

Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques : l'expérience EDF

Going down and passing through turbines and hydroelectric works : EDF experience

F. Travade

J. Dartiguelongue

M. Larinier

EDF
Direction des Etudes et Recherches
Chatou

CEMAGREF
Division QEPP
Castanet Tolosan

Les ouvrages hydroélectriques qui constituent un obstacle à la migration de montée sont aussi susceptibles de perturber la dévalaison. En particulier, en cas de transit par les turbines, les migrateurs peuvent subir des dommages.

Des études in situ visant à estimer les risques potentiels de mortalité ont été conduites par EDF en collaboration avec le CEMAGREF sur trois barrages de caractéristiques différentes : barrages de Poutès sur l'Allier, Mauzac et Tuilière sur la Dordogne.

Les résultats sont étroitement dépendants des caractéristiques de la turbine. A Mauzac et Tuilière, les mortalités sont limitées. A Poutès, où les risques potentiels sont élevés, il a été procédé à la mise au point d'un dispositif permettant d'éviter l'entraînement dans les turbines.

Hydroelectric works, which constitute an obstacle to upward migration, are also likely to disturb going down. Particularly when this involves transit through turbines, the migrating fish can be physically affected.

In situ studies aiming at estimating the potential mortality risks have been conducted by EDF in collaboration with CEMAGREF and they involve the three following dams : Poutès in the Allier, Mauzac and Tuilière in the Dordogne.

The results strictly depend on the characteristics of the turbine. In Mauzac and Tuilière, mortalities are restricted. In Poutès where there is a high percentage of potential risks, a device has been made available to avoid risks in the turbines.

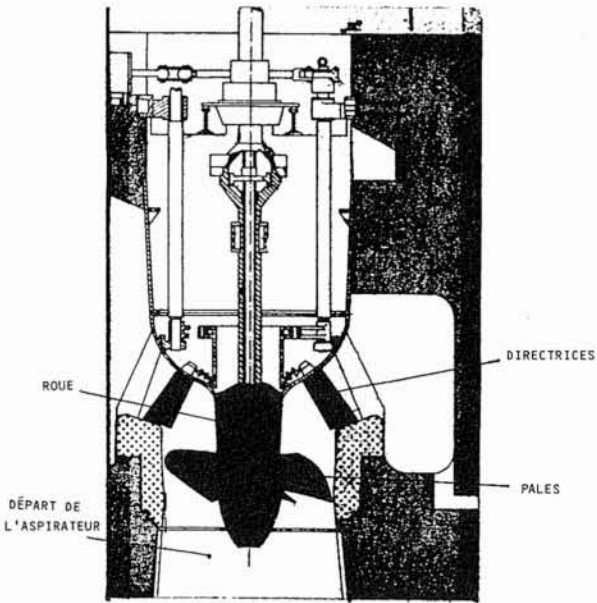


Figure 1. — Description d'une turbine Kaplan

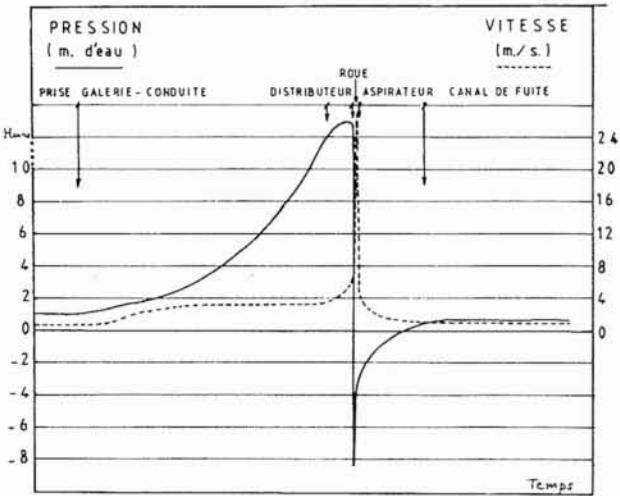


Figure 2. — Conditions de pression et vitesse rencontrées lors du transit dans une centrale hydroélectrique.

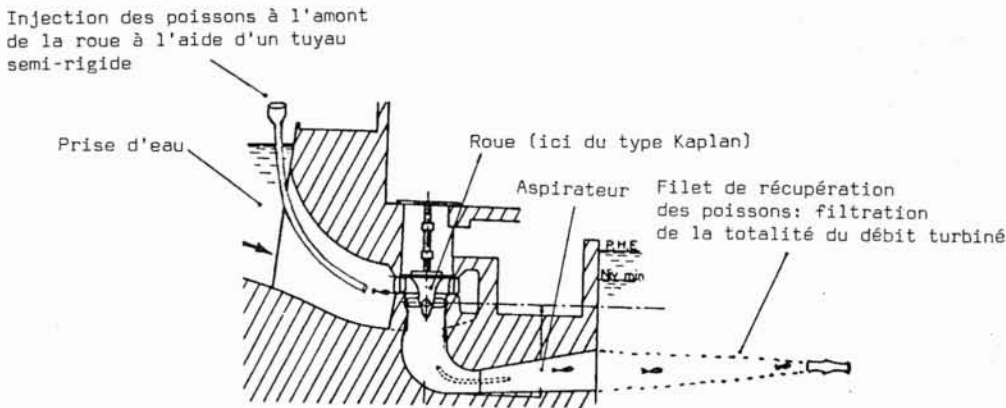


Figure 3. — Principe des expérimentations de passage des poissons dans les turbines.

Tableau 1. — Caractéristiques des turbines testées.

INSTALLATION	PUIS. INST. MW	CHUTE M	TYPE DE TURBINE	PUIS. NOM. MW	DEBIT NOMINAL M ³ /S	VIT. DE ROTATION TRS/MN	DIAMETRE		NB. DE PALE/AUBE	Vitesse de l'eau		Vitesse relative par rapport aux aubes	
							EN ENTREE	EN SORTIE		Entrée turbine	Sortie turbine	Entrée turbine	Sortie turbine
							M	M		M/S	M/S	M/S	M/S
MAUZAC	18,2	5	Francis	2,8	60	55	4,45	4,8	14	5 à 8	3 à 6	5 à 11	
TUILLIERE	37,6	11,5	Kaplan	4,7	52,4	166,7	2,9	2,9	5	5,7 à 9,3	8,5 à 7,5	25	17
POUTES	16,9	61,5	Francis	8,4	14	428	1,15	1,45	15	18 à 26	10 à 12	5,5 à 16	9,5 à 26

1. Introduction

Les dispositifs qui permettent aux poissons d'effectuer leur migration de montaison, n'ont d'utilité que si l'on a l'assurance que la descente peut également s'effectuer sans encombre. L'un des problèmes posés à cette dernière migration par les aménagements hydroélectriques est celui de l'entraînement des juvéniles, voire des adultes de certaines espèces de poissons migrateurs dans les turbines. Les expérimentations effectuées à l'étranger et principalement aux Etats-Unis (Ruggles, 1980; Tursak *et al.*, 1981; Bell, 1981) ont montré que le transit dans les turbines se traduisait par des mortalités extrêmement variables (de quelques pour cents à plus de 75 %) et qu'il était difficile de dégager des modèles prédictifs des dommages potentiels.

Les études ayant porté sur de très grosses installations peu représentatives des ouvrages installés sur les cours d'eau à migrateurs français, EDF a entrepris, en collaboration avec le CEMAGREF et le Conseil Supérieur de la Pêche, des études *in situ* sur des sites caractéristiques. Elles se sont attachées à quantifier les dommages subis lors du transit dans les turbines et à rechercher des solutions permettant d'éviter ce transit lorsque les risques potentiels sont élevés. Les ouvrages de Mauzac et Tuilière sur la Dordogne et de Poutès sur l'Allier ont été choisis à cet effet.

2. Contraintes subies par les poissons lors du transit dans les turbines

Deux types de turbines sont essentiellement utilisés sur les cours d'eau à migrateurs français : turbine Francis (en général pour les moyennes chutes) et turbine Kaplan (basses chutes). Elles se composent schématiquement (*figure 1*) :

- d'une partie fixe, le distributeur, constitué d'aillettes orientables (directrices) destinées à accélérer et à donner aux particules d'eau une direction convenable avant leur arrivée sur la roue;
- d'une partie mobile, la roue, composée d'aubes (turbine Francis) ou de pales (turbine Kaplan) ayant pour rôle de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique;
- de l'aspirateur, dont l'objet est de récupérer sous forme d'énergie de pression, l'énergie cinétique que possède l'eau à la sortie de la roue.

Un poisson transitant dans ce type de turbine est soumis à diverses contraintes :

- risques de chocs contre les directrices, entre les directrices et la roue, ou sur la roue elle-même;
- accélération et décélération brusques. De 1-2 m/s dans les prises d'eau, la vitesse d'écoulement passe à 3-5 m/s au niveau des directrices, puis à 10-30 m/s dans la roue;
- variations de pression : de la pression atmosphérique au niveau de la prise d'eau, le poisson passe progressivement à une pression dépendant de la chute (1 bar pour 10 m d'eau environ) à l'entrée de la roue puis est soumis, au passage de la roue, pendant une fraction de seconde,

à une brusque dépression pouvant atteindre plusieurs mètres d'eau en dessous de la pression atmosphérique (*figure 2*).

Les mortalités de poissons résultant de l'ensemble de ces facteurs se sont montrées à l'expérience dépendantes de plusieurs paramètres (Bell, 1981) :

- vitesse de rotation de la roue;
- espacement entre distributeur et pales ou aubes;
- conditions de fonctionnement de la roue (ouverture des pales et/ou des directrices);
- existence ou non de zones de cavitation;
- taille du poisson.

3. Etudes *in situ* sur les aménagements de Mauzac, Tuilière et Poutès

Caractéristique des aménagements

Les trois turbines qui ont fait l'objet des tests ont été choisies pour la diversité de leurs caractéristiques (*tableau 1*) et pour l'intérêt que présentait l'appréciation des dommages vis-à-vis des plans de restauration de poissons migrateurs en cours.

Les centrales de Mauzac et Tuilière sur la Dordogne sont des installations de basse chute (respectivement 11,5 et 5 mètres) équipées de turbines Francis (Mauzac) et Kaplan (Tuilière) de taille importante (diamètre respectif de roue 4,8 m et 2,8 m) et à faible vitesse de rotation (respectivement 55 et 167 tr/min).

La centrale de Poutès sur l'Allier est une installation de moyenne chute (61,50 m) équipée de turbines de diamètre plus faible (1,5 m) et à vitesse de rotation plus élevée (428 tr/min).

Matériel et méthode

Les études ont été axées sur l'évaluation des risques potentiels pour les juvéniles de salmonidés grands migrateurs : smolts de saumon et truite de mer. L'obtention de tels poissons étant problématique, les tests ont été réalisés sur des truites fario d'élevage de taille semblable à celle des smolts considérés (15 à 23 cm).

La méthode expérimentale a consisté à introduire des poissons à l'amont de la roue et à les recapturer à l'aval, après transit, pour en déterminer la mortalité immédiate et différée. Des études semblables conduites à l'étranger ont montré l'importance des conditions et de l'efficacité de la récupération des poissons à l'aval, tant sur le plan biologique que sur celui de la fiabilité statistique des résultats (Donaldson, 1960; Schoeneman *et al.*, 1961; Cramer et Oligher, 1964). De ce fait, nous avons utilisé la technique de filtration totale du débit turbiné employée à l'étranger par Cramer et Oligher, 1964, et, en France par Dartiguelongue et Larinier, 1985, qui nous a semblé la plus fiable. La méthode consiste à fixer sur l'aspirateur des turbines un filet de forme conique, dimensionné pour pouvoir filtrer la totalité du débit turbiné, guidant le poisson vers un dispositif de récupération (*figure 3*).

Les poissons ont été injectés dans la turbine par un dispositif spécial (tuyau semi-rigide surmonté d'un enton-

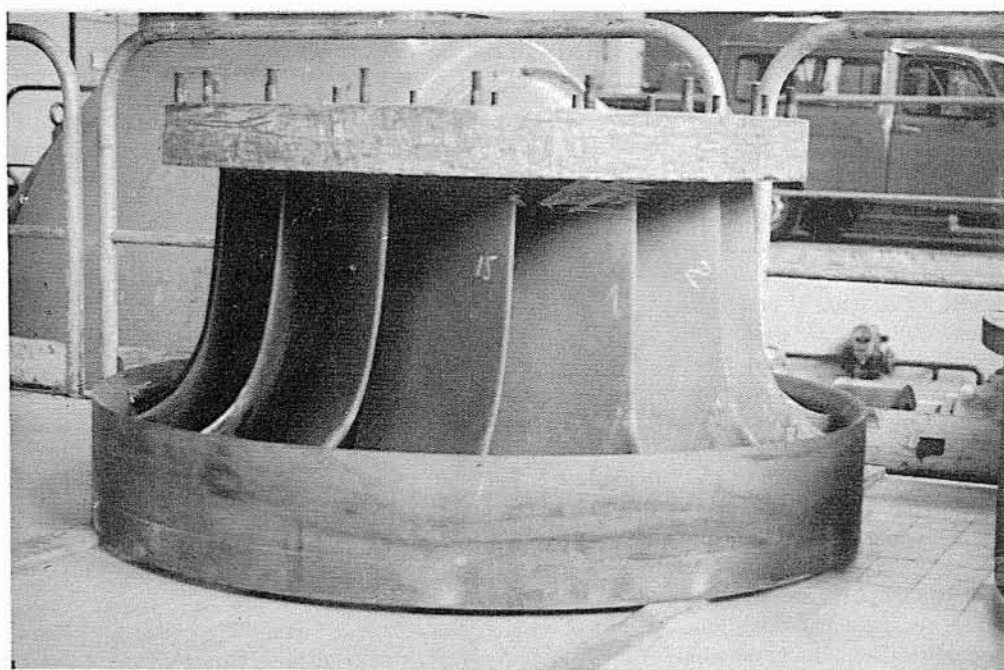


Photo 1. — Roue de la turbine Francis de la centrale de Poutès.

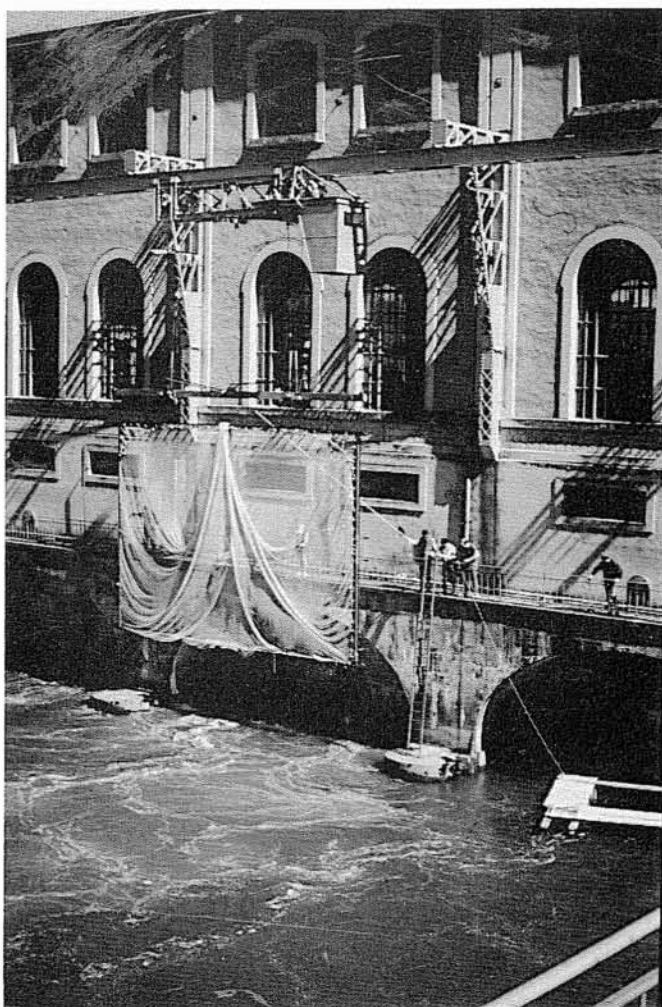


Photo 2. — Installation du filet de récupération des poissons à la sortie de l'aspirateur d'une turbine de la centrale de Mauzac.

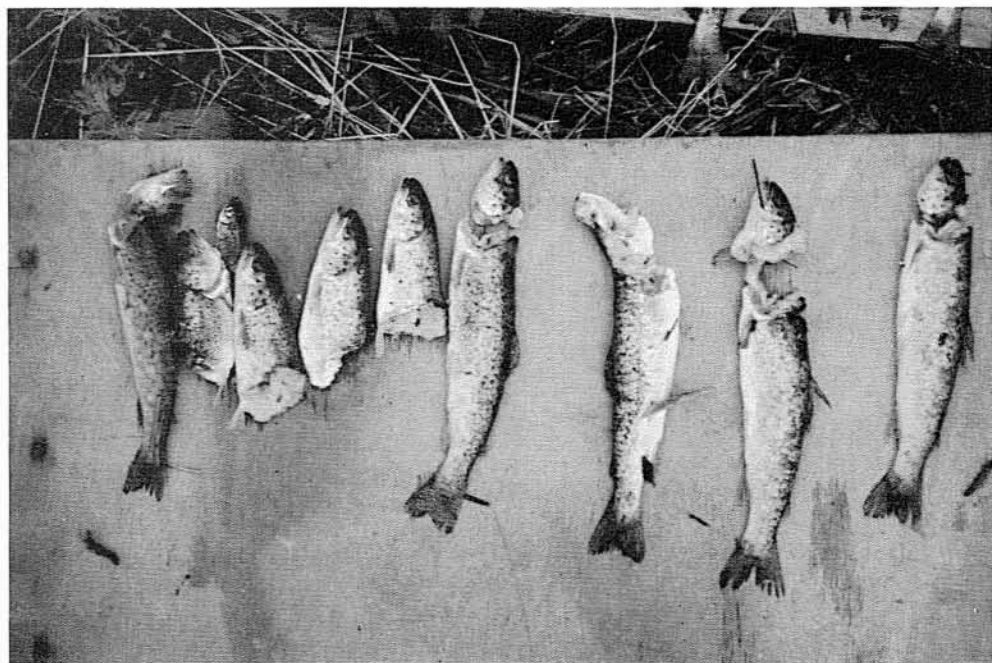


Photo 3. — Symptômes présentés par les poissons tués lors du transit dans les turbines. L'arrachement des têtes est dû aux effets de cisaillement hydraulique, les blessures et tronçonnements sont le fait de chocs mécaniques.

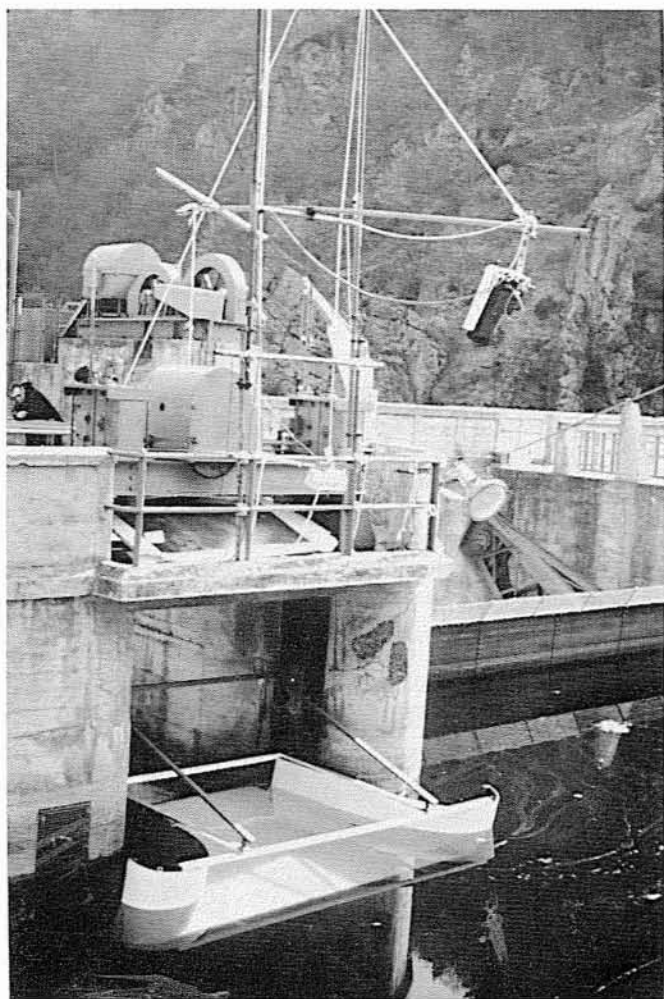


Photo 4. — Dispositif de dévalaison des saumonaux au barrage de Poutès. On distingue l'entonnoir destiné à créer une mise en vitesse progressive à l'approche de l'exutoire, l'ouverture conduisant à la glissière de dévalaison, ainsi que la caméra vidéo ayant servi à comptabiliser et à visualiser le comportement des poissons à l'approche du dispositif.

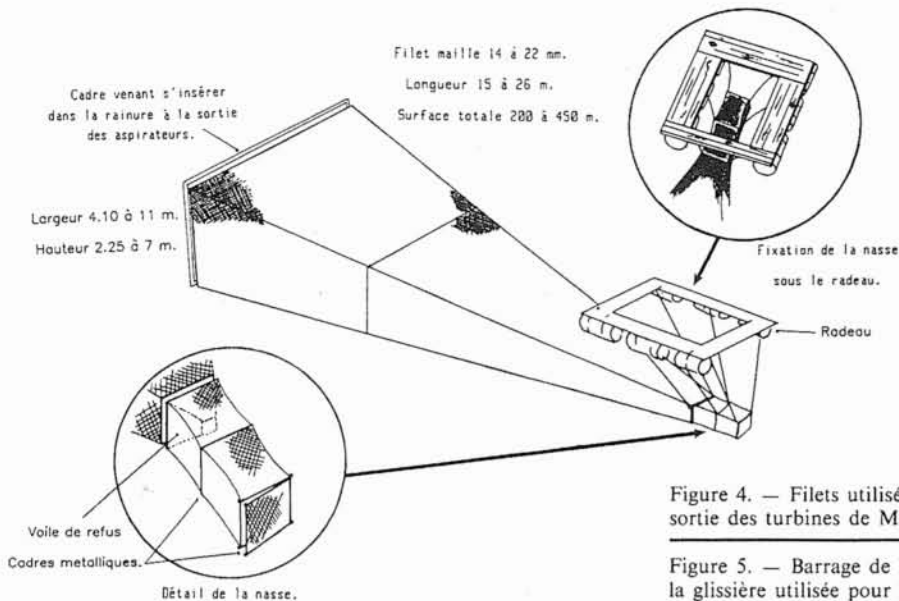


Figure 4. — Filets utilisés pour la récupération des poissons à la sortie des turbines de Mauzac, Tuilière et Poutès.

Figure 5. — Barrage de Poutès : plan d'ensemble et situation de la glissière utilisée pour la dévalaison des saumoneaux.

noir) positionné directement en amont des turbines à Mauzac et Tuilière et à l'entrée de la galerie d'amenée d'eau (longueur 3,1 km) à Poutès.

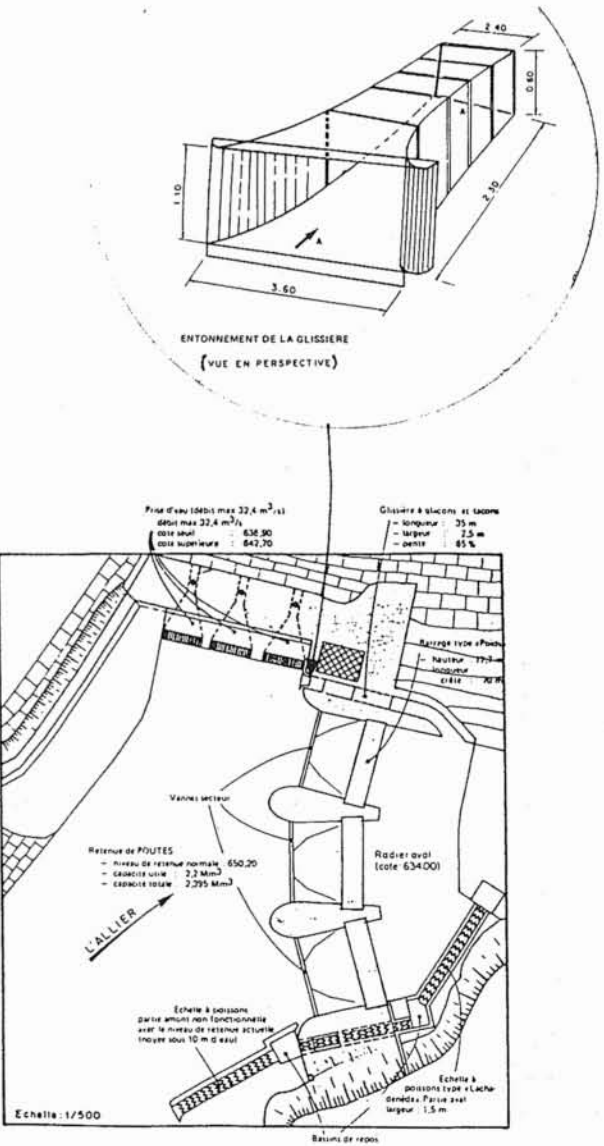
Le dispositif de récupération était constitué de filets à maille fine (14 à 22 mm) de forme pyramidale (figure 4) fixés sur un cadre métallique introduit dans les rainures de batardage en sortie d'aspirateur. La dimension des filets a été choisie en fonction du débit à filtrer de façon à optimiser le transit des poissons jusqu'à son extrémité et à minimiser les risques de blessures pour les poissons. Ceci conduit à des filets de taille imposante (ouverture de 9,2 à 77 m², longueur de 15 à 26 m, surface totale de 200 à 450 m²) dont la manutention requiert impérativement des moyens de levage appropriés. A l'extrémité des filets, une nasse amovible, supportée par un radeau permettait la récupération des poissons après expérimentation.

Les poissons ont été injectés par lots d'une centaine d'individus après une légère anesthésie pour éviter qu'ils ne remontent le courant avant passage dans la turbine et pour minimiser la durée de récupération. La récupération dans la nasse s'est effectuée quelques minutes après l'injection et les poissons ont été placés immédiatement dans des viviers flottants ou bacs alimentés en eau pour suivi des mortalités. Un lot témoin a été injecté directement à l'entrée du filet pour s'assurer de l'absence de traumatismes dus au dispositif de récupération.

Les tests ont été réalisés à divers régimes de fonctionnement des turbines (tableau 2) pour appréhender l'influence éventuelle du mode de fonctionnement sur les risques de mortalité.

Résultats

Les tests ont été réalisés en mai 1984 à la centrale de Poutès et en juin 1985 à Mauzac et Tuilière, respectivement sur 500, 400 et 600 poissons.



MAUZAC			TUILIERE			POUTES		
Puissance	Débit	Mortalité	Puissance	Débit	Mortalité	Puissance	Débit	Mortalité
KW	m3/s	%	KW	m3/s	%	MW	m3/s	%
2800	55	5,3	4200	39,4	14	7600	14	48 à 51,6*
1400	30	5,4	3200	30,0	8,3	5100	10,5	35 à 51,9*
			2200	20,7	12,5	3800	8	41 à 67,2*
			1200	11,8	17			
Mortalité moyenne : 5,35 %			Mortalité moyenne : 13 %			Mortalité moyenne : 41,3 à 56,9 %		

* plage de variation due à une récupération incomplète des poissons injectés.

Valeur inférieure obtenue en considérant les non récupérés comme vivants

Valeur supérieure obtenue en considérant les non récupérés comme morts.

Tableau 2. — Mortalité des poissons ayant transité dans les turbines testées.

Les résultats sont reportés dans le *tableau 2*.

On constate que les mortalités sont très faibles à Mauzac (environ 5 %), faibles à Tuilière 13 %) et importantes à Poutès (environ 50 %).

Trois causes de mortalité ont pu être mises en évidence par observation externe et autopsie :

- chocs mécaniques (entailles musculaires, traces d'impact, poissons sectionnés...);
- forces de cisaillement (têtes arrachées, opercules retournés, arcs branchiaux brisés...);
- variations de pression (hémorragies internes, dommages sur des organes...).

A Mauzac et Tuilière il n'apparaît pas de différence statistiquement significative des taux de mortalité en fonction du régime de fonctionnement de la turbine; par contre à Poutès, la mortalité est statistiquement plus élevée (41,3 à 67,2 %) à faible régime (1/2 débit nominal) qu'à débit nominal (35 à 52 %).

Les causes de mortalité (chocs mécaniques, cisaillement, pression) n'ont pu être traitées statistiquement à Mauzac et Tuilière du fait de la faible mortalité, par contre, à Poutès, il apparaît qu'à débit nominal la mortalité est due surtout à des chocs mécaniques (50 %) alors qu'à débit réduit, ce sont les effets dus au gradient de vitesse et à la pression qui prédominent.

4. Dispositif évitant le transit des poissons dans les turbines à Poutès

Du fait de la mortalité potentielle importante (50 % environ) pouvant résulter du transit dans les turbines de l'usine de Poutès, il a été mis au point un dispositif destiné

à faire franchir le barrage aux juvéniles en avalaison sans passer par les turbines (*figure 5*).

Le dispositif, a été conçu en fonction du comportement naturel qu'ont les saumoneaux à nager en surface lors de leur migration de descente. Il consiste en un exutoire de 2,5 m de largeur situé en surface, à proximité immédiate de la prise d'eau, zone où se concentrent les poissons du fait de l'écoulement général dans la retenue. Aucun dispositif particulier n'a été installé devant la prise d'eau pour y empêcher la pénétration des saumoneaux, car sa position en profondeur (10 m dessous de la cote de retenue normale) laissait à penser que les poissons cherchaient en priorité une sortie en surface.

Cet exutoire, installé dans un pertuis d'évacuation des corps flottants, est constitué d'un entonnement destiné à créer une mise en vitesse progressive à l'approche du dispositif. La cote de l'entonnement est asservie au niveau de la retenue de façon à y respecter un débit et un champ de vitesse constants. Les poissons empruntant l'exutoire sont acheminés au pied du barrage par une glissière.

Un suivi et une mise au point de l'installation ont été réalisés en 83 et 84 en collaboration avec le Conseil Supérieur de la Pêche (Bomassi et Travade, 1985; Travade *et al.* 1984). L'étude qui a consisté à compter les saumoneaux empruntant la glissière (après déversement de quantités connues de poissons en amont) et à observer leur comportement à son approche (utilisation de techniques vidéo) a montré l'efficacité du dispositif alimenté par un débit de 0,5 à 1 m³/s (*figure 6*). Les informations recueillies apportent des éléments pour la conception de tels dispositifs :

- l'exutoire doit se situer dans la zone de rassemblement des poissons déterminée par l'écoulement général dans la retenue;
- l'écoulement dans l'exutoire doit se faire *en surface* et

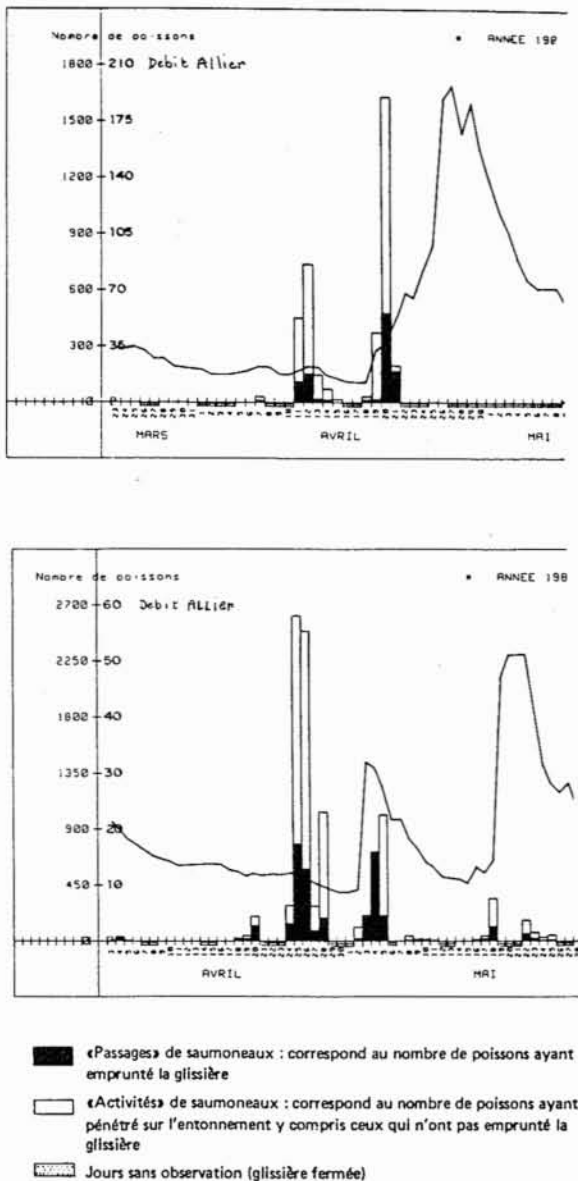


Figure 6. — Passage des saumoneaux dans la glissière du barrage de Poutès.

doit rester fonctionnel durant toute la période de migration;

— l'exutoire doit avoir une largeur suffisante (L_{min} : 1,5 m);

— il est nécessaire de créer à son approche une accélération progressive de la masse d'eau et d'éviter les turbulences et les décollements hydrauliques qui se sont révélés répulsifs pour le poissons;

— l'exutoire semble être plus attractif s'il est éclairé pendant la nuit (ce point, observé à Poutès où la majeure partie des migrations s'effectue la nuit, reste à confirmer sur d'autres sites);

— le débit nécessaire à l'attraction des poissons est à tester cas par cas *in situ*.

5. Conclusion

Les expérimentations conduites sur trois usines hydroélectriques à débit élevé ont permis de mettre au point une méthodologie d'étude in situ des effets de transit dans les turbines sur les juvéniles de salmonidés migrateurs.

Les résultats obtenus montrent que les risques potentiels sont très différents suivant les caractéristiques de l'installation. S'il apparaît que les dommages sont plus importants dans les turbines de petite taille à vitesse de rotation élevée, il n'est pas encore possible de tirer de ces résultats encore trop partiels de lois prévisionnelles généralisables à l'ensemble des turbines. Ils devraient apporter cependant des éléments d'information à l'étude plus vaste conduite actuellement par le CEMAGREF et le Conseil supérieur de la pêche*.

Les faibles mortalités observées à Mauzac et Tuilière (5 et 13 %) permettent de penser que ces ouvrages n'auront pas d'influence notable sur les populations de saumons de la Dordogne.

Les fortes mortalités observées à Poutès (50 %), susceptibles de remettre en cause la réussite du plan de restauration du saumon dans le haut Allier, ont conduit à mettre au point un dispositif adapté au site pour éviter le transit dans les turbines. Les informations recueillies lors de la mise au point de ce dispositif apportent des éléments pour la réalisation de tels ouvrages lorsqu'ils s'avèrent nécessaires.

* Thèse en cours de J. Dartiguelongue.

Bibliographie

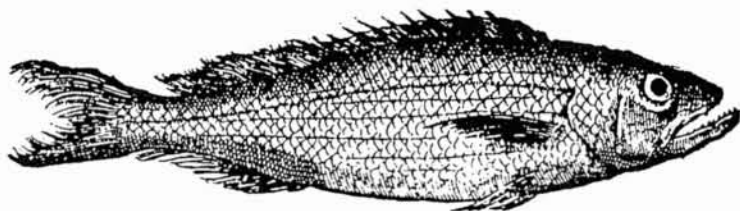
- BELL M.C., 1981. — *Updated Compendium on the Success of Passage of Small Fish through Turbines*. US Army Corps of Engineers. North Pacific Division 204 + 90 pages.
- BOMASSI P., TRAVADE F., 1985. — *Projet de réimplantation du saumon dans la partie supérieure de l'Allier : expériences sur les possibilités de dévalaison des saumoneaux au barrage hydroélectrique de Poutès en 1983 et 1984. Colloque pour la restauration des rivières à saumons*. Bergerac, 28 mai — 1^{er} juin 1985 (à paraître).
- CRAMER F.K., OLIGHER R.C., 1964. — *Passing Fish through Hydraulic Turbines*. *Trans. Am. Fish. Soc.* 93 : 243-250.
- DONALDSON I.J., 1960. — *Effect of Structures of main Columbia River Dams on Downstream Migration of Fingerlings*. *Portland District Corps of Engineers, in Progress Report*.
- DARTIGUELONGUE J., LARINIER M., 1985. — *Évaluation des dommages subis par les juvéniles lors de leur passage à travers les turbines. Colloque pour la restauration des rivières à saumons*. Bergerac, 28 mai — 1^{er} juin 1985.
- RUGGLES C.P., 1980. — *A Review of the Downstream Migration of Atlantic Salmon*. Can. Dept. of Fish and Oceans, Fish. and Aq. Sci. Tech. Rep n° 952, 37 pp.

SCHOENEMAN D.E., PESSEY R.T., JUNGE C.O., 1963. — Mortalities of Downstream Migrant Salmon at McNary Dam — *Trans. Am. Fisch. Soc.*, 90 : 58-72.

TURBAK S.C., REICHLER D.R., SHRINER C.R., 1981. — *Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development IV: Fish Mortality Resulting from Turbine*

Passage. ORNL. Environmental Sciences Division. Publication n° 1597, 102 pages.

TRAVADE F., BOMASSI P., GUIVARCH P., 1984. — *Expérimentation de dévalaison des saumoneaux au barrage de Poutes Monistrol. Point des études au 1^{er} juillet 1984. Rapport EDF-DER HE/31-84.16.*



Discussion

Président : M. P. MALAPERT

M. LEYNAUD. — Pouvez-vous préciser le protocole d'observation des mortalités à la suite des tests décrits ? On peut s'attendre en effet à ce que les effets des traumatismes subis par les poissons au cours des manipulations ne se manifestent qu'après coup...

M. TRAVADE. — Les observations ont été faites sur quelques jours suivant les tests à Mauzac; nous disposions à proximité d'une pisciculture. Elles ont été faites sur quelques heures à Poutès Monistrol.

Messieurs LARINIER et DARTIGUELONGUE ont montré par ailleurs que les mortalités sur plusieurs semaines étaient de l'ordre de 20 % pour les saumoneaux, ce qui permet de comparer avec les résultats obtenus dans le cas des truites.

M. LARINIER. — Nous avons eu l'occasion d'effectuer d'autres expérimentations sur le transit des poissons à travers les turbines, notamment sur le Gave d'Ossau (microcentrale de Laïlhac) avec des truitelles et sur la Nivelle (microcentrale de St Pée sur Nivelle) avec des saumoneaux.

Lors de l'expérimentation portant sur les truitelles, celles-ci ont été gardées après leur transit une semaine, en pisciculture. Les mortalités après délais n'étaient pas significativement différentes des mortalités immédiates qui variaient de 4 à 10 % suivant les essais.

Par contre, une augmentation importante de la mortalité a été observée lors de l'expérimentation portant sur les saumoneaux gardés en stabulation pendant trois semaines à la pisciculture de St Pée sur Nivelle. Les pourcentages de mortalité (calculés en rapportant le nombre de poissons morts à celui des poissons lâchés) sont passés de 21 % à 35 %, ou de 28 à 46 % si le nombre

de poissons morts était rapporté au nombre de poissons récupérés.

Le saumoneau est donc beaucoup plus fragile que la truitelle.

Notons que l'on injectait pour chaque expérimentation un lot-témoin directement dans le filet de façon à évaluer les mortalités induites par les manipulations annexes au transit dans les turbines.

M. CUINAT. — Les études mentionnées dans mon exposé ont été menées grâce à E.D.F. et aux chargés d'études que le Ministère de l'Environnement met à disposition des Délégations régionales du Conseil Supérieur de la Pêche pour compléter les moyens de base du C.S.P., moyens qui, à eux seuls, n'auraient pas permis d'aborder ce type de questions.

Quelques remarques à propos de l'étude faite à Poutès Monistrol :

- les jeunes saumons ont été déversés plusieurs kilomètres à l'amont dans un bassin de stabulation : ils avaient donc un comportement de dévalaison au moment où ils ont rejoint l'Allier;
- leur comportement dans la retenue est très variable : pendant de longues périodes, on observe des mouvements de divagation à proximité ou non de l'exutoire, certains individus ne mettant par contre que quelques jours à passer;
- les pertes dans la retenue peuvent être considérables, indépendamment du passage dans les turbines (prédation due aux oiseaux et aux poissons carnassiers);
- les saumoneaux se laissent engager dans la goulotte la tête vers l'amont, ce qui rejoint des observations mentionnées par ailleurs pour ce comportement tête vers l'amont dans des situations critiques.