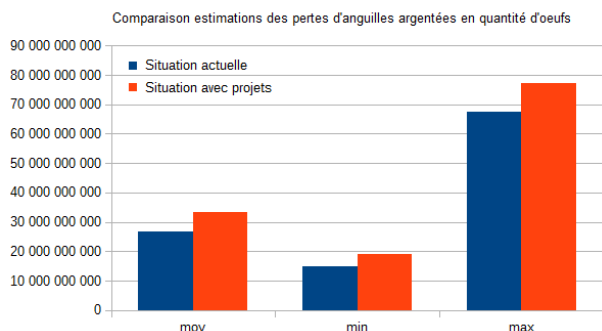
Estimations pertes en biomasse (kg)

	Situation actuelle	Situation avec projets	différence avec projets et actuelle : D	D / actuelle	cumul production Andelle, Risle, Eure	Pertes situation actuelle/ C	Pertes situation avec projets/C
moy	7 762	9 795	2 033	26%	4484	1,7	2,2
min	4 363	5 586	1 222	28%	4484	1,0	1,2
max	19 584	22 698	3 115	16%	4484	4,4	5,1



Estimations pertes en quantité d'œufs

	Situation actuelle	Situation avec projets	différence avec projets et actuelle : D	D / actuelle	cumul production Andelle, Risle, Eure	Pertes situation actuelle/ C	Pertes situation avec projets/C
moy	26 734 952 834	33 635 745 661	6 900 792 827	26%	14 185 413 605	1,9	2,4
min	15 034 388 865	19 185 735 314	4 151 346 449	28%	14 185 413 605	1,1	1,4
max	67 417 192 894	77 954 822 928	10 537 630 035	16%	14 185 413 605	4,8	5,5



Cette approche comparée des 2 situations fait ressortir sur les 6 périodes de dévalaison modélisées l'impact supplémentaire lié à la mise en place des projets :

- **En moyenne**, les mortalités actuelles sont estimées à 7,8 tonnes et les mortalités avec projets à 9,8 tonnes. **La mise en place des projets provoque** donc une augmentation des mortalités de **2 tonnes, soit 26 % des mortalités actuelles**. Sur ces 2 tonnes, 1,5 tonnes est lié à l'impact des projets eux-mêmes et 0,5 tonnes est liée à une modification des équilibres avec les centrales déjà en place ;
- Au minimum, les mortalités actuelles sont estimées à 4,4 tonnes et les mortalités avec projets à 5,6 tonnes. La mise en place des projets provoque donc une augmentation des mortalités de 1,2 tonnes, soit 28 % des mortalités actuelles. Sur ces 1,2 tonnes, 0,85 tonnes est lié à l'impact des projets eux-mêmes et 0,35 tonnes est liée à une modification des équilibres avec les centrales déjà en place ;
- A maximum, les mortalités actuelles sont estimées à 19,6 tonnes et les mortalités avec projets à 22,7 tonnes. La mise en place des projets provoque donc une augmentation des mortalités de 3,1 tonnes, soit 16 % des mortalités actuelles. Dans ce cas la mortalité cumulée des projets est de 3,25 tonnes. Ainsi contrairement aux 2 situations précédentes, la modification des équilibres avec les centrales déjà en place provoque une légère diminution des pertes de 0,15 tonne sur ces centrales.

Ainsi, l'implantation de nouveaux projets mérite une attention particulière. La mise en œuvre de solutions pour éviter et réduire les impacts à la conception permet de réduire la mortalité du projet lui-même, mais ne permet pas de réduire la part des mortalités supplémentaires éventuelles liées au report vers les centrales déjà en place.

Résultats en cas d'optimisation des prises d'eau sur les 2 projets impactant (Poses 3 de VNF et Méricourt 2 de VNF)

Le tableau suivant présente les résultats en cas de mise en place de prise d'eau optimisée pour la dévalaison (grille fine inclinée, exutoire de dévalaison avec débit réservé adapté) sur les 2 projets les plus impactant (Poses 3 de VNF et Méricourt 2 de VNF).

- impact évalué en biomasse d'anguilles argentées (Kg)

Barrage	Centrales	Type turbines	Total anguilles argentées susceptibles de se présenter sans prise en compte des pertes	Total anguilles argentées se présentant en amont avec prise en compte des pertes			Mortalité à l'aménagement						Mortalités occasionnées / total Seine			Mortalités occasionnées / biomasse totale Seine amont Poses %			Pertes occasionnées / Pertes totales sur le bassin %				
							biomasse d'anguilles argentées Kg			% mortalité à l'ouvrage = pertes à l'ouvrage/ anguilles amont ouvrage													
				moy	min (pertes)	max (pertes)	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max								
Meaux	projet VNF	VLH	7 102	7 102	7 102	7 102	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bougival	projet VNF	VLH	31 251	31 251	31 251	31 251	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Denouval	projet VNF	VLH	43 041	43 041	43 041	43 041	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Méricourt	Energie France	Kaplan	48 799	48 799	48 799	48 799	2 399	1 256	6 465	5%	3%	13%	2%	1%	5%	4%	2%	10%	27%	25%	32%		
Méricourt	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	48 799	48 799	48 799	48 799	37	20	101	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Sous total Méricourt			48 799	48 799	48 799	48 799	2 436	1 275	6 566	5%	3%	13%	2%	1%	5%	4%	2%	10%	28%	26%	32%		
NDLG	Unit Energie	Kaplan	55 308	52 872	54 032	48 742	2 281	1 330	5 633	4%	2%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	26%	27%	28%		
NDLG	projet VNF	VLH	55 308	52 872	54 032	48 742	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Sous total Notre Dame la Garenne			55 308	52 872	54 032	48 742	2 281	1 330	5 633	4%	2%	12%	2%	1%	5%	4%	2%	9%	26%	27%	28%		
Poses	Unit Energie actuelle	Kaplan	63 205	58 489	60 601	51 007	3 693	2 158	7 628	6%	4%	15%	3%	2%	6%	6%	3%	12%	42%	44%	37%		
Poses	Unit Energie projet	Kaplan (groupe Water Wing)	63 205	58 489	60 601	51 007	224	140	398	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	3%	2%		
Poses	projet VNF	Kaplan (groupe Bulbe)	63 205	58 489	60 601	51 007	96	54	207	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%		
Sous Total poses			63 205	58 489	60 601	51 007	4 013	2 352	8 233	7%	4%	16%	3%	2%	7%	6%	4%	13%	46%	47%	40%		
Total			63 205	/	/	/	8 730	4 957	20 432	/	/	/	7%	4%	17%	14%	8%	32%	100%	100%	100%		

Les pertes sur les 2 projets considérés baissent de façon très importante avec une estimation à en moyenne 0,133 tonnes (à comparer à 1,25 tonnes en situation sans prise d'eau optimisée pour la dévalaison).

Ces résultats illustrent l'effet de l'implantation de prise d'eau ichtyocompatibles sur la réduction des mortalités à la dévalaison, une des solutions présentées dans la partie suivante.

4 SOLUTIONS ET PRÉCONISATIONS POUR LIMITER LES DOMMAGES SUR LES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES CONCERNÉES

4.1 LES SOLUTIONS POTENTIELLES

Dans le cadre de la mise en œuvre du règlement européen anguille de 2007, la France s'est engagée dans un plan de gestion visant à agir sur chacun des facteurs de déclin de l'espèce.

Dans le cadre du plan de gestion anguille français et plus particulièrement sur le volet ouvrage, le Ministère en charge de Développement durable a initié un programme de recherche & développement multi-partenarial, réunissant l'Ademe, l'Onema et cinq acteurs français de l'hydroélectricité : Compagnie Nationale du Rhône, EDF, France Hydro Électricité, GDF Suez, Société hydroélectrique du Midi. Ce programme R&D a été mis en place pour mettre au point et tester des solutions techniques en vue d'une mise en œuvre sur les territoires. Concernant l'amélioration des conditions de dévalaison des anguilles, les solutions suivantes ont été testées (cf. synthèse du séminaire R&D, 2011) :

Barrières sensorielles

Le programme R&D a étudié les solutions consistant à empêcher l'accès des anguilles aux prises d'eau des turbines. Un dispositif de répulsion à infrasons développé par Profish Technologies a par exemple été testé, deux années durant, au moyen de 150 anguilles équipées d'émetteurs, sur deux sites aux configurations très différentes sur le Gave de Pau. Les résultats (F. Bau, Irstea) n'ont montré aucune différence significative dans le comportement des anguilles, en présence ou non des infrasons.

Dans la suite de l'étude cette solution est donc non reprise.

Prises d'eau ichtyocompatibles

La mise en place de grilles à faible espacement libre entre barreaux, associées à un ou plusieurs exutoires permettant le transit des anguilles sans dommage à l'aval permet d'arrêter les anguilles et de les empêcher de passer par les turbines.

En 2008, une étude (Courret et Larinier) a permis de définir les bases de conception et de dimensionnements de telles grilles à partir du retour d'expériences menées en France comme à l'étranger.

Pour guider les poissons vers un exutoire, il est préconisé d'implanter :

- soit un plan de grille vertical, orienté par rapport à la direction de l'écoulement, l'exutoire étant alors positionné à l'extrémité aval du plan de grille ;
- soit un plan de grille perpendiculaire à l'écoulement, fortement incliné par rapport à l'horizontale, un ou plusieurs exutoires selon la largeur de la prise d'eau étant alors positionnés au sommet.

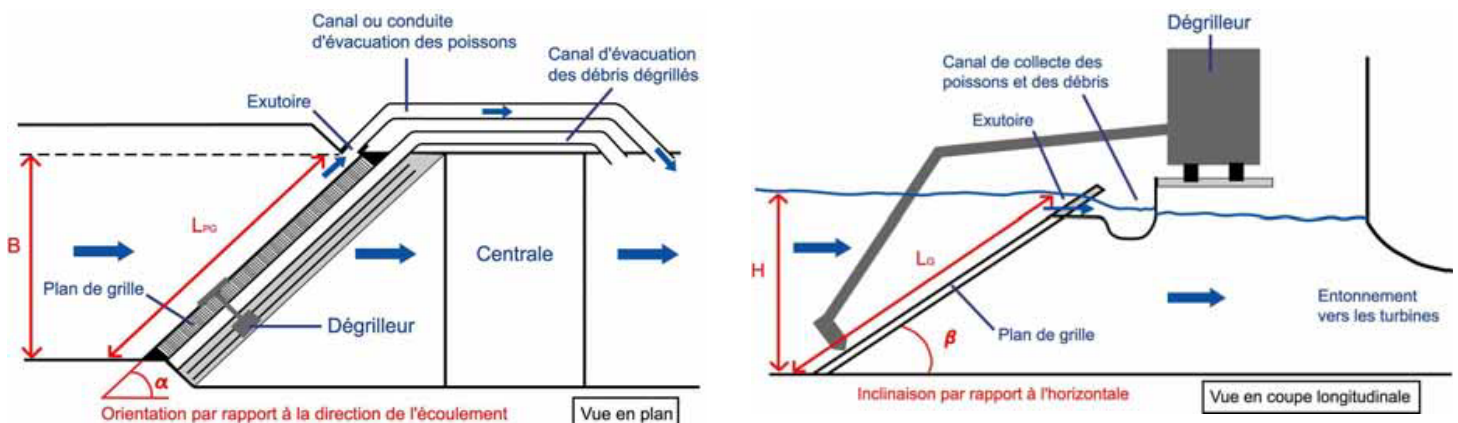


Schéma de principe de prises d'eau ichtyocompatibles, inclinée (à droite) ou orientée (à gauche)
Source (Courret et Larinier, 2008)

À ce jour, pour traiter la dévalaison de l'anguille, il est possible techniquement de réaliser des systèmes de grilles à 20 mm d'espacement et d'exutoires pour ces centrales jusqu'à environ 100 m³/s, avec une attention particulière sur la mise en place de système de dégrillage adapté.

Ce type de solutions est déployé depuis une dizaine d'année sur de nombreux sites de petites et moyenne importance implantés sur des cours d'eau Normand.



**Photo de prises d'eau ichtyocompatible pour la dévalaison sur la Risle
(source : D Courret, ONEMA)**

Pour les centrales plus importantes, cette solution semble actuellement difficile à mettre en œuvre techniquement (largeur importante des prises d'eau, impossibilité de mettre en place des grilles fortement inclinées, contraintes liées au dégrillage). Des améliorations dans les systèmes de dégrillages sont à l'étude. Par exemple la société MA Industrie vient notamment de proposer récemment un système de dégrilleur dont les bras peuvent être plus longs, facilitant ainsi la faisabilité de plans de grille inclinés dans les prises d'eau profondes.

Arrêt de turbinage ciblés

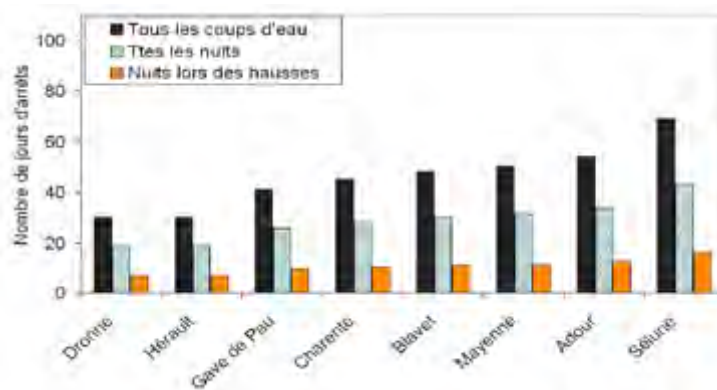
Les arrêts ciblés de turbinage constituent une solution qui a été mise en œuvre sur certains cours d'eau et testée dans le cadre du programme R&D pour estimer les durées potentielles.

Sur la base d'analyses de l'hydrologie des rivières en période de dévalaison. Les suivis réalisés sur le Gave de Pau ont fourni une vision des conditions de débit liées aux fenêtres de dévalaison.

Il est apparu que 83% des franchissements d'ouvrages observés ont lieu lors des «coups d'eau», périodes de variation significative du débit. En outre, 83 % des franchissements ont eu également lieu de nuit (entre 17h et 8h) ; 50 % des franchissements ont eu lieu lors des coups d'eau supérieurs à quatre fois le module du cours d'eau. Les hausses de débit survenant de nuit sur le Gave de Pau représentent en moyenne 10 jours par an, et concentrent 59 % des passages d'anguilles.

Ces résultats ne peuvent toutefois être totalement généralisés étant donné le caractère spécifique de l'expérimentation du Gave de Pau.

Pour d'autres cours d'eau, marqués par des régimes hydrologiques différents, les durées d'arrêt correspondant aux mêmes critères peuvent varier sensiblement. L'analyse de chroniques hydrologiques pour huit autres rivières françaises a permis d'estimer, à titre de comparaison, le nombre de jours correspondant aux coups d'eau ; aux coups d'eau survenant de nuit ; et aux hausses de débit survenant de nuit. Ces résultats sont donnés sur la figure suivante.



Durée potentielle d'arrêts de turbinage selon différents scénarios de gestion pour huit rivières françaises (synthèse du séminaire R&D, 2011)

Les limites suivantes sont à prendre en compte.

Une des difficultés réside dans le fait de cibler les événements de dévalaison et d'être en capacité de les anticiper. Les règles d'arrêt du turbinage définies sur un cours d'eau ne semblent pas directement transposables à un autre cours d'eau dans un contexte hydrologique différent. Ainsi sur des cours d'eau avec des suivis robustes de la dévalaison, cette solution semble pouvoir être mise en œuvre efficacement. Par contre sur des cours d'eau comme la Seine où aucun suivi n'est actuellement réalisé, la prédiction des pics de dévalaison est trop incertaine pour envisager une mise en œuvre efficace.

En outre, il y a une dizaine d'années, la période de dévalaison des anguilles était considérée comme bien circonscrite aux mois d'hiver. Les différents suivis réalisés depuis ont montré que des événements non négligeables de dévalaison peuvent se produire dès la fin de l'été, ainsi qu'au printemps. De plus en plus, la dévalaison de l'anguille a l'air de pouvoir se produire plus ou moins toute l'année, dès qu'il y a un coup d'eau. Le nombre de nuits d'arrêt de turbinage nécessaires semblent ainsi bien plus important qu'imaginé initialement. Cela pourrait donc impacter finalement de façon importante la rentabilité des centrales sur lesquelles de telles mesures seraient mises en œuvre.

Il s'agit ainsi d'une solution à réserver au cas où les autres ne sont vraiment pas possibles, en ayant bien conscience des limites et des efforts très importants d'études nécessaires, sans garantie initiale d'arriver à un résultat satisfaisant.

Turbines ichtyocompatibles

Une solution pour réduire les impacts des ouvrages hydroélectriques sur les anguilles consiste à disposer de turbines dites « ichtyocompatibles », dont la conception limite ou annule les différents facteurs de dommages infligés aux poissons : chocs sur les pales, coincement entre les pales et le manteau, cisaillement de l'écoulement, gradients de vitesses et de pression.

C'est le cas du groupe turbogénérateur ichtyophile® VLH (Very low head) développé par MJ2 Technologies, turbine de basse chute. La configuration « 2^{ème} génération » de VLH a été testée in situ lors du programme R&D, à la centrale de Frouard (54) sur la Moselle. L'expérience a confirmé les très bonnes propriétés d'ichtyocompatibilité du système : le taux de mortalité immédiate est nul ; le taux de blessures légères, non léthales à court terme (24 à 48h) est de l'ordre de 2%.



Photo de turbines VLH (source : M Larinier, ONEMA)

Les turbines VLH sont adaptées pour les faibles et moyennes chutes, ce qui est le cas des chutes au droit des barrages de navigation de la Seine aval.

Dans le cas des centrales existantes avec des turbines de grand diamètre, une solution à long terme est de rechercher l'ichtyocompatibilité (ou presque) des machines. Ces turbines, du fait de leurs grands diamètres et de leurs faibles vitesses de rotation, possèdent des caractéristiques qui soit au travers de remplacements de machines, soit au travers de modifications (réduction des interstices, améliorations du bord d'attaques de la pale, ...) pourraient présenter des mortalités très faibles.

De telles expérimentations sont actuellement engagées aux

Etats Unis sur la cote ouest (très grosses turbines).

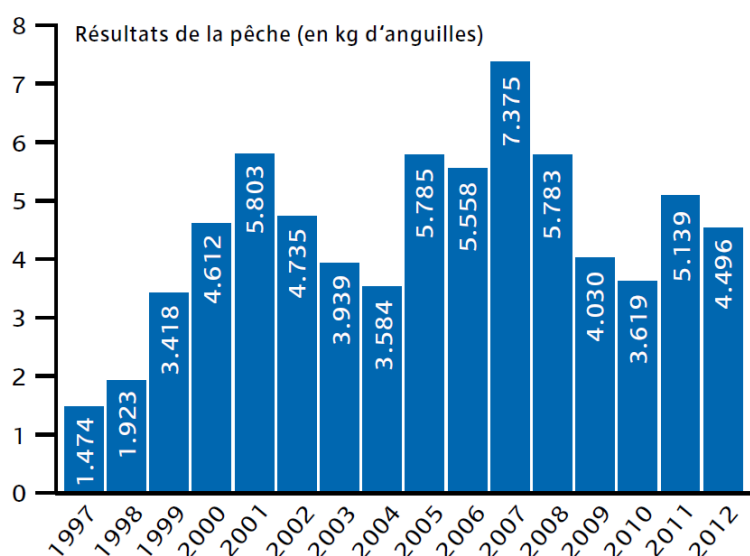
A ce jour en France, une telle réflexion est en cours sur le Rhin.

Capture en amont des centrales et transport à l'aval

Exemple de l'initiative de protection des anguilles, land de Rhénanie-Palatinat et de RWE Power, sur le cours de la Moselle.

La partie aval de la Moselle en amont de la confluence avec le Rhin compte une dizaine de centrale hydroélectrique exploitées par la société RWE Power (débit turbinée par centrale de l'ordre de 400 m³/s). Sur ce tronçon une pêcherie a été mise en place en amont de la série d'ouvrages hydroélectriques ciblant les anguilles argentées. Les anguilles capturées sont ensuite transportées jusqu'au Rhin près de Linz afin que celles-ci puissent ainsi poursuivre leur migration jusqu'au delta du Rhin sans devoir passer par des barrages dotés de centrales hydrauliques. Par an, environ 10 000 à 15 000 anguilles parviennent ainsi sans risque dans le Rhin.

Aucune estimation du stock d'anguilles argentées total n'est fourni. Il n'est donc pas possible d'évaluer la part que représentent ces captures.



Sur des cours d'eau de grande importance comme la Seine aval, cette solution ne permettait pas a priori de gains significatifs, sauf à envisager la mise en œuvre de moyen très importants de pêcherie.

4.2 LES SOLUTIONS ENVISAGEABLES SUR LES CENTRALES EXISTANTES DE L'AVAL DE LA SEINE

Le tableau suivant précise pour les différentes solutions potentielles, la faisabilité technique sur les centrales hydroélectriques de l'aval de la Seine et les contraintes éventuelles. Les éléments liés au coût de mise en œuvre ou de poids économique sur le fonctionnement des installations ne sont pas dimensionnés dans la présente étude.

Solutions	Déclinaisons	Faisabilité technique (oui/non)	Commentaires : limites, études techniques à réaliser...	Gain potentiel (faible/moyen / fort)
Prises d'eau ichtyocompatibles	Remplacement des prises d'eau et resserrement des barreaux	non	Non faisable techniquement sur ce type de configuration avec débit turbiné > 100 m³/s : Largeur de prise d'eau et profondeur importante	Fort mais ici sans objet
	Amélioration des exutoires de dévalaison sans reprise du plan de grille	non	Largeur du plan de grille importante, supérieure à 40 m Non efficace du fait de grille avec barreaux très espacés (9 cm) et de vitesse d'approche importante : 70 cm/s qui ne permet pas un guidage des poissons vers les exutoires de dévalaison	Non efficace
Arrêt de turbinage ciblés : 2 options	Arrêt de turbinage sur les coups d'eau la nuit	oui	Limites : - actuellement pas de suivis de la dévalaison de l'anguille réalisés en Seine pour caler les prédictions - contraintes économiques à évaluer Études techniques à réaliser : - étude hydrologique des pics de crues - prédiction de dévalaison à affiner avec pêcheerie expérimentale - évaluer le coût de la mesure	moyen
	Arrêt de turbinage sur les coups d'eau la nuit quand l'hydrologie est faible	oui	Années avec le plus d'impact : exemple année 2015-2016, avec débits d'automne relativement faibles Limites : - actuellement pas de suivis de la dévalaison de l'anguille réalisés en Seine pour caler les prédictions - contraintes économiques à évaluer Études techniques à réaliser : - étude hydrologique des pics de crues - prédiction de dévalaison à affiner avec pêcheerie expérimentale - évaluer le coût de la mesure	moyen
Turbines ichtyocompatibles	Remplacement des turbines actuelles par des turbines « optimisées » présentant des taux de mortalité très faibles ou nuls	oui	Limites : - a priori recherche et développement encore non abouti - contrainte économique forte, à envisager notamment lorsque les turbines nécessitent un remplacement	Fort
Capture et transport	Capture en amont de Méricourt, transport aval Poses	oui	Limites - mise en place contrainte par la navigation : implantation possible sur la portion non empruntée par navigation - efficacité a priori très limitée sur des cours d'eau de grande taille - nécessite la mise en place d'une pêcheerie importante et gestion	Très Faible

4.3 LES SOLUTIONS ENVISAGEABLES SUR LES CENTRALES DES PROJETS DE DÉVELOPPEMENT SUR LA SEINE ET LA MARNE

Dans les cas des centrales existantes, les solutions actuelles consistent à réduire ou compenser partiellement les impacts à la dévalaison.

Dans le cadre de projet de développement, compte tenu de l'importance des évolutions récentes en matières de R&D, il est possible de concevoir des projets qui évitent les impacts à la dévalaison.

La mise en place de turbines ichtyocompatibles en est un très bon exemple.

Les turbines VLH envisagées sur les projets VNF de Meaux, Denouval, Bougival et Notre Dame la Garenne ne présentent ainsi pas d'impact à la dévalaison de l'anguille.

Sur les autres projets les préconisations de précision ou d'adaptation des projets sont les suivantes.

Projet actuel	Impact projet actuel	Adaptations proposées	Contraintes	Impact avec adaptations des projets
Méricourt VNF / 1 Groupe Bulbe / Turbine Kaplan / 25 m³/s	fort	Option 1 : Remplacement du groupe bulbe par une turbine VLH	Emplacement disponible à confirmer	Aucun
pas de précision relatives à la prise d'eau et la prise en compte de la dévalaison des poissons		Option 2 : Mise en place d'une prise d'eau avec grille inclinée, espacement 2 cm, exutoire de dévalaison avec débit > 5 % du débit turbiné	Conception et installation grille dans écluse, dégrillage	Très faible
Poses 2 Unit Energy /4 Groupe Water Wing de 25m³/s/ Turbines Kaplan / 100 m³ /s Grilles espacements 2 cm prévues	A priori très faible	Resserrement de l'espacement des grilles à 1,5 cm afin d'améliorer la sélectivité sur les petits individus Étude ou analyse de retours d'expériences sur sites déjà installées sur le comportement des anguilles au droit des grilles de prise d'eau pour valider l'absence de difficultés pour le transit des poissons vers l'aval		Très faible
Poses 3 VNF/ 1 groupe bulbe / turbine Kaplan / 40m³/s	fort	Option 1 : Remplacement du groupe bulbe par une turbine VLH	Emplacement disponible à confirmer	Aucun
		Option 2 : Mise en place d'une prise d'eau avec grille inclinée, espacement 2 cm, exutoire de dévalaison avec débit > 5 % du débit turbiné	Conception et installation grille dans écluse, dégrillage	Très faible

Dans le cas du projet Poses 2 d'Unit Energy, il convient avant de valider la possibilité d'implantation du dispositif de disposer soit d'une étude hydraulique fine pour analyser le comportement des poissons lors de la dévalaison au niveau des grilles et de préciser la manière dont le transit à l'aval est assuré, soit d'analyses de retours d'expériences sur d'autres sites déjà en place.

Les vitesses normales au niveau de la grille de prise d'eau sont légèrement supérieures à 50 cm/s dans la configuration envisagée. Ceci est au-dessus de la limite acceptable car susceptible de provoquer le plaquage des poissons sur la grille. Toutefois compte tenu des écoulements a priori au-dessus et au-dessous du dispositif (et donc de l'absence de zone en cul de sac), il est probable que ces vitesses d'approche bien qu'élevées ne provoquent pas de plaquage et ne posent pas de difficultés pour permettre un transit des poissons vers l'aval.

5 DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes.

Estimations des anguilles argentées produites sur le bassin de la Seine en 2012

La production d'anguilles argentées en 2012, issue de la modélisation nationale des abondances réalisée par l'EPTB-Vilaine, le pôle ONEMA-INRA de Rennes et l'IRSTEA, est estimée à :

- 613 tonnes en France ;
- 147 tonnes dans l'unité de gestion anguille Seine-Normandie (correspondant au bassin Seine Normandie et côtiers normands), soit 24 % de la production en France ;
- 122 tonnes dans le bassin de la Seine et ses affluents, soit 20 % de la production en France ;

Le bassin de la Seine a donc un niveau de responsabilité important dans la préservation de l'espèce anguille à l'échelle nationale.

La répartition au sein du bassin de la Seine par rapport à l'ouvrage de Poses (premier ouvrage à la mer) est la suivante :

- 63 tonnes (92 000 anguilles argentées), dans la Seine et ses affluents **en amont de Poses**, comprenant une part importante d'anguilles de grandes tailles et de femelles ;
- 59 tonnes (180 000 anguilles argentées), dans la Seine **entre la mer et Poses** et ses affluents, comprenant une part importante d'anguilles de petites tailles et de mâles.

Les affluents de l'aval de la Seine en zone d'action prioritaire sur lesquels les mises aux normes dévalaison ont été réalisées au cours du premier plan de gestion anguilles 2010-2015, à savoir la **Risle, l'Eure et l'Andelle**, ont une production totale estimée en 2012 à environ 4,5 tonnes, soit 3,7 % de la production de l'ensemble de Seine et ses affluents. Ces chiffres confirment l'enjeu à engager des actions plus largement sur la Seine et ses autres affluents.

Estimations des mortalités à la dévalaison des anguilles argentées sur les 3 ouvrages hydroélectriques de l'aval de la Seine (Poses, Notre Dame la Garenne, Méricourt) en situation existante

Les mortalités ont été estimées pour 6 périodes de dévalaison : de 2010 à 2016 pour la période 1^{er} octobre-31 janvier.

Impact sur la biomasse

Les estimations des mortalités cumulées des 3 ouvrages actuels sur les 6 années modélisées présentent de fortes variations en fonction de l'hydrologie :

- En moyenne l'estimation des mortalités cumulées est de 7,8 tonnes (8510 anguilles), soit 12 % de la biomasse d'anguilles argentées produite en amont de Poses (63 tonnes) et 6 % de la biomasse produite sur le bassin de la Seine (122 tonnes) ;
- Les années à forte hydrologie comme 2010-2011, l'estimation de la mortalité cumulée est plus faible et s'élève à 4,4 tonnes (4360 anguilles), soit 7 % de la biomasse d'anguilles argentées produite en amont de Poses (63 tonnes) et 4 % de la biomasse produite sur le bassin de la Seine (122 tonnes) ;
- Les années à faible hydrologie comme 2015-2016, l'estimation de la mortalité est plus forte et s'élève à 19,6 tonnes (21 650 anguilles), soit 31 % de la biomasse d'anguilles argentées produite en amont de Poses (63 tonnes) et 16 % de la biomasse produite sur le bassin de la Seine (122 tonnes).

Ainsi l'importance de l'hydrologie est majeure et **l'enjeu est particulièrement important pour les automnes et hivers à faibles débits**.

La part des mortalités par centrale est globalement équivalente du fait de caractéristiques techniques proches (caractéristiques des turbines et débits turbinés relativement proches) : la répartition des mortalités par centrale est ainsi de 31 % pour Méricourt, 29 % pour Notre Dame la Garenne et 40 % pour Poses.

Impact sur la fécondité

Les calculs de la quantité d'œufs perdus permettent de fournir une estimation de l'impact des centrales sur les capacités de reproduction de la population.

Les estimations des pertes en œufs dues aux 3 ouvrages actuels s'élèvent pour les 6 périodes de dévalaison modélisées à :

- en moyenne, 13 % de la quantité d'œufs produite par les anguilles argentées en amont de Poses et 7 % de la quantité d'œufs produite par les anguilles argentées de l'ensemble du bassin de la Seine ;
- au minimum, 7 % de la quantité d'œufs produite par les anguilles argentées en amont de Poses et 4 % de la quantité d'œufs produite par les anguilles argentées de l'ensemble du bassin de la Seine ;
- au maximum, 32 % de la quantité d'œufs produite par les anguilles argentées en amont de Poses et 18 % de la quantité d'œufs produite par les anguilles argentées de l'ensemble du bassin de la Seine.

L'impact sur la fécondité est ainsi légèrement supérieur à l'impact sur la biomasse.

Comparaison à la production de la Risle, de l'Eure et de l'Andelle

L'estimation des pertes correspond en moyenne à 1,7 fois la biomasse d'anguilles argentées cumulées produite par les 3 affluents Risle, Eure, Andelle de l'aval de la Seine et 1,9 fois la fécondité de ces 3 affluents.

Estimations des mortalités à la dévalaison des anguilles argentées supplémentaires engendrées par la mise en place de nouveaux projets hydroélectriques

Les projets pris en compte dans l'étude sont ceux qui ont fait l'objet d'un dépôt de dossier pour précadrage environnemental, dans le cadre de l'appel à projets hydroélectricité du MEDDE de juillet 2016. Cette liste ne préjuge pas de la suite qui a pu être donnée par les porteurs de projets, et notamment de l'abandon de certains d'entre eux. 7 projets ont ainsi été pris en compte : 2 centrales à Poses, 1 à Notre Dame la Garenne, 1 à Méricourt, 1 à Dénouval, 1 à Bougival, 1 à Meaux.

Les caractéristiques précises des projets de centrales sont à ce stade non connues. Les données intégrées dans le modèle sont donc pour partie définies approximativement. C'est le cas notamment des caractéristiques de turbines nécessaires au calcul des taux de mortalité. Ainsi les résultats obtenus ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur. Cette approche, sans donner des résultats robustes, fournit les grandes tendances de mortalités supplémentaires engendrées par les nouveaux projets hydroélectriques.

Approche comparée situation actuelle et situation future avec projets

L'implantation d'un nouveau projet de centrale est susceptible de provoquer une augmentation des mortalités de part l'impact du projet lui-même et de part la modification des équilibres avec les centrales déjà en place.

L'approche comparée de la situation actuelle et de la situation avec projet fait ressortir sur les 6 périodes de dévalaison modélisées l'impact supplémentaire lié à la mise en place des projets :

- En moyenne, les mortalités actuelles sont estimées à 7,8 tonnes et les mortalités avec projets à 9,8 tonnes. La mise en place des projets provoque donc une augmentation des mortalités de 2 tonnes, soit 26 % des mortalités actuelles. Sur ces 2 tonnes, 1,5 tonnes est lié à l'impact des projets eux-mêmes et 0,5 tonnes est liée à une modification des équilibres avec les centrales déjà en place ;
- Au minimum, les mortalités actuelles sont estimées à 4,4 tonnes et les mortalités avec projets à 5,6 tonnes. La mise en place des projets provoque donc une augmentation des mortalités de 1,2 tonnes, soit 28 % des mortalités actuelles. Sur ces 1,2 tonnes, 0,85 tonnes est lié à l'impact des projets eux-mêmes et 0,35 tonnes est liée à une modification des équilibres avec les centrales déjà en place ;
- A maximum, les mortalités actuelles sont estimées à 19,6 tonnes et les mortalités avec projets à 22,7 tonnes. La mise en place des projets provoque donc une augmentation des mortalités de 3,1 tonnes, soit 16 % des mortalités actuelles. Dans ce cas, la mortalité cumulée des projets est de 3,25 tonnes. Ainsi contrairement aux 2 situations précédentes, la modification des équilibres entre centrales provoque une légère diminution des pertes de 0,15 tonne sur les centrales actuelles.

Ainsi, l'implantation de nouveaux projets mérite une attention particulière. La mise en œuvre de solutions pour éviter et réduire les impacts à la conception permet de réduire la mortalité du projet lui-même, mais ne permet pas de réduire la part des mortalités supplémentaires éventuelles liées au report vers les centrales déjà en place.

Répartition des mortalités par projets

L'impact des 7 projets est très différent :

- 4 projets (Meaux, Dénouval, Bougival, Notre Dame la Garenne) prévoient la mise en place de turbines VLH qui n'occasionnent pas de mortalité sur l'anguille à la dévalaison ;
- 1 projet (Poses 2, Unit Energy) prévoit la mise en place d'un groupe « water wing » avec turbine Kaplan et grille fine (espacement de 2 cm) au niveau de la prise d'eau permettant d'éviter le passage des anguilles de grandes tailles dans les turbines. Seules les anguilles de petites et moyennes tailles pourraient être amenées à passer par les turbines. En moyenne l'estimation des pertes est de 0,24 tonnes d'anguilles argentées sur la période de dévalaison.
- 2 projets prévoient la mise en place de turbines de type Kaplan sans apporter de précision sur l'équipement des prises d'eau (projets VNF à Poses et Méricourt). La modélisation a donc été réalisée sans mise en place de grille fine et d'exutoire de dévalaison. Dans ce cas les estimations mortalités de ces 2 projets seraient en moyenne de 1,25 tonnes. En cas de mise en place de prises d'eau ichtyocompatibles (grilles inclinées avec écartement de 2 cm, exutoire de dévalaison...), l'estimation des mortalités de ces 2 projets baisse à en moyenne 0,132 tonnes.

Préconisations de solutions sur les centrales actuelles

Les préconisations suivantes sont des propositions qui n'ont à ce stade pas fait l'objet de dimensionnement technique et économique. Elles constituent ainsi des orientations qui doivent faire l'objet d'études techniques et économiques complémentaires pour être éventuellement validées.

La taille importante des centrales existantes sur l'aval de la Seine ne permet pas la mise en œuvre de solutions techniques type prise d'eau ichtyocompatible (resserrement des barreaux à 2 cm notamment). La solution à terme passe a priori par **le remplacement des turbines** avec mise en place de turbines présentant peu ou pas d'impact. Actuellement ce type de turbines est encore au stade de développement.

Les solutions d'**arrêt de turbinage**, pour être envisagées, nécessitent au préalable une étude ou modélisation du rythme de dévalaison permettant de prédire les pics de dévalaison et d'orienter des arrêts sur ces pics de migration. En l'absence de ces prédictions des pics de dévalaison, les arrêts risquent de ne pas être significativement efficaces sur la réduction de mortalité tout en induisant une contrainte économique non négligeable sur la production hydroélectrique. Ce type de solution aurait surtout un intérêt les années à faible hydrologie où les déversements sont peu importants et les mortalités à la dévalaison de fait plus importantes.

Préconisations de solutions pour les projets

Compte tenu du stade a priori très en amont de la réalisation des projets, une adaptation des projets dès la conception est souhaitable pour les 3 qui prévoient l'installation de turbines type Kaplan, plus particulièrement 2 d'entre eux :

- pour le projet Poses 2 d'Unit Energie, la solution envisagée avec des grilles fines en amont présente a priori très peu d'impact sous réserve d'une étude complémentaire sur le comportement des anguilles au droit des grilles de la prise d'eau. Il convient en effet de bien vérifier le non plaquage des individus et le transit vers l'aval des individus sans mortalité. Il est recommandé d'adapter l'espacement de la grille à 1,5 cm pour mieux préserver les petits et moyens individus ;
- pour les projets de VNF à Poses et Méricourt, où à ce stade du dossier aucun dispositif n'est proposé pour la dévalaison, il convient soit de prévoir la mise en place d'une prise d'eau ichtyocompatible empêchant l'entraînement vers les turbines (par exemple grille fine inclinée, exutoires de dévalaison, canal de transit vers l'aval), soit le remplacement des turbines Kaplan initialement prévues par des turbines ichtyocompatibles comme les VLH prévues par ailleurs sur les autres sites (sous réserve de la faisabilité technique de l'implantation).

BIBLIOGRAPHIE

- BAU F., GOMES P., ALRIC A., BARAN P., LARINIER M., TRAVADE F., DE OLIVEIRA E., FREY A., MENNESSIER JM., 2010a. 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 (2008-2009). Rapport Onema/EDF – Programme R&D Anguilles/Ouvrage, 103p+annexes.
- BAU F., TRAVADE F., BARAN P., LARINIER M., DE OLIVEIRA E., GOMES P., 2010b. Anguille et Ouvrages – Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le gave de Pau. Rapport d'étape, 52 p.
- BAU F., GOMES P., LAFITTE J., ALRIC A., BARAN P., LARINIER M., TRAVADE F., DE OLIVEIRA E., 2011a. Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010). Rapport Onema/EDF – Programme R&D Anguilles/Ouvrage, 99p+annexes.
- BAU F., TRAVADE F., LAFITTE J., BARAN P., LARINIER M., DE OLIVEIRA E., 2011b. Anguille et Ouvrages – Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le gave de Pau. Rapport final, 91 p.
- BAU F., GOMES P., BARAN P., DROUINEAU H., LARINIER M., ALRIC A., TRAVADE F., DE OLIVEIRA E., 2013. 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 Onema/EDF – Programme R&D Anguilles/Ouvrage.
- BRIAND C., LEGRAND M., CHAPON P-M., BEAULATON L., GERMIS G., ARAGO M-A., BESSE T., DE CANET L., STEINBACH P., 2015. Mortalité cumulée des saumons et des anguilles dans les turbines du bassin Loire-Bretagne. Rapport version 0.3, février 2015. 260 p.
- BRIAND C., BEAULATON L., CHAPON P-M., DROUINEAU H., LAMBERT P., 2015. Eel density analysis (EDA 2.2), Estimation de l'échappement en anguilles argentées (*Anguilla anguilla*) en France. Rapport version finale 2.2.0, juin 2015. 95 p.
- CIOLFI C., PAPLOREY, B., Comité de pilotage du suivi par vidéo comptage de la passe à poissons de poses et de l'animation du seinoscope, résultat 2015. 75 p.
- CHANSEAU M., COURRET D., LARINIER M., BORDES N., 2012. La dévalaison des migrateurs amphihalins au niveau des petites centrales hydroélectriques. Note de positionnement technique de la délégation interrégionale Sud-Ouest de l'Onema.
- CHARRIER F., 2009. Caractérisation de la population d'anguille de l'étang de l'Or et gestion de l'espèce. Mémoire de fin d'études DAA Spécialité Halieutique. Agrocampus Ouest Centre de Rennes et FishPass, 33 p. + annexes.
- COURRET D., LARINIER M., 2008. Guide pour la conception de prises d'eau ichtyocompatibles pour les petites centrales hydroélectriques. Rapport GHAAPE RA.08.04 pour l'ADEME : 72p.
- DURIF C., ELIE P., DUFOUR S., MARCHELIDON J., VIDAL B., 2000. Analyse des paramètres morphologiques et physiologiques lors de la préparation à la migration de dévalaison chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) du lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Cybum* 24(3) suppl. : 63 – 74.
- DURIF C., V GINNEKEN V., DUFOUR S., MULLER T., ELIE P., 2009. Seasonal evolution and individual differences in silvering eels from different locations. G. van den Thillard, S. Dufour, J. Cliff Rankin Editors. *Spawning migration of the European eel* : 13 – 38.
- EUZENAT G., FOURNEL F., FAGARD JL., LARINIER M., 2011. L'anguille sur la Bresle. Dévalaison et environnement. Application à l'hydroélectricité. Programme RetD Anguilles et Ouvrages. Séminaire de restitution, Paris, 28-29 nov 2011.
- GABRIEL G., 2004. Répartition spatio-temporelle de la population d'anguilles européennes *Anguilla anguilla* L. de l'Oir, un bassin versant faiblement anthropisé. Apports d'un Système d'Information Géographique. Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Ministère de la Jeunesse, de l'Education Nationale et de la Recherche. 143 p. + annexes.
- GOMES P., LARINIER M., 2008. Dommages subis par les anguilles lors de leur passage au travers des

turbines Kaplan. Établissement de formules prédictives. Rapport GHAPPE RA 08.05 42p+ annexes.

GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAICOECHEA C., 2000. Étude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive-64). Rapport de contrat INRA/EDF, 37p+annexes.

GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAICOECHEA C., GUIBERT A., ELIE P., 2001. Étude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive-64). Rapport de contrat INRA/EDF Avenant n°1, 46p+annexes.

GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAICOECHEA C., ELIE P., 2002. Étude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive-64). Rapport de contrat INRA/EDF Avenant n°2, 46p+annexes.

LEGAULT A., ACOU A., GUILLOET J., FEUNTEUN E., 1993. Suivi de la migration d'avalaison des anguilles par une conduite de débit réservé. Bull. Fr. Pêche Piscic. 368, 43-54.

MAC NAMARA, R. et MC CARTHY, T.K. 2012. Size-related variation in fecundity of European eel (*Anguilla anguilla*). ICES Journal of Marine Science : Journal du Conseil p. fss123.

Moveable HEPP - Demonstration Plant in the Kinzig River : Moveable Hydroelectric Power Plant for Ecological River Improvements and Fish Migration Reestablishment, LIFE06 ENV/D/000485.

Plan de gestion Anguille de la France – Volet National, 3 février 2010. MEEDDM, MAAP, ONEMA.

Plan de gestion Anguille de la France – Volet local de l'unité de gestion Seine-Normandie, COGEPOMI Seine-Normandie, 2009.

Plan de gestion anguille de la France, Rapport de mise en œuvre – juin 2015, Article 9 du R(CE) n°1100/2007. 89 p.

Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie 2016-2021, 2016. DRIEE île-de-France. 131 p.

SUBRA S., GOMES P., VIGHETTI S., THELLIER P., LARINIER M., TRAVADE F., 2005. Étude de dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Comportement de l'anguille et test d'un dispositif de dévalaison à l'usine hydroélectrique de Baigts de Béarn (gave de Pau-64). Campagne 2004-2005. Rapport EDF R&D H-P 76/05/025/A. Rapport GHAPPE RA-05-03.

SUBRA S., GOMES P., VIGHETTI S., THELLIER P., LARINIER M., DE OLIVEIRA E., TRAVADE F., 2006. Étude de dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Expérimentation de dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée sur les ouvrages hydroélectriques de Castetarbe et Baigts de Béarn (gave de Pau-64). Campagne 2005-2006. Rapport EDF R&D H-P 76-2006-03437-FR.

SUBRA S., GOMES P., BORY Y., CLAVE D., LARINIER M., DE OLIVEIRA E., TRAVADE F., 2008. Étude du franchissement par l'anguille argentée des ouvrages hydroélectriques du gave de Pau – Suivi par radiopistage des rythmes de dévalaison et du franchissement des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo. Campagne 2006-2007. Rapport EDF R&D H-P 76-2007-02606-FR.

TRAVADE F., LARINIER M., SUBRA S., GOMES P., DE OLIVEIRA E., 2010. Franchissement des aménagements hydroélectriques par l'anguille argentée en dévalaison. Étude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts de Béarn (64). Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines. Rapport EDF R&D H-P 76-2009-02948-FR.

VOEGTLE B., LARINIER M., 2008. Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectriques lors de la migration de dévalaison des smolts de saumon atlantique et propositions d'aménagements. Cours d'eau du gave de Pau. Rapport MIDIVAL-ECOGEA GHAPPE RA08.01 pour la DDAF 64.

VOEGTLE B., 2014. Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectriques lors de la migration de dévalaison de anguilles. Bassin du gave d'Oloron (hors saison). Rapport ECOGEA E111113.02 pour la DDTM 64.

Ressources internet :

Observatoire des poissons migrateurs Bretagne : <http://www.observatoire-poissons-migrateurs-bretagne.fr>

Site internet edf : <http://alsace.edf.com/actions/fonctionnement-des-centrales-hydroelectriques-sur-le-rhin/>

ANNEXES

FICHES DE DESCRIPTION DES CENTRALES DE POSES, NOTRE-DAME-LA-GARENNE ET MERICOURT

Centrale de Méricourt				Code ROE : 54 754			
Cours d'eau : Seine		Commune : Méricourt, Dep 78					
Description administrative							
Propriétaire	Nom :		Groupe Energies France SAS (DG J Seyler)				
	Adresse :		Technopôle Forbach Sud Rue Faraday 57460 Behren-Les-Forbach				
	Téléphone :		03 87 84 40 63				
Nature du droit :		Concession					
Fin de droit :		2032					
Description du site et de l'ouvrage							
Surface du bassin versant (km²) : 62704				Module du cours d'eau (m³/s) : 503			
Fonctionnement : Fil de l'eau				Longueur court-circuitée (m) : 0			
Débit turbiné (m³/s) : 210				Longueur de déversement du barrage (m) : NC			
Débit réservé (m³/s) : 4							
Caractéristiques des installations							
Nombre de turbines : 3		Largeur du plan de grille (m) : 40		Espacement Grille (cm) : 9			
Puissance usine brute (KW) : 9700		Longueur immergée du plan de grille (m) : 7,5		Épaisseur barreaux (cm) : 1			
		Surface du plan de grille (m²) : 300		Inclinaison de la grille/ Horizontale : 78°			
N° de groupe	Type turbine	Débit turbiné (m³/s)	Hauteur de chute nominale (m)	Vitesse de rotation (Tr/min)	Nombre de pâles	Diamètre de la roue (m)	
1	Kaplan	70	3,9	80	4	4,2	
2	Kaplan	70	3,9	80	4	4,2	
3	Kaplan	70	3,9	80	4	4,2	
Mortalité turbines :							
Taille anguilles (mm)		375	525	675	850		
Taux de mortalité (%)		8	13,4	20	28		
Estimation mortalité aménagement toutes classes de taille confondues :							
	Moy	Min	Max				
% du nombre	4 %	2 %	10 %				
% de la biomasse	5 %	3 %	13 %				
Dispositifs de franchissement							
Passe à poissons montaison : oui				Débit passe montaison : 1 m³/s			
Exutoire de dévalaison : non				Débit exutoire dévalaison : 0			
Estimation de l'efficacité de l'exutoire : 0 %				Estimation imperméabilité des grilles : 0 %			
Commentaires							
Des travaux d'optimisation de la passe à poissons montaison sont programmés : ajout bassins pour baisser les chutes inter-bassins à 20 cm, mise en place d'orifices noyés en fond de bassin pour petites espèces...							



Vue des ouvrages de décharge



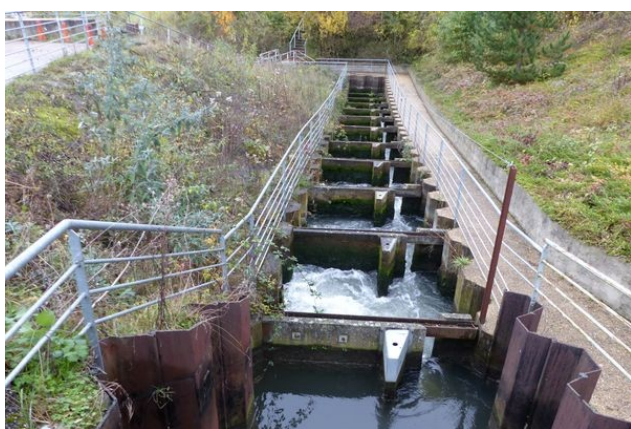
Vue du plan de grille



Vue de la passe à montaison vers l'amont



Vue du plan de grille



Vue de la passe à montaison vers l'aval



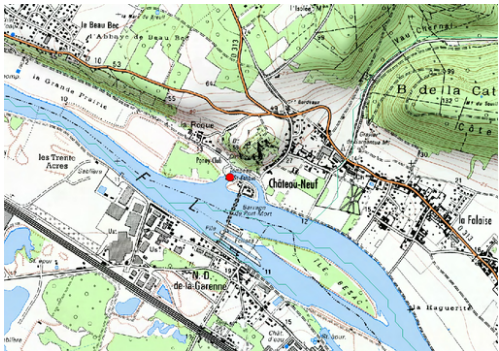
Vue du dispositif d'oxygénation



Vue aval passe à montaison



Vue aval au niveau entrée passe montaison

Centrale de Notre Dame la Garenne		Code ROE : 52 363																
Cours d'eau : Seine	Commune : Notre Dame la Garenne, Dep 27																	
Description administrative Propriétaire Nom : Unit Energy (DG H Albanel) Adresse : Téléphone : 04 72 41 08 08 Nature du droit : Concession Fin de droit :																		
Description du site et de l'ouvrage Surface du bassin versant (km²) : 64503 Module du cours d'eau (m³/s) : 523 Fonctionnement : Fil de l'eau Longueur court-circuitée (m) : 300 m Débit turbiné (m³/s) : 200 Longueur de déversement du barrage (m) : Débit réservé (m³/s) :																		
Caractéristiques des installations Nombre de turbines : 4 Largeur du plan de grille (m) : 50 Espacement Grille (cm) : 9 Puissance usine brute (KW) : 5750 Longueur immergée du plan de grille (m) : 7 Épaisseur barreaux (cm) : 1 Surface du plan de grille (m²) : 350 Inclinaison de la grille/ Horizontale : 79°																		
N° de groupe	Type turbine	Débit turbiné (m³/s)	Hauteur de chute nominale (m)	Vitesse de rotation (Tr/min)	Nombre de pâles	Diamètre de la roue (m)												
1	Kaplan	48	3,8	76	4	3,7												
2	Kaplan	48	3,8	76	4	3,7												
3	Kaplan	48	3,8	76	4	3,7												
4	Kaplan	48	3,8	76	4	3,7												
Mortalité turbines : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Taille anguilles (mm)</td> <td style="width: 12.5%;">375</td> <td style="width: 12.5%;">525</td> <td style="width: 12.5%;">675</td> <td style="width: 12.5%;">850</td> </tr> <tr> <td>Taux de mortalité (%)</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">14,2</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">29</td> </tr> </table>							Taille anguilles (mm)	375	525	675	850	Taux de mortalité (%)	9	14,2	21	29		
Taille anguilles (mm)	375	525	675	850														
Taux de mortalité (%)	9	14,2	21	29														
Estimation mortalité aménagement toutes classes de taille confondues : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 12.5%;">Moy</td> <td style="width: 12.5%;">Min</td> <td style="width: 12.5%;">Max</td> </tr> <tr> <td>% du nombre</td> <td style="text-align: center;">3 %</td> <td style="text-align: center;">2 %</td> <td style="text-align: center;">9 %</td> </tr> <tr> <td>% de la biomasse</td> <td style="text-align: center;">4 %</td> <td style="text-align: center;">2 %</td> <td style="text-align: center;">12 %</td> </tr> </table>								Moy	Min	Max	% du nombre	3 %	2 %	9 %	% de la biomasse	4 %	2 %	12 %
	Moy	Min	Max															
% du nombre	3 %	2 %	9 %															
% de la biomasse	4 %	2 %	12 %															
Dispositifs de franchissement Passe à poissons montaison : oui Débit passe montaison : 0,850 m³/s, débit d'attrait 3 m³/s Exutoire de dévalaison : oui (1 exutoire de surface en rive gauche) Débit exutoire dévalaison : 10 m³/s (estimation) Estimation de l'efficacité de l'exutoire : 0 % pour l'anguille Estimation imperméabilité des grilles : 0 %																		
Commentaires																		



Vue de l'entrée du canal d'amenée à la centrale



Vue de la prise d'eau en rive droite



Vue de la prise d'eau en rive gauche



Zoom sur la grille de la prise d'eau au niveau de l'exutoire de dévalaison



Vue aval de la centrale



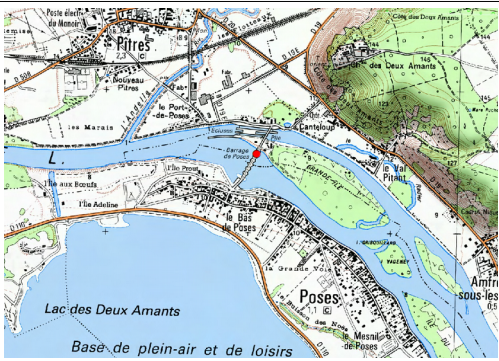
Vue des vannes de décharge



Vue entrée passe à montaison



Vue partie amont passe à poissons montaison

Centrale de Poses		Code ROE : 52 354																																			
Cours d'eau : Seine	Commune : Poses, Dep 27																																				
Description administrative Propriétaire Nom : Unit Energy (DG H Albanel) Adresse : Téléphone : 04 72 41 08 08 Nature du droit : Concession Fin de droit :																																					
Description du site et de l'ouvrage Surface du bassin versant (km²) : 65000 Module du cours d'eau (m³/s) : 524 Fonctionnement : Fil de l'eau Longueur court-circuitée (m) : 0 Débit turbiné (m³/s) : 250 Longueur de déversement du barrage (m) : Débit réservé (m³/s) :																																					
Caractéristiques des installations Nombre de turbines : 4 Largeur du plan de grille (m) : 47 Espacement Grille (cm) : 9 Puissance usine brute (KW) : 9600 Longueur immergée du plan de grille (m) : 5,93 Épaisseur barreaux (cm) : 1 Surface du plan de grille (m²) : 330 Inclinaison de la grille/ Horizontale : 74°																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° de groupe</th> <th>Type turbine</th> <th>Débit turbiné (m³/s)</th> <th>Hauteur de chute nominale (m)</th> <th>Vitesse de rotation (Tr/min)</th> <th>Nombre de pâles</th> <th>Diamètre de la roue (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Kaplan</td><td>62</td><td>4,5</td><td>76</td><td>4</td><td>3,62</td></tr> <tr><td>2</td><td>Kaplan</td><td>62</td><td>4,5</td><td>76</td><td>4</td><td>3,62</td></tr> <tr><td>3</td><td>Kaplan</td><td>62</td><td>4,5</td><td>76</td><td>4</td><td>3,62</td></tr> <tr><td>4</td><td>Kaplan</td><td>62</td><td>4,5</td><td>76</td><td>4</td><td>3,62</td></tr> </tbody> </table>	N° de groupe	Type turbine	Débit turbiné (m³/s)	Hauteur de chute nominale (m)	Vitesse de rotation (Tr/min)	Nombre de pâles	Diamètre de la roue (m)	1	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62	2	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62	3	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62	4	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62		
N° de groupe	Type turbine	Débit turbiné (m³/s)	Hauteur de chute nominale (m)	Vitesse de rotation (Tr/min)	Nombre de pâles	Diamètre de la roue (m)																															
1	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62																															
2	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62																															
3	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62																															
4	Kaplan	62	4,5	76	4	3,62																															
Mortalité turbines : <table border="1"> <tr> <td>Taille anguilles (mm)</td> <td>375</td> <td>525</td> <td>675</td> <td>850</td> </tr> <tr> <td>Taux de mortalité (%)</td> <td>13,7</td> <td>13,7</td> <td>20</td> <td>28</td> </tr> </table>			Taille anguilles (mm)	375	525	675	850	Taux de mortalité (%)	13,7	13,7	20	28																									
Taille anguilles (mm)	375	525	675	850																																	
Taux de mortalité (%)	13,7	13,7	20	28																																	
Estimation mortalité aménagement toutes classes de taille confondues : <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Moy</td> <td>Min</td> <td>Max</td> </tr> <tr> <td>% du nombre</td> <td>4 %</td> <td>2 %</td> <td>12 %</td> </tr> <tr> <td>% de la biomasse</td> <td>5 %</td> <td>3 %</td> <td>15 %</td> </tr> </table>				Moy	Min	Max	% du nombre	4 %	2 %	12 %	% de la biomasse	5 %	3 %	15 %																							
	Moy	Min	Max																																		
% du nombre	4 %	2 %	12 %																																		
% de la biomasse	5 %	3 %	15 %																																		
Dispositifs de franchissement Passe à poissons montaison : oui Débit passe montaison : 0,850 m³/s, débit d'attrait 3 m³/s Exutoire de dévalaison : oui (2 exutoires en rives) Débit exutoire dévalaison : 8,28 m³/s Estimation de l'efficacité de l'exutoire : 0 % Estimation imperméabilité des grilles : 0 %																																					
Commentaires Existence d'une passe spécifique à montaison anguilles																																					



Vue de l'amont de la centrale



Vue de la prise d'eau



Zoom sur la grille de la prise d'eau au niveau de l'exutoire de dévalaison rive gauche



Zoom sur la grille de la prise d'eau au niveau de l'exutoire de dévalaison en rive droite



Vue aval de la centrale



Vue aval de la passe à poissons à montaison

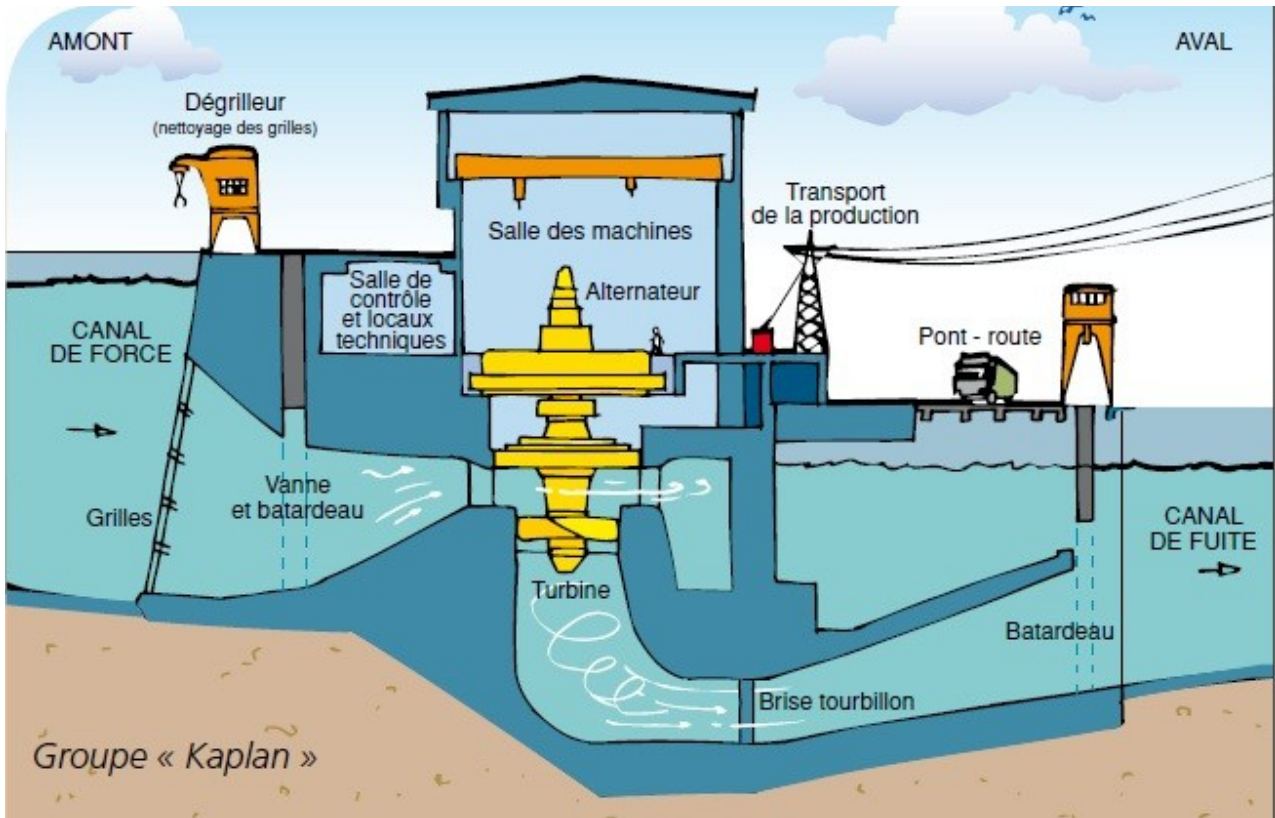


Vue volet amont de la passes à anguille

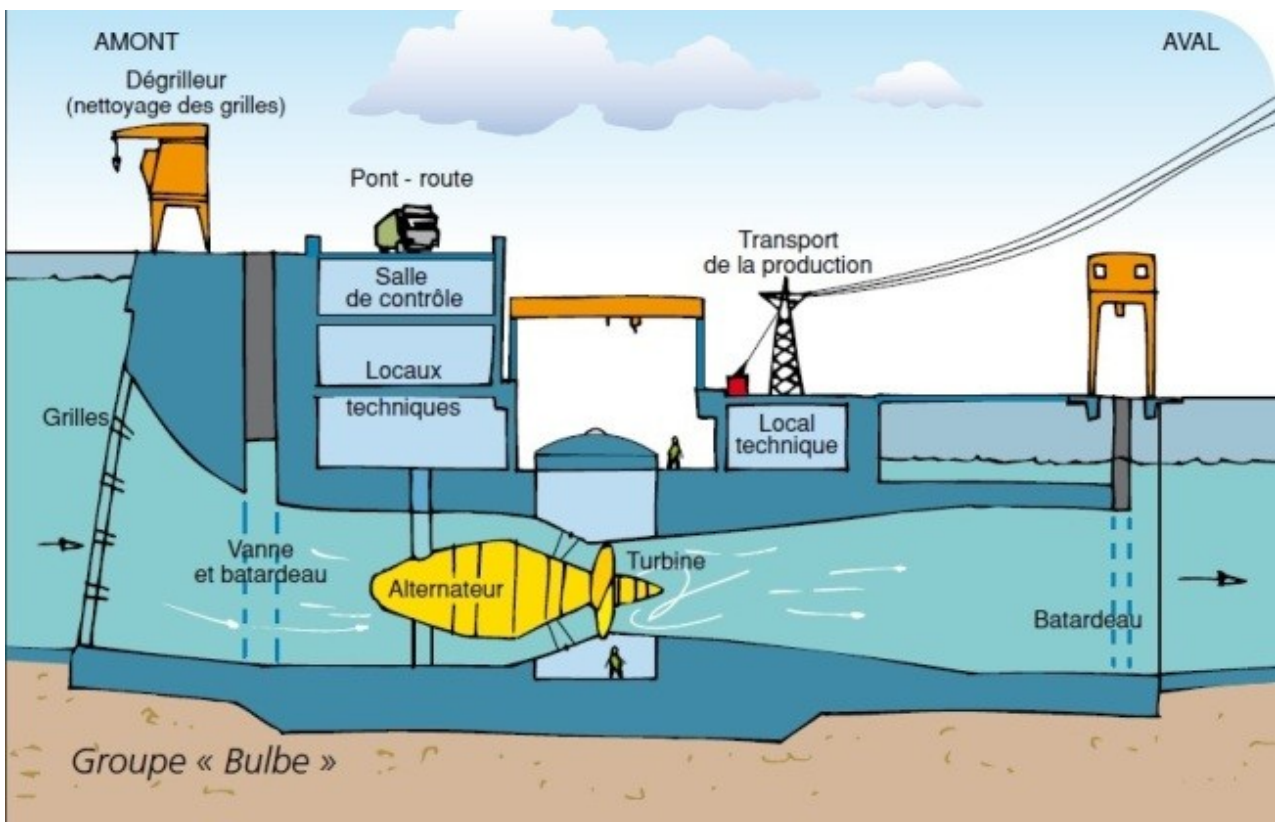


Vue aval : dispositif d'oxygénation

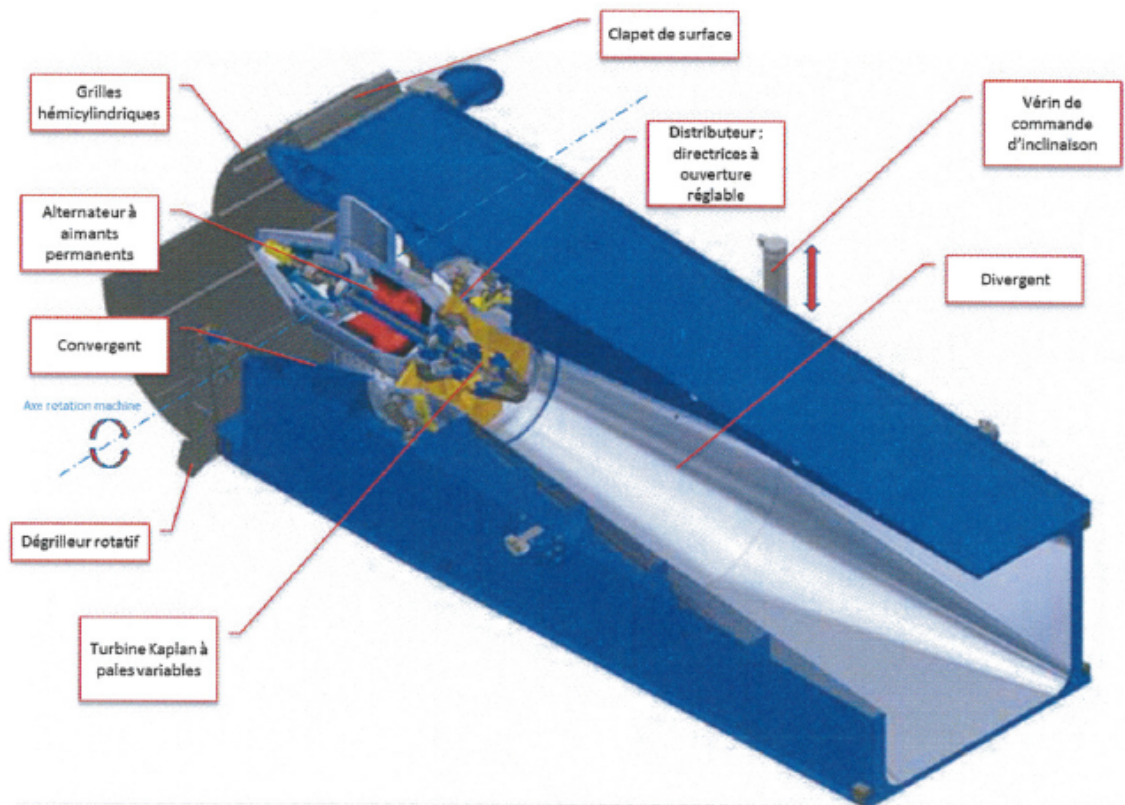
SCHEMAS DE PRINCIPE DES DIFFERENTES TURBINES



Groupe Kaplan, source Edf



Groupe « Bulbe », source Edf



Groupe « Water Wing », source Unit Energy



Turbine VLH, source MJ2



Cerema Normandie-Centre

10 chemin de la poudrière – CS 90245 – 76121 Le Grand-Quevilly cedex
Tel : 02 35 68 81 00 – Fax : 02 35 68 88 60 – mel : DTerNC@cerema.fr

www.cerema.fr