

**MODELISATION STOCHASTIQUE DU CYCLE BIOLOGIQUE DU  
SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR* L.) : BASES  
BIOLOGIQUES, IMPLEMENTATION INFORMATIQUE ET  
INTERPRETATION**

**Jacques Dumas <sup>a</sup>, Robert Faivre <sup>b</sup>, Marie-Hélène Charron <sup>b</sup>,  
Jacques. Badia <sup>b</sup>, Patrick Davaine <sup>a</sup>, Patrick Prouzet <sup>c</sup>**

**I - INTRODUCTION**

La dynamique des populations de salmonidés migrateurs anadromes est influencée par diverses contraintes environnementales naturelles (caractéristiques des bassins versants et des habitats des cours d'eau, climat et débits, abondance des compétiteurs et des prédateurs) ou anthropiques (aménagement de barrages, pratiques agricoles et industrielles, urbanisation, repeuplements, pêche). Ces contraintes agissent en rivière sur les différentes phases du cycle de développement des espèces par modification de la qualité de l'eau, des zones de frai, de production des jeunes, de stabulation des adultes, sur leur accessibilité et, dans le cas des repeuplements ou de la pêche en mer et en eau douce, directement sur les stocks. Elles conditionnent l'abondance des populations, leur gestion et leur exploitation.

Les modèles déterministes ne permettent pas de prendre en compte la variabilité inhérente à tout phénomène biologique (PROUZET, 1994). Afin d'atteindre une meilleure compréhension des relations entre ces contraintes et les populations, un modèle de fonctionnement du cycle biologique du Saumon atlantique, adapté de celui de GROS et PROUZET (1988) est proposé (CHARRON, 1994). Il est de type stochastique pour certaines caractéristiques de la dynamique des stocks jugées les plus importantes par les biologistes.

---

a - INRA, Station d'Hydrobiologie, BP 3, 64310 St Pée sur Nivelle

b - INRA, Station de Biométrie et Intelligence artificielle, BP 27, 31326 Castanet Tolosan

c - IFREMER, Station d'Hydrobiologie INRA, BP 3, 64310 St Pée sur Nivelle

## **II - MODELE CONCEPTUEL**

### **A- Bases biologiques**

Le modèle conceptuel reprend les phases successives de la vie de l'espèce en tenant compte des stades "clés" et de ceux contrôlables par les gestionnaires.

Sous nos latitudes, le saumon passe 1 à 2 années en eau douce et 1 à 3 années en mer avant de venir se reproduire dans sa rivière d'origine (BAGLINIERE et PORCHER, 1994 ; HELAND et DUMAS, 1994 ; DAVAINÉ et PROUZET, 1994).

Les contraintes les plus actives sur la dynamique des populations en eau douce interviennent lors des phases embryolarvaire sous les graviers des frayères (mortalités dues aux crues et au colmatage) et juvénile (mortalités dépendantes de la densité, des surfaces d'habitats favorables disponibles et de leur qualité). En mer et de retour en eau douce, l'exploitation par pêche prévaut sur les autres facteurs.

### **B- Les principales fonctions**

Le modèle décrit l'évolution numérique de la population (ensemble des saumons répartis selon leur âge et milieu : R0, R1, ... M11, ...) sur une année (Fig.1; CHARRON, 1994). Le calcul des effectifs de chaque stade considère celui de l'étape précédente au moyen de fonctions appartenant à 4 types : taux de survie (embryolarvaire, des juvéniles de chaque âge en saison chaude puis froide, marine pour chaque année de mer, des géniteurs en eau douce), taux de séparation (entre futurs smolts d'un an et sédentaires, entre adultes et subadultes marins), taux d'exploitation par pêche (marine, côtière, estuarienne et de loisir) et ponte. Les différents taux peuvent être considérés comme fixes (déterministes) ou associés à une loi de distribution (stochastiques) lorsque leurs valeurs diffèrent d'une année à l'autre (ex. survie embryolarvaire, en eau douce, en mer).

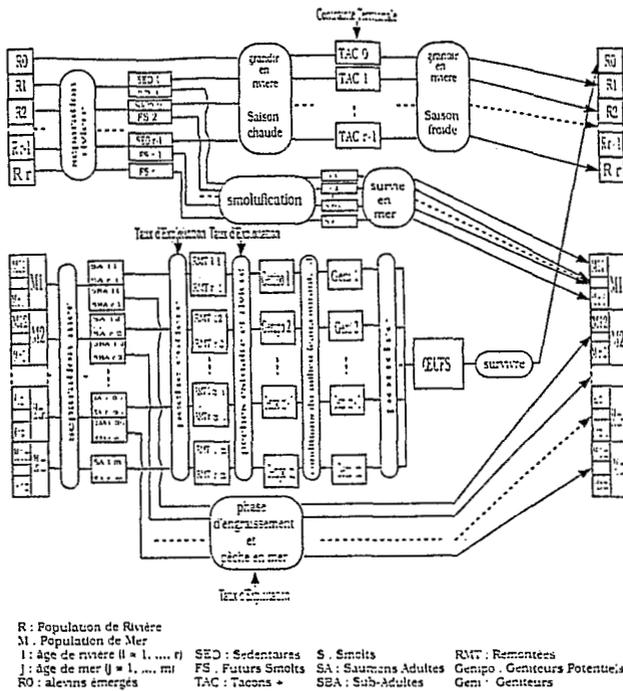


Figure 1 : Modèle d'évolution des populations de rivière et de mer sur une année.

**C- Un exemple de fonction, la survie des juvéniles en saison chaude**

Entre les stades alevins émergés (R0) et tacons contrôlés en automne (TAC0), la survie dépend de la superficie des habitats productifs et de la surface des territoires concédés aux jeunes de l'année par les tacons plus âgés (R1 puis TAC1), avec pour hypothèse de base un chevauchement de 50 % des territoires des sujets de l'année sur ceux des plus âgés. L'équation des effectifs de tacons d'automne d'âge 0+ s'écrit :

$TAC0 = R0 \cdot TS \cdot \exp(1 - (R0 \cdot TS) / Tmax)$ , où TS est le taux de survie maximal (sans compétition) des alevins émergés pour devenir des tacons 0+ et Tmax est le nombre théorique maximum de tacons 0+ produits compte tenu de la surface de territoire susceptible d'être colonisée à ce stade.

#### **D- Le modèle informatique**

Un logiciel informatique (CBS pour Cycle Biologique du Saumon) a été réalisé à partir du logiciel S-plus (ANONYME, 1992) et du langage Fortran. Ce programme interactif permet de modifier la valeur des paramètres du modèle, de choisir les simulations à réaliser, de gérer leur archivage et de visualiser les résultats. La simulation d'une trajectoire est basée sur le principe suivant : les différentes fonctions sont appliquées séquentiellement aux classes de la population et dans l'ordre chronologique de leurs actions. Ce cycle annuel permet d'enchaîner plusieurs années à la demande. Ces fonctions nécessitent des valeurs des paramètres. Pour chaque étape du cycle, la valeur du paramètre actif pendant cette période est simulée, si nécessaire, selon la loi appropriée (spécification lors de l'entrée des valeurs des paramètres). Les effectifs des populations d'intérêt sont conservés sur demande et l'analyse graphique des résultats est alors envisagée. Un autre logiciel (ACB pour Analyse de Cycles Biologiques) a été réalisé permettant d'analyser la sensibilité des valeurs simulées aux paramètres de l'étude.

### **III- APPLICATION AUX DONNEES DE LA NIVELLE**

Le logiciel a été utilisé sur la base des données spécifiques au bassin de la Nivelle (DUMAS, 1985 à 1995). Ainsi, après introduction des valeurs de la surface de production, des différentes distributions des paramètres du modèle (taux de survie, ...) et de leurs valeurs caractéristiques (loi, moyenne, écart type), mille trajectoires ont été simulées. Sur la figure 2, on peut visualiser la distribution des trajectoires sur cinquante années. Il est intéressant d'observer l'effet du paramètre de survie des juvéniles en saison chaude sur les résultats. Ce paramètre est considéré aléatoire et suit une loi lognormale d'espérance 10,1. Les figures 2a et 2b diffèrent par leur variabilité plus ou moins grande (écarts types respectifs de 1 et 2). L'équivalent du mode déterministe est également représenté sur ces courbes (courbes en trait plus gras). On constate que lorsque ce paramètre, pour une même moyenne, est plus ou moins variable, une asymétrie marquée des résultats est obtenue : en 2b, la situation déterministe correspond au quantile à 75 % des cas aléatoires. On voit ici l'effet du caractère aléatoire de certains paramètres sur les résultats attendus. Une analyse généralisée de l'effet de ce paramètre a été réalisée par le logiciel ACB. La figure 3 présente une comparaison des résultats précédents (4 écarts types égaux à 1, 1,5, 2, 2,13). L'évolution sur 50 ans des valeurs moyennes (3a) et du quantile à 25 % (3b)

montrent que si à terme l'effet de la variabilité semble s'estomper sur les moyennes, il est loin d'être négligeable sur les quantiles. Ceci est très important lorsque l'on sait la fréquence des événements exceptionnels.

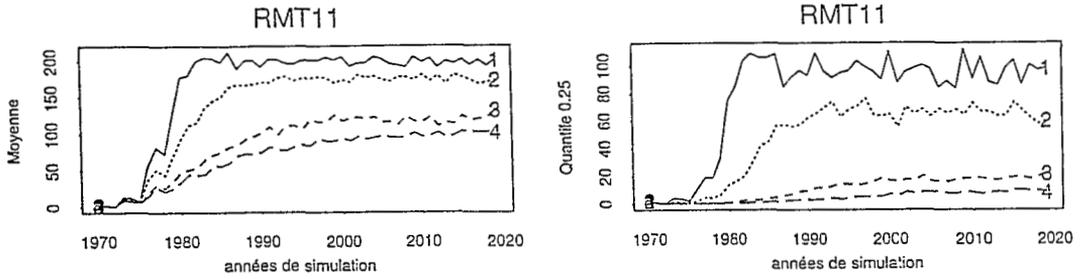


Figure 2 : Estimation des remontées sur la base des données de la Nivelle pour deux hypothèses de variabilité du taux de survie des juvéniles.

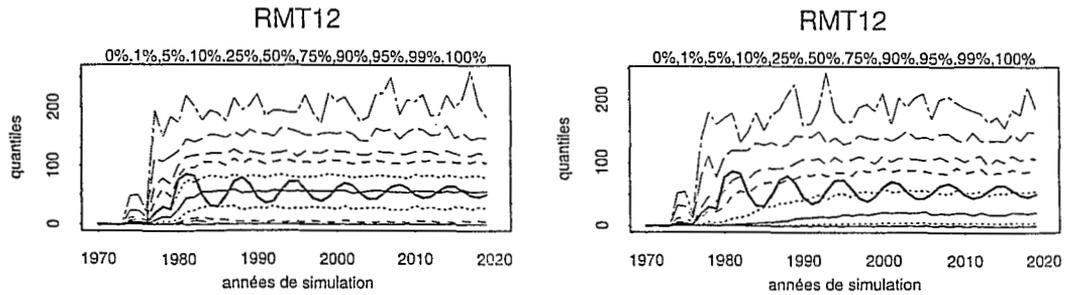


Figure 3 : Analyse de sensibilité sur les effectifs des remontées de la variabilité du taux de survie des juvéniles : courbes 1 à 4 de peu à très variable.

#### IV- CONCLUSION

Si des études de calibration plus poussées doivent être entreprises notamment pour affiner certains paramètres (influence du bassin versant sur le colmatage des frayères), il est intéressant déjà d'analyser l'impact de certains facteurs sur les probabilités des événements futurs. Sur le simple exemple présenté plus haut, on a pu graphiquement et très rapidement analyser l'impact de certaines conditions environnementales. En effet, des aléas comme les crues hivernales ne peuvent être appréhendés par la seule valeur moyenne de leurs conséquences. La possibilité de pouvoir réaliser ces analyses interactivement rend CBS fort pratique. D'autre part, la conception du cycle du saumon ainsi que la description des paramètres par les sous populations sur lesquelles ils interviennent rendent ce logiciel transposable à d'autres sites. Le cas du bassin Adour-Gaves sera très prochainement appréhendé. Il suffit alors d'introduire les paramètres spécifiques au nouveau site. Ce logiciel permet aussi d'analyser les conséquences de l'impact sur le devenir des populations de plans d'aménagement (par exemple, construction de passes à poissons qui augmentent la surface de production) et ce, non seulement sur l'espérance de leurs conséquences, mais également sur la probabilité des événements futurs.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1992. *Statistical Sciences, Inc. S-PLUS Programmer's Manual*, Version 3,0, Seattle (USA) ; Statistical Sciences, Inc., 1992.
- BAGLINIERE (J.L.), PORCHER (J.P.), 1994. Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. In GUEGUEN J.C., PROUZET P. (Eds), 101-122, *Le Saumon atlantique*, IFREMER, Plouzané.
- CHARRON (M.H.), 1994. Modélisation stochastique du cycle biologique des salmonidés migrateurs. Application à la modélisation du cycle du Saumon atlantique de la Nivelle et de l'ADOUR. Dipl. Etud. Sup. spéc, Méthodes informatiques et modèles mathématiques, Univ. Paul Sabatier, Toulouse 86 p.

- DAVAINE (P.), PROUZET (P.), 1994. La vie marine du Saumon atlantique dans son aire géographique. In GUEGUEN J.C., PROUZET P. (Eds), 64-85, *Le Saumon atlantique*, IFREMER, Plouzané.
- DUMAS (J.), 1985 à 1995. La population de saumons adultes de la Nivelle en 1985, ..., 1995. Rapp. annuels, Station d'Hydrobiologie, INRA, St Pée sur Nivelle.
- GROS (P.), PROUZET (P.), 1988. Modèle stochastique prévisionnel des captures de saumons de printemps (*Salmo salar* L.) dans l'Aulne (Bretagne) : éléments d'aménagement de la pêche. *Acta Oecologica, Oec. Applic.*, 9, 3-23.
- HELAND (M.), DUMAS (J.), 1994. Ecologie et comportement des juvéniles. In GUEGUEN J.C., PROUZET P. (Eds), 29-46, *Le saumon atlantique*, IFREMER, Plouzané.
- PROUZET (P.), 1994. La dynamique des stocks. In GUEGUEN J.C., PROUZET P. (Eds), 155-174, *Le saumon atlantique*, IFREMER, Plouzané.