



Conseil Supérieur de la Pêche



INRA

Conseil scientifique du moulin des Princes

**État du stock de saumon atlantique (*Salmo salar*)
du Scorff (Bretagne sud, France) en 1997 :
production de smolts, retours d'adultes, échappement,
taux d'exploitation et de survie.**

par

Étienne Prévost

INRA

Laboratoire d'écologie aquatique

65 rue de St Brieuc

35042 Rennes cedex (France)

**État du stock de saumon atlantique (*Salmo salar*)
du Scorff (Bretagne sud, France) en 1997 :
production de smolts, retours d'adultes, échappement,
taux d'exploitation et de survie.**

par

Étienne Prévost
INRA
Laboratoire d'écologie aquatique
65 rue de St Brieuc
35042 Rennes cedex (France)

Résumé

Le Scorff est un petit fleuve côtier breton, bien représentatif des cours d'eau à saumon du Massif armoricain. Depuis mai 1994, il est équipée d'un système de contrôle des migrations qui permet de quantifier à la fois les retours d'adultes et le flux de smolts dévalant vers le mer.

Le production de smolts 1997 est estimée à 10628. La taille moyenne des smolts (longueur fourche) est de 133 mm et est notablement inférieure aux deux premières années d'étude (148 et 145 mm en 1995 et 1996). La composition en âge est de 99% de 1 an et 1% de 2 ans.

Les retours d'adultes sont estimés à 467.1HM (individus ayant séjourné un seul hiver en mer ou castillon), et 75 PHM (poissons âgés de 2 ans de mer ou effectuant un deuxième retour). La taille moyenne (longueur fourche) des 1HM est de 612 mm contre 740 mm pour les individus ayant passé deux hivers en mer et un gabarit intermédiaire pour les deux poissons échantillonnés effectuant un second retour (661 et 667 mm). Tous types confondus, la composition en âge d'eau douce des adultes est de 83.5% de 1 an et 16.5% de 2 ans.

La cible d'échappement du Scorff a été fixée à 953 852 oeufs déposés lors de la reproduction. La dépose d'oeufs estimée en 1997 (955 000 oeufs) est égale à la cible d'échappement. La probabilité *a posteriori* que la dépose d'oeufs ait été inférieure à la cible d'échappement est de 22.9%.

La première estimation de taux de survie de l'oeuf au smolt pour la cohorte 1995 est de 0.19%, ce qui est faible mais dans le gamme des observations déjà disponibles sur l'Oir (Manche), cours d'eau ayant servi de référence pour la détermination des TACs et cibles d'échappement des cours d'eau bretons. Le taux de survie en mer des juvéniles ayant migré vers la mer en 1995 est estimé à 11.7% et il est lui aussi proche de la valeur de référence provenant de la Bresle (Haute Normandie). Les taux d'exploitation par la pêche à la ligne sont modérés, 10.7% pour les PHM et 7.5% pour les 1HM. La forte production en smolts de 1997 (la plus importante observée sur les trois suivies à ce jour) laisse augurer de bons retours de castillons pour l'année 1998.

Introduction

Avec la mise en service en mai 1994 de la station de contrôle des migrations de saumon du Moulin des Princes à Pont-Scorff (Morbihan), la Bretagne s'est dotée d'une installation expérimentale sans équivalent en France pour l'étude de la dynamique de population chez le saumon atlantique (*Salmo salar*). Située en fond d'estuaire à la limite de l'influence des marées, elle permet de contrôler les entrées/sorties de l'ensemble du bassin. Elle dispose d'un double système de piégeage capturant les juvéniles au moment de leur migration vers le mer et les adultes lors de leur retour en eau douce. Cet outil a permis le démarrage d'un programme scientifique dont un des objectifs finalisés est l'évaluation du stock sur un système bien représentatif des cours d'eau à saumon bretons¹.

En 1997, l'installation du Moulin des Princes a été complétée par un nouveau dispositif de piégeage placé au Moulin du Leslé², moins de deux kilomètres en amont du Moulin des Princes, dans le but d'améliorer la qualité des estimations du flux de smolts. Ce dispositif, conçu uniquement pour capturer des juvéniles dévalants, est amovible et est mis en fonction temporairement, seulement durant la période de migration des smolts vers la mer, du mois de mars au mois de mai.

Le présent document fait le bilan des données récoltées en 1997 sur le Scorff concernant la production de smolts, les retours d'adultes et l'échappement. Une comparaison du nombre d'oeufs déposés lors de la reproduction par rapport à une cible échappement, une estimation du taux d'exploitation par la pêche à la ligne ainsi qu'une première évaluation des taux de survie de l'oeuf au smolt et du smolt à l'adulte (phase de vie en mer) sont également proposées.

I - Matériel et méthodes

Le Scorff

Le Scorff est un fleuve côtier Breton (Fig. 1) qui se jette dans la rade de Lorient (Morbihan). Long de 75 km (dont 10 km d'estuaire), il draine une surface de bassin versant de 480 km². Son débit moyen annuel dans sa partie basse est d'environ 5 m³/s. Il coule sur un substrat essentiellement granitique mais traverse deux bandes schisteuses engendrant deux ruptures de pente sur son cours principal. Il est colonisé par une quinzaine d'espèce de poissons, dont quatre sont des migrateurs amphihalins : la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), la truite commune (*Salmo trutta*) et le saumon atlantique. Il fait donc partie de la vingtaine de cours d'eau à saumon bretons dont il est un élément bien représentatif.

Cible d'échappement

En 1996, un nouveau système de gestion des stocks de saumon atlantique a été mis en place à l'échelle de la Bretagne. La partie la plus visible du nouveau dispositif est constituée de "Totaux autorisés de captures" (ou TACs), limites hautes pour les prélèvements par pêche fixées bassin par bassin et approuvées par le Comité de gestion des poissons migrateurs de Bretagne (COGEPOMI, instance consultative où sont représentés les gestionnaires, les exploitants et les scientifiques). Ce nouveau système repose en fait, conformément aux

¹ La station du Moulin des Princes est la propriété de la Fédération du Morbihan pour la pêche et la protection des milieux aquatiques. L'installation ainsi qu'un poste de technicien sont mis à disposition de 2 opérateurs scientifiques, l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) et le Conseil supérieur de la pêche (CSP), responsables du programme de recherche.

² Ce nouveau dispositif appartient à l'APPMA de Plouay et est installé sur le site du Moulin du Leslé grâce à l'accord de son propriétaire, Mr de Polignac.

recommandations internationales du CIEM (Anonyme, 1996a), sur la détermination de cibles d'échappement bassin par bassin selon la définition suivante: la cible d'échappement est le nombre d'oeufs nécessaires lors de la reproduction pour, en moyenne sur le long terme, maximiser la fraction du stock prélevable par la pêche (Prévost et Porcher, 1996).

Prévost et Porcher (1996) ont proposé une méthodologie afin de déterminer des cibles d'échappement pour chacune des rivières du Massif Armoricaïn fréquentée par le saumon atlantique. En l'appliquant aux données disponibles pour le Scorff, en particulier en incorporant la quantification la plus récente des surfaces en eau supportant la production de juvéniles réalisée par Claude (1996), on aboutit à une cible d'échappement de 953 852 oeufs.

Estimation de la production de smolts

La production de smolts est estimée par marquage/recapture. Grâce au nouveau dispositif de piégeage installé au Moulin du Leslé directement en amont du Moulin des Princes, le protocole suivi au cours des années 1995 et 1996, avec remise en amont des juvéniles marqués au Moulin des Princes (Prévost, 1997), a pu être modifié en 1997.

Sur le site du Moulin du Leslé, les individus dévalants piégés sont seulement dénombrés et marqués. Lors des épisodes de dévalaison les plus intenses, le rythme des captures de juvéniles a pu excéder les capacités de marquage conduisant au relâcher d'une partie des poissons piégés sans apposition de marque. Le marquage consiste en un marquage de masse (par ablation de l'extrémité d'une nageoire pelvienne) et un marquage individuel par "implant visible" introduit dans l'opercule. Durant une courte période de 7 jours entre le 22 et le 29 avril, une rupture de stock sur les implants visibles a conduit à les remplacer par des films plastiques numérotés insérés sous la nageoire dorsale, du même type que ceux utilisés en 1995.

Au Moulin des Princes, les juvéniles migrants capturés sont dénombrés, examinés pour la présence de marques, mesurés (longueur fourche (Lf), mm) et pesés (g). Des écailles sont prélevées sur certains pour déterminer leur âge, en essayant d'atteindre un nombre minimum de 20 prélèvements par classe taille de 5 mm.

L'estimation de l'effectif dévalant et son intervalle de confiance à 95% ont été calculés par la méthode de Darroch telle que mise en oeuvre par logiciel SPAS (Arnason *et al.*, 1996). Cette méthode travaille sur des données stratifiées et permet de tenir compte des variations des taux de marquage et de recapture suivant les strates. Six strates de marquage et six strates de recaptures (plus une pour la phase initiale de la dévalaison avant la mise en service du piège du Moulin du Leslé) ont été distinguées pour la dévalaison 1997. Elles ont été déterminées après examen de la matrice des recaptures journalières contenant dans chaque cellule (i,j) le nombre d'individus marqués le jour i et recapturés le jour j. Le critère retenu pour délimiter les strates a été que l'essentiel des individus appartenant à une strate de recapture proviennent d'une et une seule strate de marquage, tout en évitant de constituer des strates dont les effectifs de recaptures seraient trop faibles. On a cherché ainsi à déterminer des groupes de juvéniles migrants au comportement homogène du point de vue de l'expérience de marquage/recapture, les poissons d'une même période de marquage étant grossièrement repris durant une seule et même période de recapture. Par voie de conséquence, la matrice des recaptures par strate a une structure à peu près diagonale, ce qui favorise la convergence des algorithmes d'estimations utilisés par le logiciel SPAS.

Estimation de l'échappement

Estimation du nombre d'adultes participant à la reproduction

Les effectifs d'adultes sont estimés séparément pour les "saumons vrais" (poissons ayant séjourné deux hivers en mer ou effectuant leur deuxième retour en eau douce, appelés

par la suite PHM) et les castillons (poissons ayant séjourné un seul hiver en mer, appelés par la suite IHM). Quelle que soit la catégorie d'adulte concernée, l'estimation du nombre de reproducteurs participant au frai repose sur la technique de marquage/recapture.

Les opérations de marquage sont menées à la station du Moulin des Princes. Les poissons sont prélevés dans une sorte de nasse métallique, un épi rocheux qui barre le cours du Scorff en aval de l'installation servant à les guider vers le dispositif de capture. Chaque poisson piégé est mesuré (Lf et longueur maxillaire supérieure, mm), pesé (g) et quelques écailles lui sont prélevées pour déterminer son âge. Il est ensuite marqué par tatouage au bleu alcyan sur une pectorale ainsi que sur le ventre entre les deux pectorales et par une combinaison de trois points apposés parmi huit positions possibles, selon un procédé analogue à celui présenté par Johnstone (1981). Ce marquage par une combinaison de trois points parmi huit positions possibles permet un codage de la semaine de passage au piège du Moulin des Princes. Une fois marqués, les poissons sont libérés à l'amont du dispositif de capture. La multiplication des points de marquage permet de considérer que le taux de perte de marques est négligeable.

Des échantillons de recapture sont récoltés tout au long de l'année sur des poissons étant passés en amont de la station du Moulin des Princes. On distinguera :

- ceux recueillis en cours d'année alors que des saumons adultes continuent d'entrer dans le Scorff. Ils proviennent essentiellement des captures faites par les pêcheurs à la ligne et qui ont été présentées au Moulin des Princes pour détecter la présence éventuelle d'une marque. Plus secondairement il s'agit également de poissons morts ou mourants pris à la station du Moulin des Princes ou récupérés dans le Scorff puis amenés à la station pour identification d'un possible marquage.

- ceux obtenus pendant ou peu après la reproduction alors que tous les adultes pouvant participer au frai sont de retour dans le Scorff. Il s'agit essentiellement de poissons capturés vivants sur les frayères et examinés directement pour la détection de marques, puis libérés sur leur lieu de capture après apposition d'une contremarque sous la forme de l'ablation de l'extrémité d'une nageoire pelvienne. Les opérations de recapture pratiquées sur les frayères sont menées essentiellement de nuit au moyen d'épuisettes et sur différents sites de frai répartis tout au long du cours principal du Scorff, ainsi que sur ses principaux affluents. Pendant et peu après la reproduction il est aussi récupéré des poissons morts ou mourants que ce soit à la station du Moulin des Princes ou à proximité des sites de frai.

Quelque soit le mode de recapture utilisé, on ne considère pour les estimations d'effectifs d'adultes que les poissons ayant été examinés par du personnel scientifique pour minimiser l'incertitude dans l'identification des marques. La séparation des IHM et des PHM parmi les poissons recapturés a été faite à partir d'un prélèvement d'écailles dès lors que leur taille ($L_f > 670$ mm) et/ou leur marquage (à partir du mois de juin, il y a très peu de semaines ou des PHM ont été capturés, cf. résultats) ne permettaient pas de les classer sans ambiguïté.

Le nombre de IHM participant à la reproduction est estimé directement en prenant en compte les échantillons recapturés pendant et juste après la reproduction. Le nombre de marques présentes dans la population d'adultes lors du frai (m_{IF}) est calculé de la façon suivante :

$$m_{IF} = m_{IT} \cdot s - m_{IL}$$

m_{IT} = nombre de IHM marqués à la station du Moulin des Princes et relâchés en amont,

s = taux de survie des saumons adultes entre la capture au piège et la période de reproduction,

m_{IL} = nombre de IHM marqués et retirés par les captures à la ligne.

Le taux de survie s a pour but de tenir compte du fait que, en dehors de celles retirées par la pêche, toutes les marques ne sont plus présentes au moment de la reproduction (quelle qu'en soit la cause : mort naturelle, braconnage, perte de marque...). En l'absence d'indication précise justifiant de retenir une autre valeur, s est fixé à 0.9. Le nombre de IHM marqués capturés par pêche à la ligne est estimé par :

$$m_{IL} = C_{IL} \cdot p_{IML}$$

C_{IL} = estimation des captures à la ligne de déduites du suivi de la pêche³,

p_{IML} = proportion de IHM marqués dans les captures à la ligne qui ont fait l'objet d'une détection de marque.

La technique statistique retenue pour l'estimation des effectifs d'adultes est calquée sur celle proposée par Gazey et Staley (1986) en ne considérant qu'un seul épisode de marquage puis de recapture. Il s'agit d'une méthode bayésienne qui permet d'obtenir la distribution de probabilité *a posteriori* de la taille de la population compte tenu des données de recapture disponibles.

La méthodologie décrite ci-dessus a subi quelques variations pour les PHM pour deux raisons essentielles :

- comme en 1995 (Prévost, 1997), cette fraction du stock a été affectée par une épisode à caractère épidémique durant les mois d'avril et mai entraînant des mortalités significatives mais difficilement quantifiables avec précision. Cinq PHM morts lors de cette épizootie (dont 4 marqués) ont été récupérés dans la rivière ou à la station du Moulin des Princes.

- trop peu de PHM (3) ont été échantillonnés durant la période de reproduction pour pouvoir former une estimation sur cette seule base.

L'approche retenue a été similaire celle utilisée pour l'année 1995 en la complétant pour tenir compte de l'incertitude sur le nombre de poissons marqués et non marqués morts lors de l'épidémie printanière. Elle procède d'une démarche bayésienne fondée sur les hypothèses et le modèle suivants :

- on considère que la récupération de poissons morts de l'épizootie (marqués ou non) est un processus qui peut être assimilé à un tirage binomial. On peut alors obtenir les distributions de probabilité *a posteriori* du nombre de poissons marqués et non marqués morts lors de l'épizootie printanière en retenant comme distributions de probabilité *a priori* des lois uniformes entre 0.1 et 0.9 pour la probabilité de récupération des individus morts, entre le nombre récupérés (4) et le nombre total marqués (38) pour les individus marqués et entre le nombre récupérés (1) et 50 pour les individus non marqués.

- connaissant le nombre de poissons marqués (libérés en amont du Moulin des Princes) déduction faites des mortalités dues à l'épizootie, on peut obtenir, par la même technique que pour les IHM, la distribution de probabilité *a posteriori* des retours de PHM déduction faites des mortalités printanières, en cumulant toutes les recaptures de PHM faites au cours de l'année (pêche à la ligne, mortalités autres que printanières et échantillonnage sur les frayères) et en faisant l'hypothèse que la proportion de PHM marqués a été stable au cours du temps.

- on peut déduire la distribution *a posteriori* de l'échappement de PHM (E_p) de celle du nombre de retours déduction faites des mortalités printanières par la formule suivante :

$$E_p = R'_p \cdot s - C_{PL}$$

R'_p = nombre de PHM étant retournés dans le Scorff déduction faites des mortalités consécutives à l'épizootie,

s = taux de survie des adultes entre la capture au piège et la période de reproduction (hors épizootie) = 0.9,

C_{PL} = nombre de captures de PHM estimé lors du suivi de la pêche.

La distribution *a posteriori* de l'échappement de PHM est obtenue par des simulations de Monte-Carlo réalisées grâce au logiciel Crystal Ball (Anonyme, 1996b). On procède de la façon suivante :

- tirage de la probabilité de récupération des PHM morts lors de l'épizootie printanière dans sa distribution de probabilité *a priori*,

- tirage du nombre de morts marqués dans sa distribution *a posteriori* connaissant la probabilité de récupération des PHM morts,

³ Un suivi halieutique de l'exploitation du saumon dans le Scorff est réalisé chaque année depuis 1992 en collaboration avec l'association de pêche locale (APPMA de Plouay).

- tirage du nombre de retours de PHM déduction faites des mortalités printanières dans sa distribution *a posteriori* connaissant le nombre PHM marqués et morts lors de l'épidémie,
- calcul de l'échappement à partir du nombre de retours de PHM déduction faites des mortalités printanières.

Une approximation de la distribution *a posteriori* de l'échappement de PHM est obtenue en cumulant les résultats de 20000 tirages.

Proportion de femelles et fécondité moyenne par femelle

La méthode retenue pour le calcul de la cible d'échappement du Scorff repose sur des estimations moyennes à l'échelle du Massif Armoricain de la proportion de femelles parmi les adultes et de la fécondité par femelle (Prévost et Porcher, 1996). On utilise ces mêmes valeurs pour convertir le nombre d'adultes ayant participé à la reproduction en dépose d'oeufs, soit :

- 45 % de femelles et 4058 oeufs par femelle pour les IHM ;
- 80 % de femelles et 7227 oeufs par femelle pour les PHM.

Estimation et distribution de probabilité de la dépose d'oeufs

L'estimation de l'échappement étant menée séparément pour les IHM et les PHM, on obtient deux distributions de probabilité *a posteriori* du nombre d'adultes participant à la reproduction. Après conversion des nombres de IHM et de PHM en nombres d'oeufs grâce aux paramètres présentés au paragraphe précédent, les deux distributions de déposes d'oeufs ainsi obtenues sont combinées, en considérant qu'elles sont indépendantes, pour bâtir une distribution de probabilité *a posteriori* de la dépose d'oeufs totale (IHM + PHM). Cette dernière est approximée au moyen de simulations de Monte-Carlo (20000 tirages) en échantillonnant indépendamment dans les distributions *a posteriori* des échappements de IHM et de PHM.

Comparaison de la dépose d'oeufs avec la cible d'échappement

La confrontation de la dépose d'oeufs totale avec la cible d'échappement se fait en deux temps. On compare tout d'abord la valeur la plus probable et la cible, puis on positionne la cible dans la distribution de probabilité cumulée *a posteriori* de la dépose d'oeufs totale pour en déduire une probabilité que la cible d'échappement ait été dépassée, probabilité qui incorpore l'incertitude dans la détermination de la dépose d'oeufs.

Estimation de l'effectif des retours d'adultes et du taux d'exploitation par la pêche à la ligne

Les effectifs des retours de IHM sont recalculés à partir des estimations du nombre de poissons participant à la reproduction selon la formule suivante :

$$R_1 = E_1 / s + C_{1L} + D_1$$

R_1 = effectifs des retours de IHM,

E_1 = nombre IHM participant à la reproduction,

D_1 = IHM pris au piège du Moulin des Princes et non relâchés en amont (conservés pour d'autres expériences ou morts lors de leur capture ou au cours des manipulations).

Le nombre de total de PHM est obtenu en ajoutant à l'estimation des retours déduction faites des mortalités printanières le nombre total (marqués + non marqués) de PHM morts lors de l'épidémie. La distribution de probabilité *a posteriori* des retours de PHM est approchée par la même séquence de tirages que pour l'échappement en y adjoignant un échantillonnage dans la distribution *a posteriori* des PHM morts et non marqués connaissant la probabilité de récupération des individus morts.

Le taux d'exploitation par la pêche à la ligne est calculé en faisant le rapport entre les captures et l'effectif estimé des retours d'adultes.

Estimation des taux de survie de l'oeuf au smolt et du smolt à l'adulte

Pour la première dépose d'oeufs estimée en 1994 (Prévoist, 1997) on est en mesure de proposer une évaluation du taux de survie jusqu'au stade smolt. En effet, elle a donné des juvéniles dévalants âgés de 1 an en 1996 et de 2 ans en 1997 et l'on peut négliger les éventuels smolts de 3 ans migrant en 1998. De même, pour la première estimation de production de smolts en 1995, on peut quantifier le taux de survie en mer. En effet, elle a donné les retours de 1HM en 1996 et de 2HM en 1997 et l'on peut négliger les éventuels poissons ayant séjourné 3 hivers en mer qui pourraient remonter en 1998. Les taux de survies sont calculés en faisant simplement le rapport entre les effectifs estimés aux stades concernés.

II - Résultats

II.1 - Production de smolts

Mis en fonctionnement le 1^{er} avril, le dispositif de piégeage du Moulin du Leslé a été maintenu en opération jusqu'au 12 mai. Il a permis de capturer 4974 juvéniles dévalants présentant tous une livrée de smolt caractéristique (robe argentée, nageoires décolorées ourlées d'un liseré noir...) à l'exception de 15 pré-smolts (argenture incomplète) pris durant la première moitié de la période d'observation (avant le 19 avril). Au Moulin des Princes, 2121 juvéniles dévalants ont été capturés parmi lesquels seulement 11 individus, tous pris avant le 14 avril, n'avaient pas un aspect de smolt caractéristique. Le premier juvénile dévalant a été échantillonné le 23 février et le dernier le 29 mai ; 95% des captures ont été réalisées entre le 1^{er} avril et le 11 mai. Le rythme des captures journalières sur les deux dispositifs (Fig. 2) montre l'existence de deux pics de migration, l'un aux alentours de la mi-avril et l'autre fin avril/début mai. Le rythme des captures sur les deux dispositifs ne représentent pas exactement celui de la dévalaison, car il est affecté par les fluctuations d'efficacité des pièges au cours du temps (voir *infra*).

Les données biologiques collectées au Moulin des Princes permettent d'estimer la taille moyenne des smolts en 1997 à 133 mm (ec.type : 12.2 mm) pour un poids moyen de 24.7 g (ec.type : 7.5 g). La distribution en taille des smolts est unimodale (mode : 132 mm) et 95% des individus ont une longueur fourche comprise entre 111 et 160 mm. A partir des 355 individus dont l'âge a pu être déterminé par lecture d'écaillés, on obtient la composition en âge par classe de 5 mm. Couplée avec la distribution en taille des smolts, cette clé taille/âge permet de calculer la composition en âge du flux de smolts dévalant en 1997 : 99% de smolts de 1 an et 1% de 2 ans.

3318 smolts ont été marqués au Moulin du Leslé, 706 ont été recapturés au Moulin des Princes parmi lesquels 22 avaient perdu leur marque individuelle (taux de perte de marque : 3.1%). Le temps séparant marquage et recapture est généralement court : 50% des individus recapturés le sont le jour même ou lendemain de leur marquage et environ 75% le sont moins de 2 jours après. Six strates de marquage (M1 à M6) et 7 strates de recaptures ont été individualisées (R0 à R6 ; Tableau 1). La première strate de recapture qui s'étend jusqu'au 2 avril correspond à la phase initiale de la dévalaison au cours de laquelle le piège du Moulin du Leslé n'était pas encore en place. L'expérience de marquage/recapture ne porte donc que sur les 6 strates de recapture suivantes. Les poissons ayant perdu leur marque individuelle ont été ré-affectés aux différentes strates de marquage au *pro rata* du profil de distribution de leur strate de recapture dans les strates de marquage. Au cours de la période couvrant l'expérience de marquage/recapture, le flux de smolts est estimé à 10298 (I. C. 95% [9540, 11056]). Pour tenir compte du fait que la dévalaison des smolts avait déjà commencé avant le début des opérations de marquage au Moulin du Leslé, on peut rajouter à ce chiffre une estimation du nombre de juvéniles ayant dévalé au cours de la strate R0. 68 individus ont été piégés au Moulin des Princes durant cette période et si l'on prend pour efficacité du piège du Moulin des

Princes la moyenne obtenue pour les strates R1 à R6 (20.6%), on obtient une estimation de 330 smolts ayant migré au cours de la phase initiale de la dévalaison. La production totale de smolts pour 1997 peut donc être estimée à 10628 individus. L'efficacité des deux dispositifs de piégeage varie au cours du temps, passant suivant la strate considérée de 31.7% à 61.5% au Moulin du Leslé (une fois considéré le fait que tous les individus capturés n'ont pas été marqués) et de 10.4% à 28.9% au Moulin des Princes. Ces variations d'efficacité semblent au moins pour partie dues aux fluctuations de débit (Fig. 3).

II.2 - Caractéristiques des adultes échantillonnés à la station du Moulin des Princes

360 adultes de saumon atlantique ont été capturés au piège du Moulin du Princes en 1997. Il s'agit essentiellement de 1HM (322 individus soit 89%), les PHM représentant une fraction minoritaire (38 poissons dont 36 âgés de 2 ans de mer et 2 effectuant un deuxième retour après un court séjour en mer de quelques mois et un premier retour en tant que castillon). Tous âges de mer confondus, le temps de séjour en eau douce des adultes est majoritairement de 1 an : 83.5% (Fig. 4). Les 1HM ont une taille moyenne de 612 mm (ec.type = 40.8 mm) pour un poids moyen de 2498 g (ec.type = 524 g). Les poissons ayant séjourné 2 hivers en mer mesurent en moyenne 740 mm (ec.type = 32 mm) pour un poids moyen de 4489 g (ec.type = 650 g), les 2 poissons de seconde remontée étant d'un gabarit plus faible (661 et 667 mm pour un poids de 2796 et 2913 g).

Le distribution des captures au piège au cours de l'année 1997 est présentée à la figure 5. Le premier adulte échantillonné à la station du Moulin des Princes a été pris en fait fin 1996 (le 15 décembre). Après quelques captures sporadiques durant l'hiver 1997, les saumons de printemps ont été échantillonnés assez régulièrement à partir de la troisième décade de mars et jusqu'à la fin mai. Cette période représente 79% des PHM pris au piège du Moulin des Princes. L'essentiel des 1HM ont été capturés de la deuxième décade de juin à la première décade d'août (79.5%). Après ce pic de remontée estival, des entrées plus irrégulières ont été observées au cours de l'automne, du début octobre au mois de décembre (13% des 1HM piégés). La distribution temporelle des captures à la station du Moulin des Princes ne représente pas directement le rythme d'entrée des adultes dans le Scorff car elle est influencée par les variations de l'efficacité du dispositif de piégeage au cours du temps et donc suivant le type d'adulte (voir § discussion).

II.3 - Estimation de l'échappement

Estimation du nombre d'adultes participant à la reproduction (Tableau 2)

Échappement 1HM

320 1HM ont été libérés marqués en amont de l'installation du Moulin des Princes en 1997. Les captures à la ligne de 1HM ont été estimées à 35 poissons, parmi lesquels 70.8% étaient marqués (17 sur 24 poissons pour lesquels un contrôle de marquage fiable a été opéré). Une fois tenu compte de la mortalité qui a pu affecter les 1HM entre la date de leur marquage et la période du frai, le nombre de marques potentiellement recapturables pendant ou peu après la reproduction est de 263. 28 1HM ont été recapturés pendant ou peu après la reproduction dont 19 étaient marqués (67.9%). On obtient alors une estimation d'échappement de 1HM de 387 (intervalle *a posteriori* à 95% [327, 563]) pour 1997.

Échappement PHM

38 PHM ont été relâchés marqués en amont du piège du Moulin des Princes en 1997. 4 PHM marqués et 1 non marqué ont été effectivement récupérés morts lors de l'épizootie printanière. Tous modes de recapture confondus, 6 PHM marqués ont été observés parmi un

échantillon de 13 individus. On estime alors à 65 (intervalle *a posteriori* à 95% [23, 177]) le nombre de PHM revenus dans le Scorff en 1997 déduction faites des mortalités occasionnées par l'épizootie du printemps. En tenant compte d'un prélèvement par pêche de 8 PHM et du taux de mortalité (hors épizootie) entre le marquage et la reproduction, on estime à 51 individus (intervalle *a posteriori* à 95% [13, 151]) l'échappement de PHM.

Estimation et distribution de probabilité de la dépose d'oeufs

La distribution de probabilité *a posteriori* de la dépose totale (1HM + PHM) est présentée à la figure 6. La dépose d'oeufs est estimée à 955 000 oeufs en 1997 (intervalle *a posteriori* à 95% [775 000, 1 665 000]).

II.4 - Comparaison de la dépose d'oeufs par rapport à la cible d'échappement

La dépose d'oeufs estimée en 1997 est égale à la cible d'échappement du Scorff. L'examen de la distribution de probabilité cumulée (Fig. 6) de la dépose d'oeufs indique que la probabilité *a posteriori* que la dépose d'oeufs ait été supérieure à la cible d'échappement est de 77.1%. Même s'il n'est pas certain que la cible d'échappement ait été dépassée en 1997, la dépose d'oeufs n'a pas pu être très largement inférieure à cette dernière. En effet, la probabilité que la dépose d'oeufs ait excédé 75% de la cible d'échappement est de 99.3%.

II.5 - Estimation de l'effectif des retours d'adultes et du taux d'exploitation par la pêche à la ligne

En 1997 les effectifs des retours dans le Scorff (Tableau 2, Fig. 7) sont estimées à 75 PHM (intervalle *a posteriori* à 95% [55,186]), dont 5.3% (2/38) sont des poissons de second retour, et 467 1HM (intervalle *a posteriori* à 95% [400, 664]). Les captures ayant été estimées à 8 PHM et 35 1HM, les taux d'exploitation par la pêche à la ligne peuvent être évalué à 10.7% pour les PHM et 7.5% pour les 1HM.

II.6 - Estimation des taux de survie de l'oeuf au smolt et du smolt à l'adulte

En 1994, la dépose d'oeufs a été estimée à 1 610 000 oeufs (Prévost, 1997). Si l'on reprend les estimations d'effectifs et de composition par classe d'âge des flux de smolts 1996 (Tableau 1) et 1997, cette dépose d'oeufs a produit 2968 juvéniles migrants d'âge 1+ en 1996 et 106 d'âge 2+ en 1997. Le taux de survie de l'oeuf au smolt pour la cohorte 1995 (année de naissance) peut donc être évalué à 0.19%.

En 1995, la production de smolts du Scorff a été estimée à 6206 individus (Tableau 1). Ces juvéniles migrants ont donné au retour de leur phase marine 654 1HM en 1996 et 75 PHM en 1997 (Tableau 2). On peut donc évaluer à 11.7% la survie en mer des smolts ayant quitté le Scorff en 1995.

III - Discussion

III.1 Production de smolts, taux de survie et pronostics de retours d'adultes pour 1998

Le nouveau dispositif de piégeage des smolts du Moulin du Leslé a permis d'atteindre les deux objectifs qui ont motivé sa mise en service :

- supprimer les remises en amont des individus marqués (telles que pratiquées en 1995 et 1996), ceci afin de perturber le moins possible le comportement de migration des smolts,

- augmenter le nombre de marques posées pour améliorer la précision des estimations de flux de smolts.

L'efficacité du dispositif du Moulin du Leslé a été en moyenne plus de deux fois supérieure à celle du Moulin des Princes (48% contre 21%), même si elle semble pouvoir varier dans un rapport de 1 à 2. Malgré une efficacité toujours relativement faible du piège du Moulin des Princes, la conjonction d'une forte dévalaison avec une bonne efficacité au niveau du Moulin du Leslé a permis de recapturer un nombre important d'individus marqués (706 en 1997 contre 43 en 1995 et 50 en 1996). Il a alors été possible de post-stratifier assez finement (6 strates) l'expérience de marquage/recapture pour réduire les risques de biais d'estimation sans en diminuer sensiblement la précision.

La production de smolts observée en 1997 est nettement plus forte que celle des années passées (6206 en 1995, 3261 en 1996). Ceci ne semble pas dû à des variations de la dépose d'oeufs initiale. En effet, cette dernière est restée stable (aux alentours de 1 600 000 oeufs) au cours des deux années de reproduction (1994 et 1995) contribuant principalement aux flux de smolts des années 1996 et 1997. Les écarts observés sont donc une bonne illustration de l'amplitude des fluctuations naturelles du recrutement (dans un rapport de 1 à 3) à dépose d'oeufs constante. Ces fluctuations ont vraisemblablement dans le cas présent été gouvernées par les conditions environnementales, avec l'impact négatif de la crue exceptionnelle de l'hiver 1995 sur les frayères qui a nuit à la production de juvéniles, induisant un taux de survie de l'oeuf au smolt très bas (0.19%) pour la cohorte de cette année là (Prévost, 1997). Pour la cohorte 1996, il est trop tôt pour savoir si le taux de survie de l'oeuf au smolt a au contraire été fort (contrecoup positif de la crue de 1995 ?) ou seulement moyen. Néanmoins, il ne fait aucun doute qu'il sera très supérieur à celui de la cohorte précédente (au minimum 0.63% si l'on ne prend en compte que les smolts d'âge 1+ ayant migré en 1997). On notera que ces valeurs de taux de survie de l'oeuf au smolt sont dans la gamme de celles observées sur l'Oir (affluents de la Sélune, Manche ; Prévost *et al.*, 1996), système servant de référence pour la détermination des cibles d'échappement et des TACs pour les cours d'eau du Massif Armoricain (Prévost et Porcher, 1996).

Le flux de smolts important observé en 1997 laisse bien augurer des retours de castillons de l'année 1998, sous réserve que les taux de survie en mer se maintiennent à des niveaux au moins égaux à ceux des années passées. Sur la base de la première évaluation de taux de survie en mer obtenue (11.7%) et avec des retours constitués à environ 90% de IHM, on peut s'attendre à observer des retours de castillons supérieurs à 1000 individus. Néanmoins, il convient de noter que la taille moyenne des smolts en 1997 (133 mm) était notablement inférieure à celles observées pour les deux cohortes précédentes (148 et 145 mm ; Tableau 1), ce qui pourrait avoir un effet négatif sur leur survie en mer (Baglinière, 1976 ; Hansen et Jonsson, 1989 ; Holtby *et al.*, 1990). Pour ce qui est des PHM, si l'on se base sur la composition des retours issus du flux de smolt 1995 (10.3% de PHM), on peut s'attendre à des retours de l'ordre d'une cinquantaine d'individus pour 1998.

L'estimation de taux de survie en mer obtenue pour les juvéniles ayant migré en 1995 (11.7%), la première pour un cours d'eau de Bretagne, est proche de la référence utilisée pour déterminer les cibles d'échappement et les TACs des cours d'eau bretons (14.1% ; Prévost et Porcher, 1996) qui provenait de la Bresle (fleuve côtier de Haute Normandie). Les retours de castillons observés en 1997 laissent entrevoir une survie en mer meilleure pour les smolts produits en 1996 (taux de survie minimum 14.3%), mais toujours proche du taux moyen observé sur la Bresle.

III.2 Retours d'adultes, échappement et taux d'exploitation

La méthode d'estimation utilisée pour estimer les retours et l'échappement de PHM constitue une amélioration par rapport au traitement qui avait été effectué pour l'année 1995 (Prévoist, 1997), année pour laquelle le même problème de mortalité printanière difficilement quantifiable s'était posé. En effet, l'approche bayésienne retenue permet de fournir une estimation non seulement de l'échappement mais aussi des retours, tout en intégrant dans le modèle d'estimation l'incertitude quant au nombre de poissons morts lors de l'épizootie printanière. Comme toujours dans une approche bayésienne, on va au-delà de la seule estimation ponctuelle pour fournir une distribution de probabilité *a posteriori* de la quantité à laquelle on s'intéresse, distribution qui est conditionnée par les observations disponibles (nombre de marques posées, nombre de marques recapturées, mortalités dûment constatées).

Les retours de IHM observés en 1997 sont inférieurs à ceux des trois années antérieures (Prévoist, 1997). Ceci était attendu car le flux de smolts 1996 était déjà faible (de l'ordre de la moitié) par rapport à celui de l'année précédente (Tableau 1).

L'efficacité du piège de montée du Moulin des Princes varie suivant le type d'adultes considéré. Ainsi, on peut l'évaluer à 51% pour les PHM (38/75) et 69% pour les IHM (322/468). Cet écart a sans doute plus à voir avec la différence de débits durant les périodes de retour préférentielles des deux types d'adultes qu'avec d'éventuelles différences de comportement vis à vis du dispositif de capture. En effet, durant le printemps, le débit du Scorff est plus élevé que durant l'été, mais en proportion, le débit passant par le piège représente une part moins importante au printemps qu'en été. Par voie de conséquence, le dispositif du Moulin des Princes serait plus "attractif" en été qu'au printemps.

Les taux d'exploitation par la pêche à la ligne observés en 1997 (10.7% pour les PHM, 7.5% pour les IHM) sont faibles, mais dans la gamme de ceux observés au cours des trois années précédentes (Fig. 7). Cette exploitation modérée, peut être consécutive à une abondance moins élevée que les années précédentes et de conditions peu favorables à la pêche lors de la période d'ouverture automnale, a permis de compenser au moins partiellement l'effet des faibles retours observés en 1997 sur la dépose d'oeufs. Ainsi, cette dernière reste proche de la cible d'échappement.

L'analyse des relations stock/recrutement est un élément essentiel du programme scientifique entrepris sur le Scorff car il est riche d'applications en matière de gestion des stocks. Dans cette perspective, il est important de noter qu'après quatre années d'observations, la dépose d'oeufs a peu varié, restant grossièrement comprise entre 1 million et 1.6 million d'oeufs (Prévoist, 1997). Ceci pose un problème sur le plan scientifique, car pour "apprendre" en quoi le niveau de la dépose d'oeufs initiale influe sur les retours d'adultes, il est indispensable d'observer des réponses en terme de retour à partir de niveaux de dépose d'oeufs bien contrastés (c'est à dire variant de plusieurs ordres de grandeur). Les premières années d'observations disponibles sur le Scorff n'ont pas encore généré "naturellement" de bonnes situations "expérimentales" pour l'étude des relations stock/recrutement. L'année 1998 sera intéressante de ce point de vue car on pourrait observer une forte dépose d'oeufs lors de la reproduction sous réserve que :

- les bons retours de castillons attendus se concrétisent ;
- l'exploitation ne viennent pas absorber une part de ces retours plus importante que par le passé, amortissant ainsi leur effet sur l'échappement.

Remerciements

La réalisation de ce travail a été rendue possible grâce aux moyens matériels (l'installation du Moulin des Princes) et humains (personnel technique) mis à disposition par la Fédération du Morbihan pour la pêche et la protection des milieux aquatiques.

Il m'est agréable de remercier Nicolas Jeannot (INRA) et François Burban (FDPPMA 56) pour leur collaboration technique, ainsi que l'AAPPMA de Plouay et plus particulièrement son président Jean-Yves Moelo pour son aide et son soutien.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme, 1996a. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon. Moncton, Canada, 10-19 April 1996. *ICES CM 1996/Assess: 11 Ref. M*, 228 p.
- Anonyme, 1996b. *Crystal Ball, Version 4.0. Prévission et analyse du risque sur tableur*. Decisioneering/Editions MEV, 221 p.
- Arnason A.N., Kirby C.W., Schwarz C.J. et J.R. Irvine, 1996. Computer analysis of data from stratified mark-recovery experiments for estimation of salmon escapements and other populations. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, **2106** : 37 p.
- Baglinière J.-L., 1976. Les populations de saumon atlantique (*Salmo salar* L., 1776) en Bretagne - Basse Normandie. I. - Caractéristiques des smolts de la rivière Ellé. *Ann. Hydrobiol.*, **7**, 141-158.
- Claude A., 1996. *Le recrutement chez le saumon atlantique (Salmo salar L.) dans le Massif Armoricaïn. Quantification des surfaces d'habitat favorables aux juvéniles et estimation de la survie embryo-larvaire sur le Scorff (Morbihan) et l'Oir, affluent de la Sélune (Manche)*. Mémoire C.E.S.A. option Halieutique, E.N.S.A. Rennes, 44 p.
- Gazey W.J. et M.J. Staley, 1986. Population estimation from mark-recapture experiments using a sequential Bayes algorithm. *Ecology*, **67** : 941-951.
- Hansen L.P. et B. Jonsson, 1989. Salmon ranching experiments in the river Imsa: effect of timing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt migration on survival to adults. *Aquaculture*, **82**, 367-373.
- Holtby L.B., Andersen B.C. et R.K. Kadowaki, 1990. Importance of smolt size and early ocean growth to interannual variability in marine survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**, 2181-2194.
- Johnstone R., 1981. Dye marking. Colour guide to growth performance. *Fish Farmer*, **4** : 24-25
- Prévost E., 1997. Etat du stock de saumon atlantique (*Salmo salar*) du Scorff (Bretagne sud, France) : production de smolts 1995-96, retours d'adultes et échappement 1994-96. *CIEM, Groupe de travail sur le saumon de l'Atlantique nord, Doc. trav. 97/37*, 15p.
- Prévost E., Baglinière J.-L., Maise G. et A. Nihouran, 1996. Premiers éléments d'une relation stock/recrutement chez le saumon atlantique (*Salmo salar*) en France. *Cybium*, **20** suppl. : 7-26.
- Prévost E. et J.-P. Porcher, 1996. *Méthodologie d'élaboration de totaux autorisés de captures (TAC) pour le Saumon atlantique (Salmo salar L.) dans le Massif Armoricaïn. Propositions et recommandations scientifiques*. GRISAM, Évaluation et gestion des stocks de poissons migrateurs, Doc. sci. tech. 1, 18 p.

Rennes, avril 1998

Tableau 1 : Bilan des opérations de marquage/recapture, estimations de la production, composition en âge et taille moyenne des smolts.
(voir § matériel et méthodes ; Prévost, 1997)

Année	Marquage par strate(1)	Effectif piégé	Effectif marqué	Recaptures totales	Recaptures par strate (2)						Estimation production	Composition en âge		Taille moyenne Lf (mm)		
					R0	R1	R2	R3	R4	R5		R6	1 an		2 ans	
1995	Marquage au Moulin des Princes, relâcher en amont et recapture au Moulin des Princes				594	458	43						6206	90%	10%	148
													[4804, 8212]			
1996	Marquage au Moulin des Princes, relâcher en amont et recapture au Moulin des Princes															
	M1	124	105	7	5	2							3261	91%	9%	145
	M2	212	174	43	0	43							[1232, 5290]			
	total marqués		279	50	5	45										
	total non marqués			286	119	167										
	total	336		336	124	212										
1997	Marquage au Moulin du Leslé et recapture au Moulin des Princes															
	M1	279	272	60	0	55	5	0	0	0	0		10628	99%	1%	133
	M2	709	708	80	0	0	60	19	1	0	0		<i>Sans strate R0</i>			
	M3	1644	602	94	0	0	0	86	6	1	1		10298			
	M4	458	429	106	0	0	0	0	97	8	1		[9540, 11056]			
	M5	1727	1164	325	0	0	0	0	3	297	25					
	M6	151	142	41	0	0	0	0	0	0	41					
	total marqués		3317	706	0	55	65	105	107	306	68					
	total non marqués			1415	68	123	94	479	143	433	75					
	total	4968		2121	68	178	159	584	250	739	143					

(1) Strates de marquage

- 1996 : M1 : avant le 29/4/96
- M2 : après le 29/4/96
- 1997 : M1 : du 1/4/97 au 6/4/97
- M2 : du 7/4/97 au 9/4/97
- M3 : du 10/4/97 au 16/4/97
- M4 : du 17/4/97 au 25/4/97
- M5 : du 26/4/97 au 2/5/97
- M6 : du 3/5/97 au 11/5/97

(2) Strates de recaptures

- 1996 : R1 : avant le 29/4/96
- R2 : après le 29/4/96
- 1997 : R0 : jusqu'au 2/4/97
- R1 : du 3/4/97 au 7/4/98
- R2 : du 8/4/97 au 10/4/97
- R3 : du 11/4/97 au 17/4/97
- R4 : du 18/4/97 au 26/4/97
- R5 : du 27/4/97 au 3/5/97
- R6 : après le 4/5/97

Tableau 2 : Bilan des opérations de marquage/recapture, estimations de l'échappement et des retours et taux d'exploitation.

(voir § matériel et méthodes ; Prévost, 1997)

Les valeurs en italique gras sont celles directement estimées, les intervalles *a posteriori* à 95% sont donnés entre crochets.

<i>Année</i>	Catégorie d'adultes	Effectif marqué relâché en amont	Marques disponibles lors du frai	Recaptures pendant ou peu après le frai	Echappement participant au frai	Retours adultes	Captures à la ligne	Taux d'exploitation pêche à la ligne
1994	1HM	156	130	4 marqués	587	694	41	6%
				14 non marqués	[344, 2400]			
1995	1HM	500	390	31 marqués	742	908	75	8%
				28 non marqués	[613, 1018]			
	PHM	42			45	>= 74	11	<= 15%
					[25, 188]			
1996	1HM	502	382	45 marqués	501	654	92	14%
				14 non marqués	[449, 598]			
	PHM	30	27	3 marqués	81	102	11	11%
				6 non marqués	[48, 349]			
1997	1HM	320	263	19 marqués	387	467	35	7%
				9 non marqués	[327, 563]	[400, 664]		
	PHM	38			51	75	8	11%
					[13, 151]	[55, 186]		

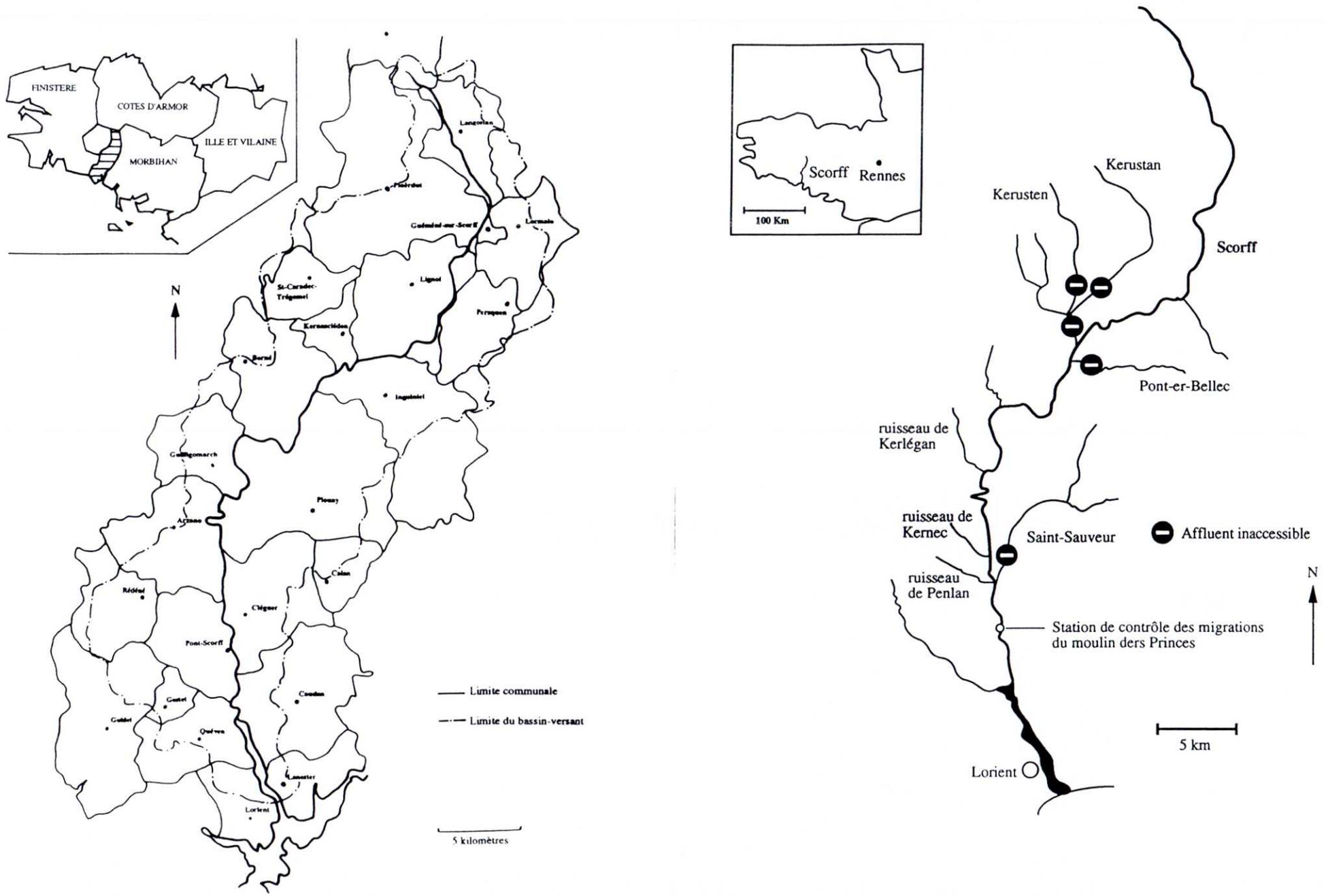


Figure 1 : Localisation géographique, bassin versant et réseau hydrographique du Scorff.

nb smolts capturés (Min Princes)

nb smolts capturés (Min Leslé)

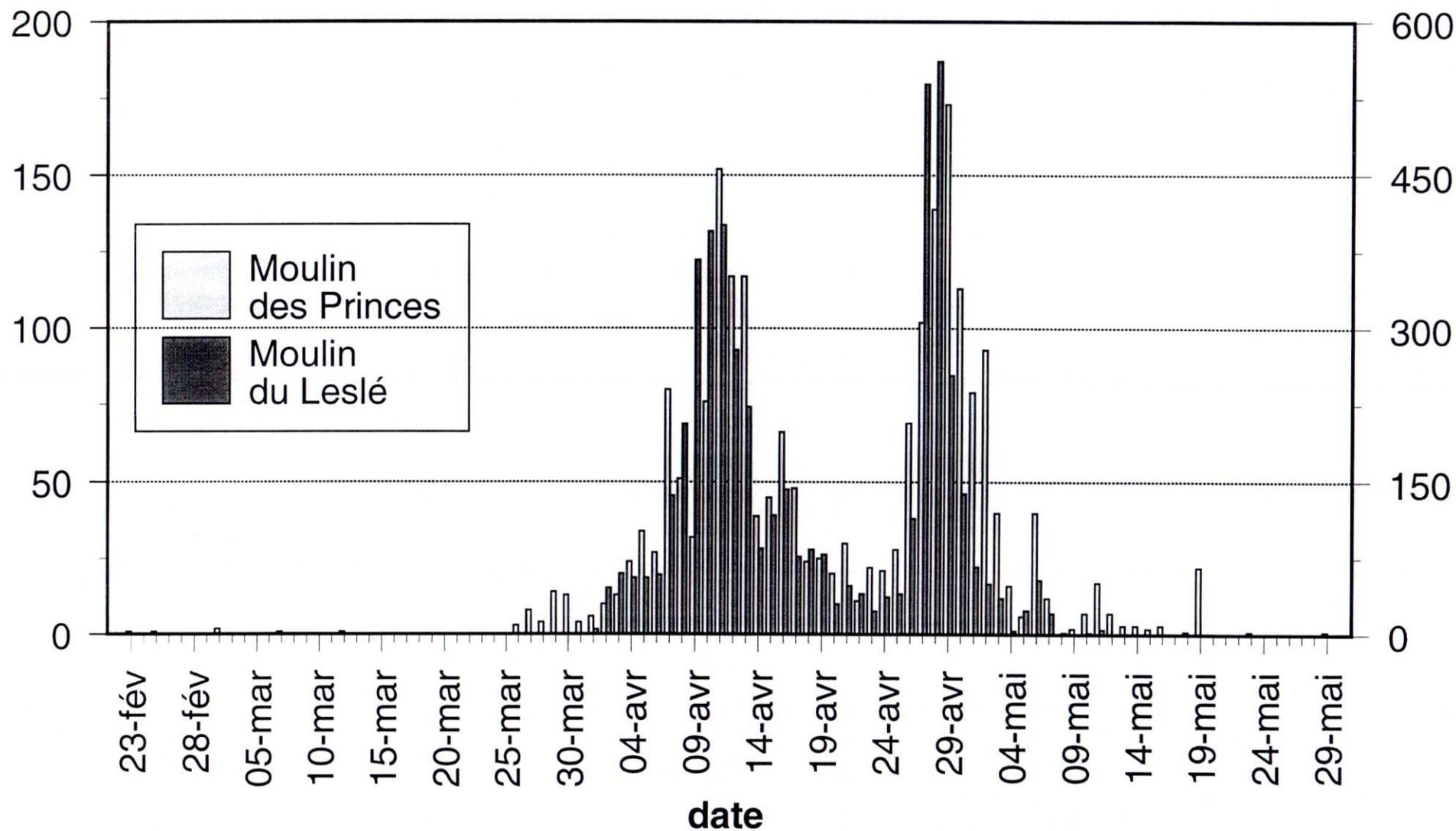


Figure 2 : Distribution des captures de smolts par jour à la station du Moulin des Princes et au Moulin du Leslé.

Efficacité (%)

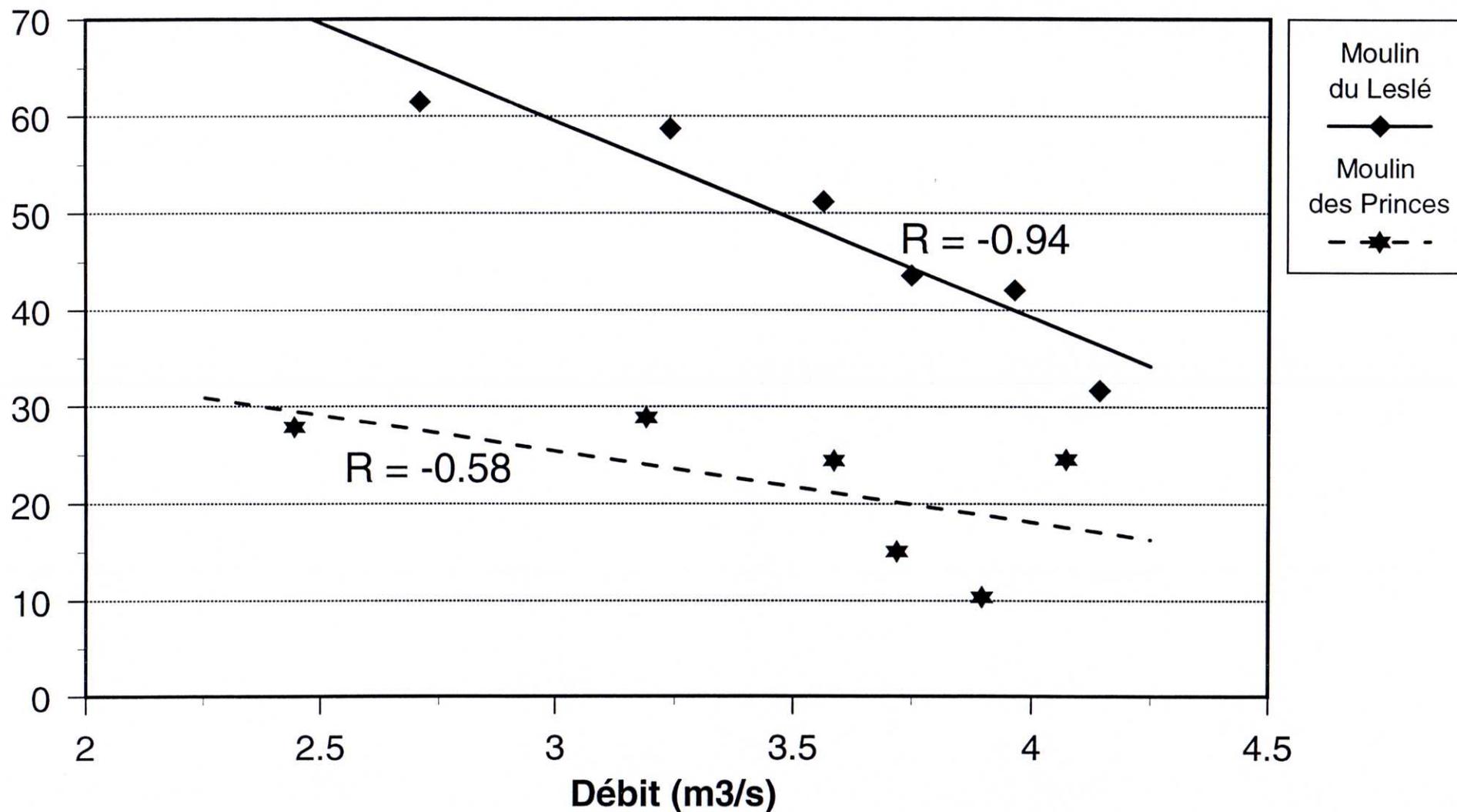


Figure 3 : Relation entre le débit et l'efficacité de piégeage des smolts par strate de marquage (Moulin du Leslé) et de recapture (Moulin des Princes).

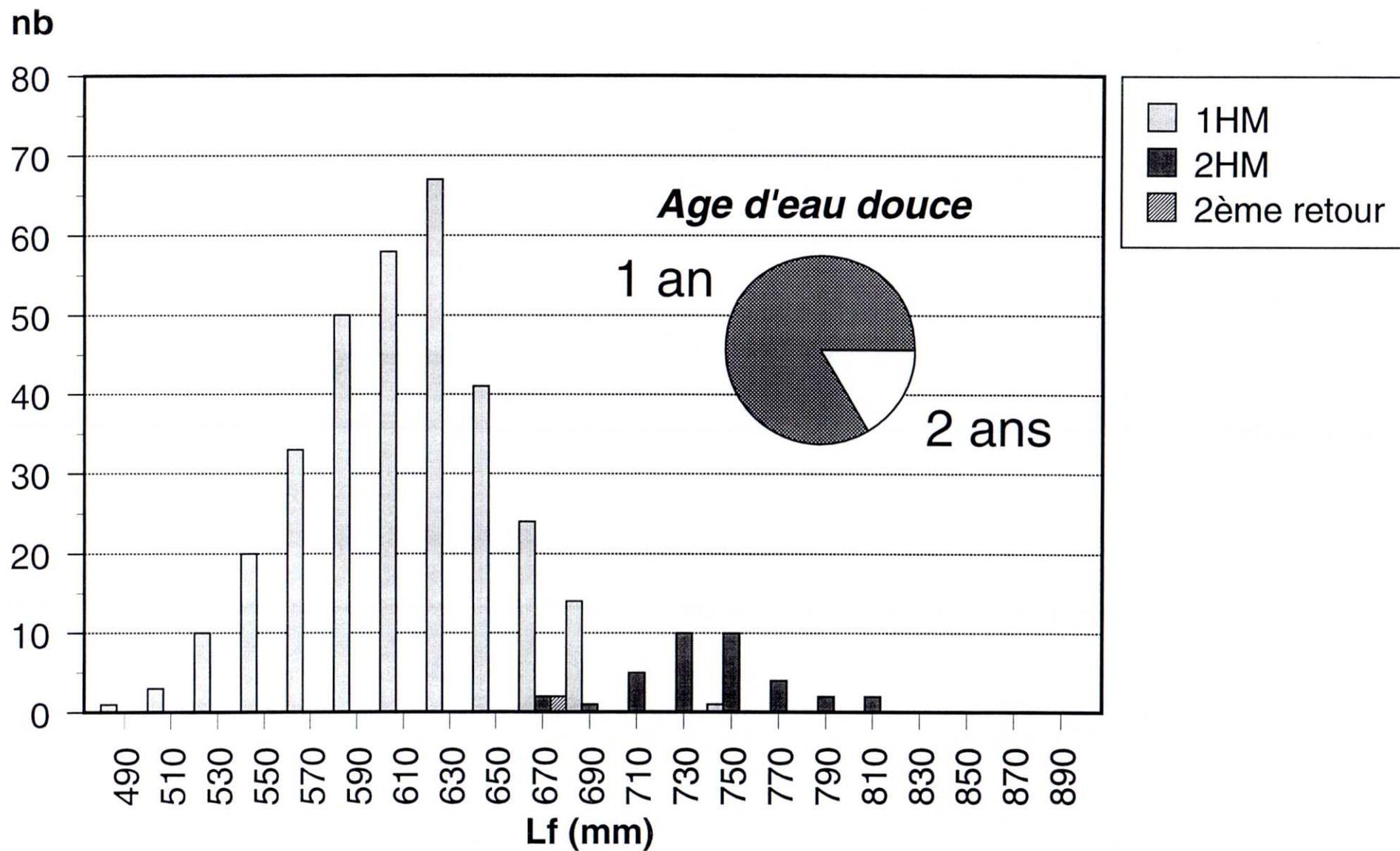


Figure 4 : Distribution de taille par catégorie d'âge de mer et composition en âge d'eau douce des adultes échantillonnés à la station du Moulin des Princes.

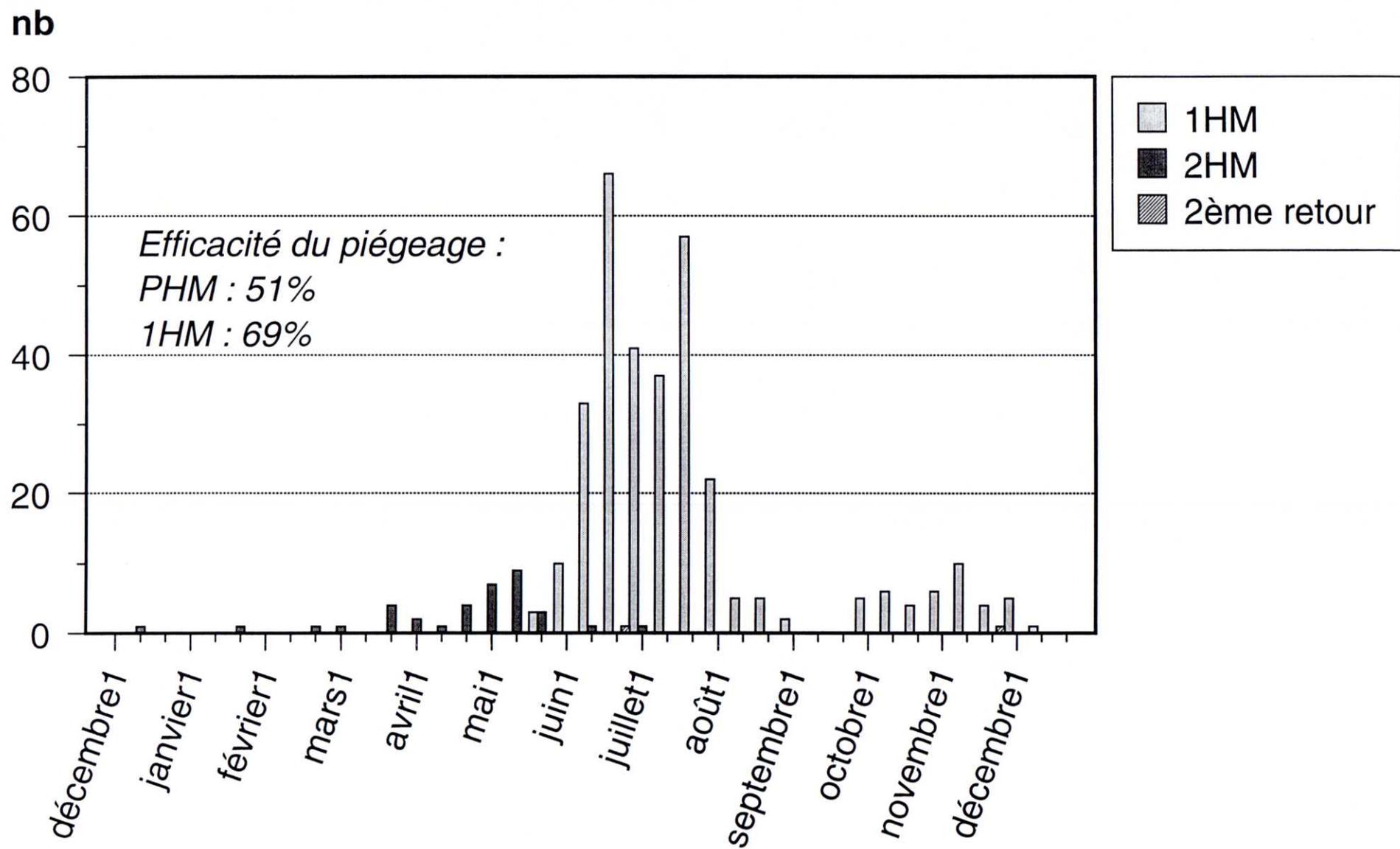


Figure 5 : Distribution par décade et par catégorie d'âge de mer des captures d'adultes à la station du Moulin des Princes.

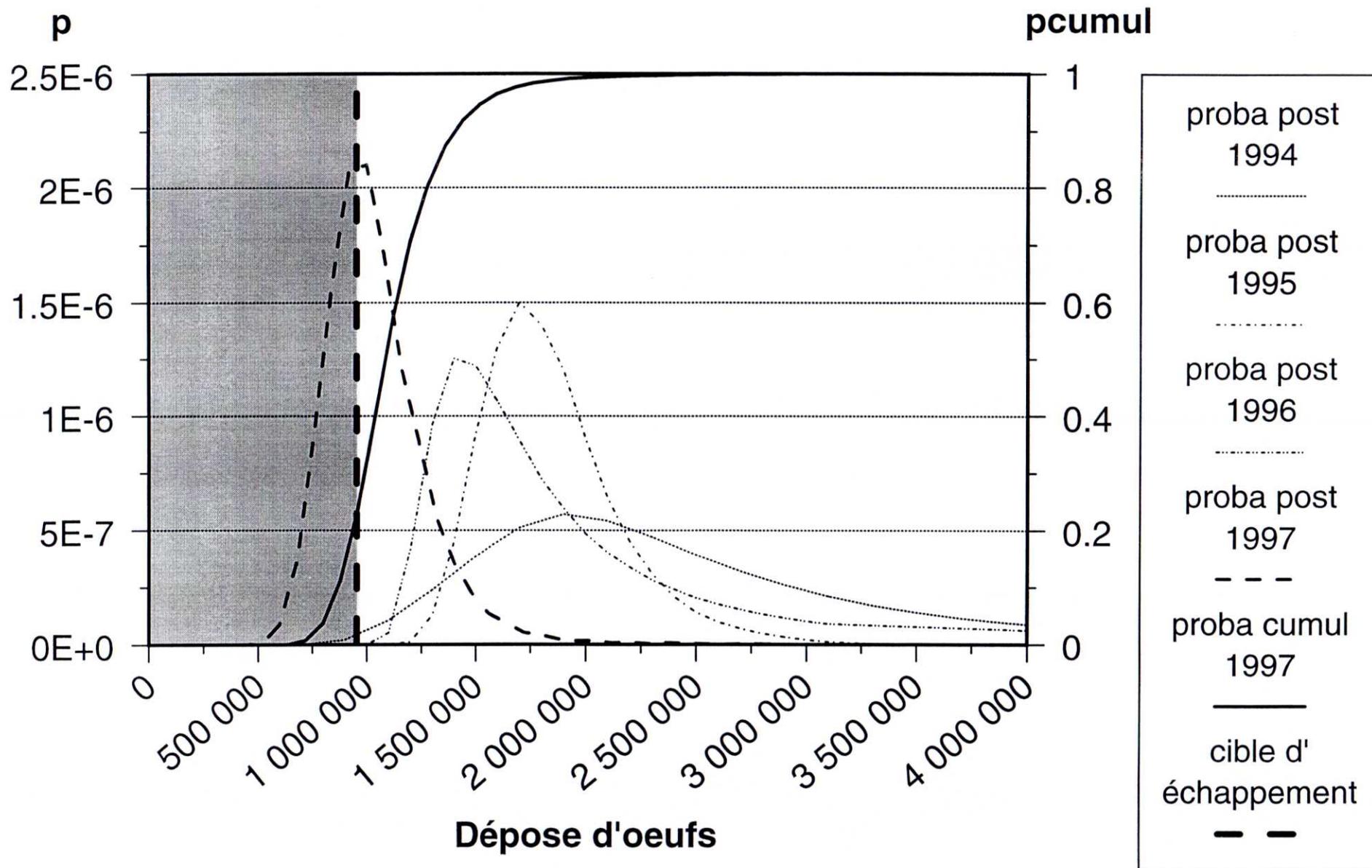


Figure 6 : Distribution de probabilité *a posteriori* et probabilité cumulée de la dépense d'oeufs totale.

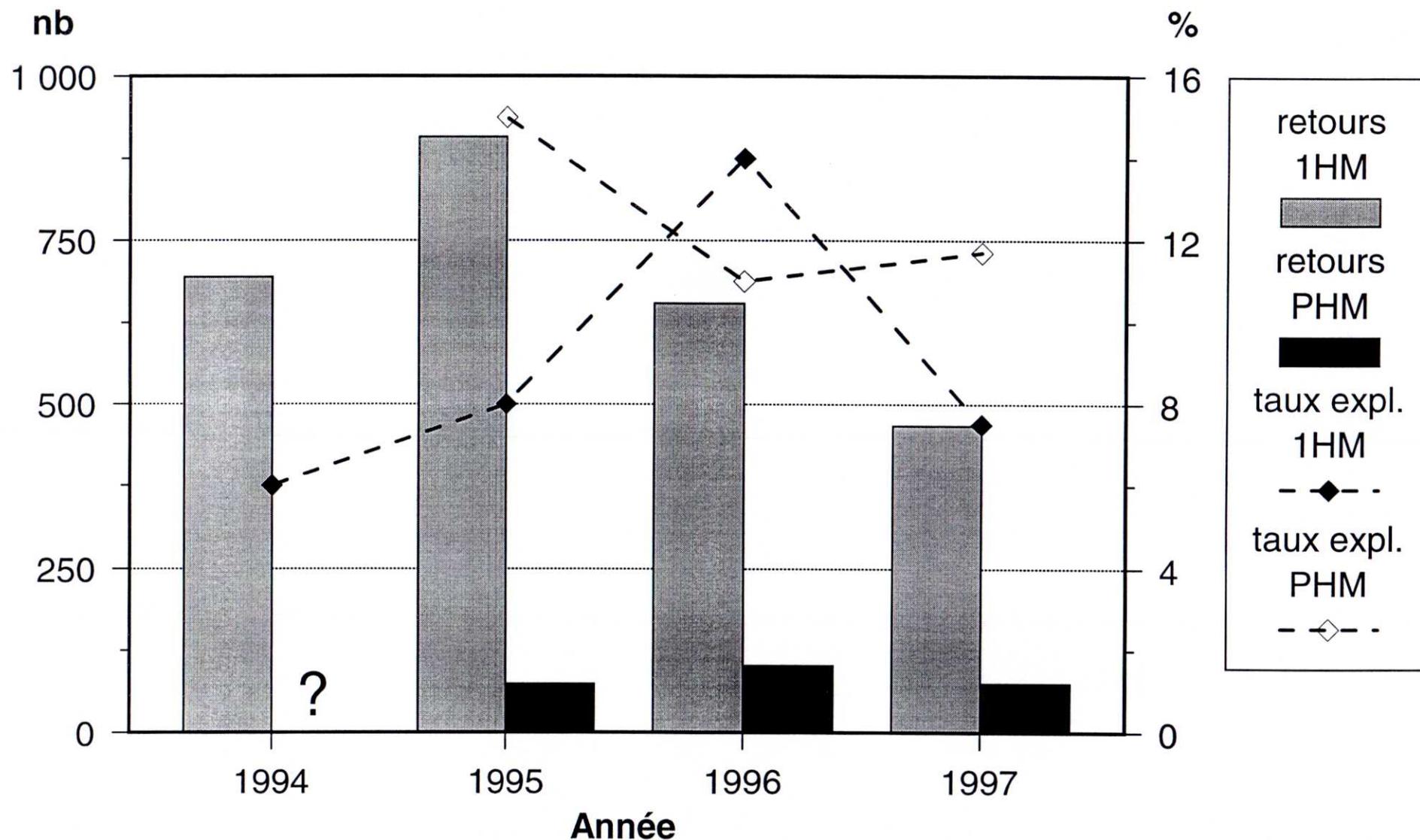


Figure 7 : Retours d'adultes et taux d'exploitation par la pêche à la ligne.

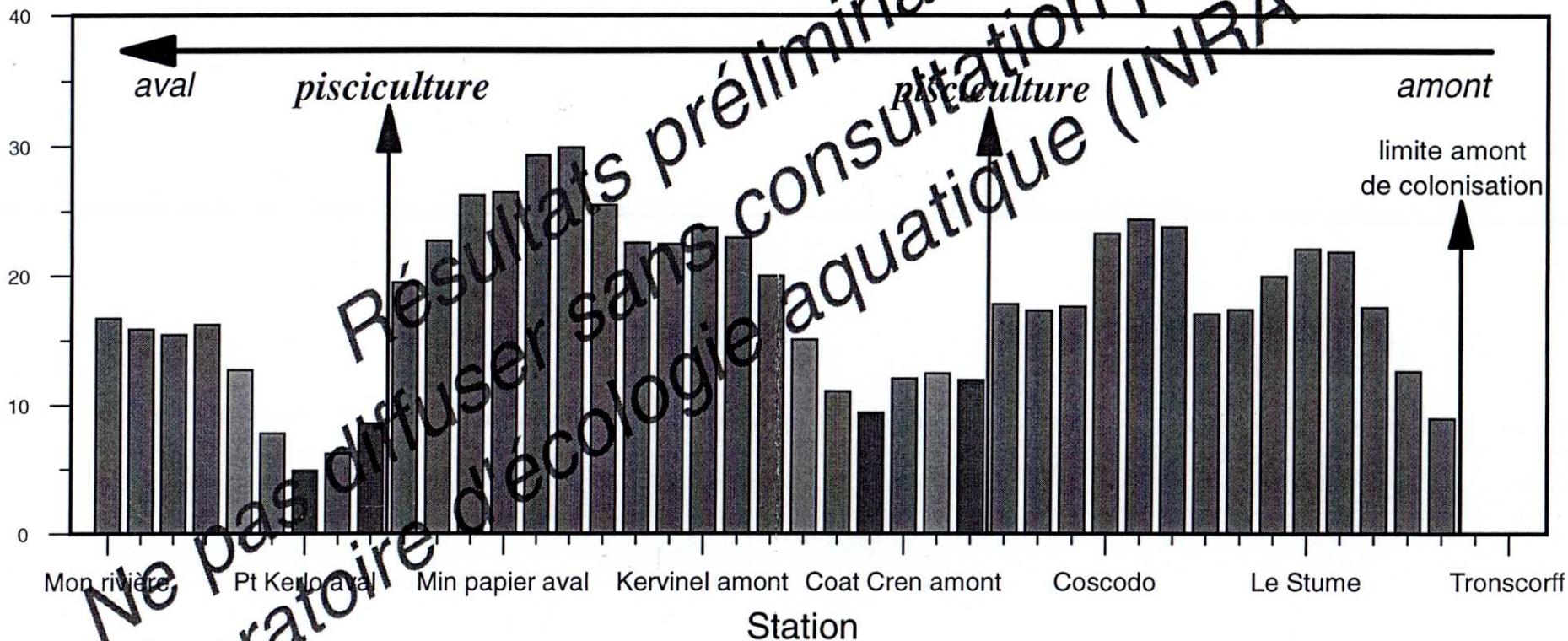
Pour l'année 1995, une valeur minimum est indiquée pour les retours de PHM et une valeur maximum pour leur taux d'exploitation (Prévost, 1997).

Abondances des juvéniles de saumon le long du cours principal du Scorff

Perturbations induites par les piscicultures

Juveniles de l'année à l'automne - moyenne 1993-96

Abondance (nb. ind. capturés en 5 mn)



Laboratoire d'écologie aquatique - INRA Rennes

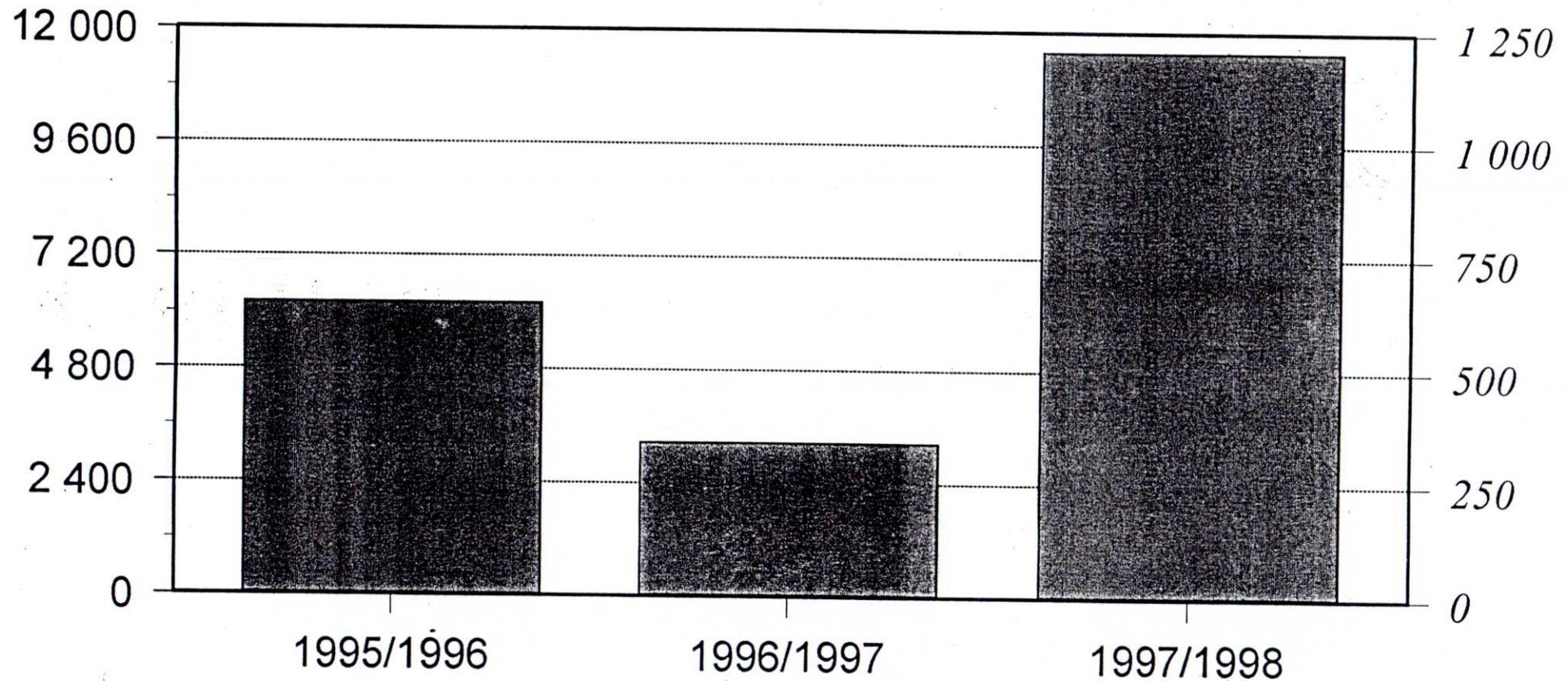
Prévost E. (données non publiées).

Moyenne mobile sur 3 stations.

Saumon atlantique - Scorff
Production de smolts 1995 -1997

Nb smolts

Prévision retours castillons



Années de dévalaison/retour de castillons