Une formule prédictive pour les micro-centrales

Auteur : Andreas Rick 06/2016

Introduction

L'article L214-17 du code d'environnement demande la mise en conformité des installations hydroélectriques dans un délai de cinq ans après la publication des listes de classement des rivières sur des listes 1 et 2.
L'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) a publié une série de manuels :
« Afin d'aider les porteurs de projets et les services de police à construire et instruire les dossiers sur une base commune, le référentiel technique « RefMADI Hydroelec » a été développé par l'Onema en liaison avec la Direction de l'eau et de la biodiversité du Ministère en charge de l'écologie. Certaines fiches méthodologiques traitent spécifiquement de la continuité piscicole à la dévalaison ou à la montaison, permettant notamment d'affiner le diagnostic de la continuité ».
Spécifique à la dévalaison l'ONEMA à crée un référentiel technique relatif à la dévalaison de l'anguille qui consiste à évaluer les impacts dans les étapes suivantes :
estimation de la répartition des passages des anguilles au niveau de la prise d'eau,
évaluation des dommages subis par le flux migrant transitant par les turbines.

● En ce qui concerne l'étape 2 « l'évaluation des dommages subis par le flux migrant transitant par les turbines » une méthode de prédiction adapté aux micro-centrales a été publié dans [RICK 2016].
● Pour l'étape 1 « l'estimation de la répartition des passages des anguilles au niveau de la prise d'eau » l'ONEMA fait référence au travail publié dans [TRAVADE 2008] et [BAU 2008].
Malheureusement le modèle choisi pour la régression n'est pas du tout adapté à la situation.

État de connaissance

Expérience

Les expériences publié dans [BAU 2008] se limitent à 42 anguilles radio-pistées dans la gave de Pau en traversant les 5 sites Artix. Biron, Castelnarbe, Baigts et

Puyoo. Seulement 13 anguilles ont pu être suivies jusqu'au bout.

La formule propose dans [TRAVADE 2008] est :

$$P_{esc} = e^{\eta}/1 + e^{\eta} \text{ avec } e^{\eta} = -6.89 + 4.26 * (Q_{spill}/Q_{tot}) + 0.0091\text{Tl}$$

avec
Q_spill – débit ne passant pas par la turbine
Q_tot- débit au moment du franchissement
Tl -longueur de l'anguille.

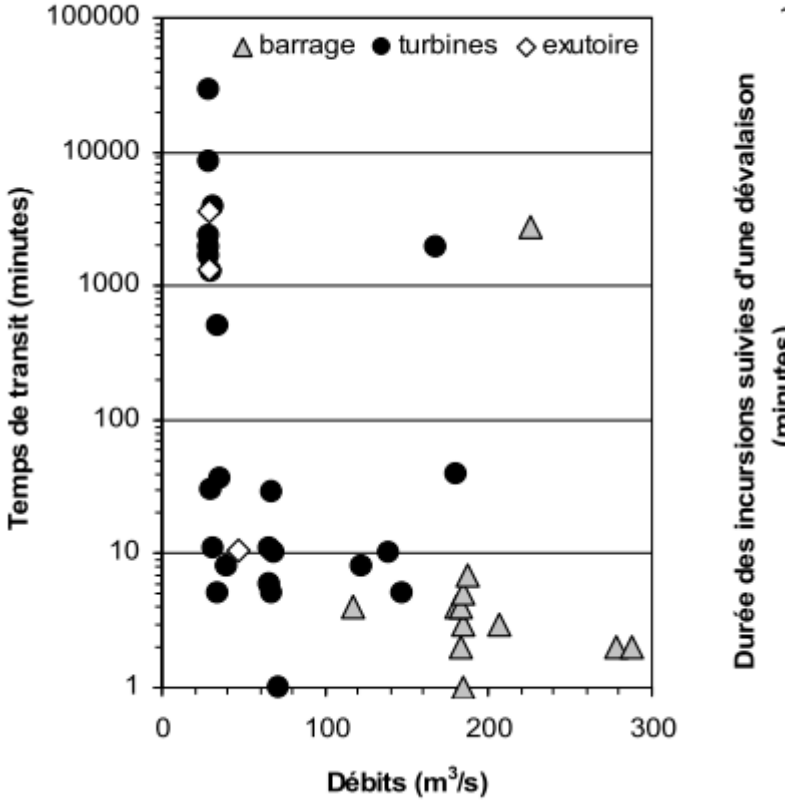
Les auteurs donnent même une évaluation de la validité statistique de leur formule :

« A chi-square test (chi-square = 8.38 with 6 degrees of freedom, p = 0.211) shows that with a confidence level of 90%, there is no reason to reject the model's goodness of fit, since the probability is greater than or equal to 0.10 ».

L'interprétation correcte de ce résultat serait selon nous : « malgré une statistique aussi faible, basé sur seulement 42 anguilles, il y quand même suffisamment d'évidence pour rejeter la formule proposée avec une probabilité de 21%. Cette formule est donc loin des probabilités d'erreur de 5% demandé pour une publication scientifique ».

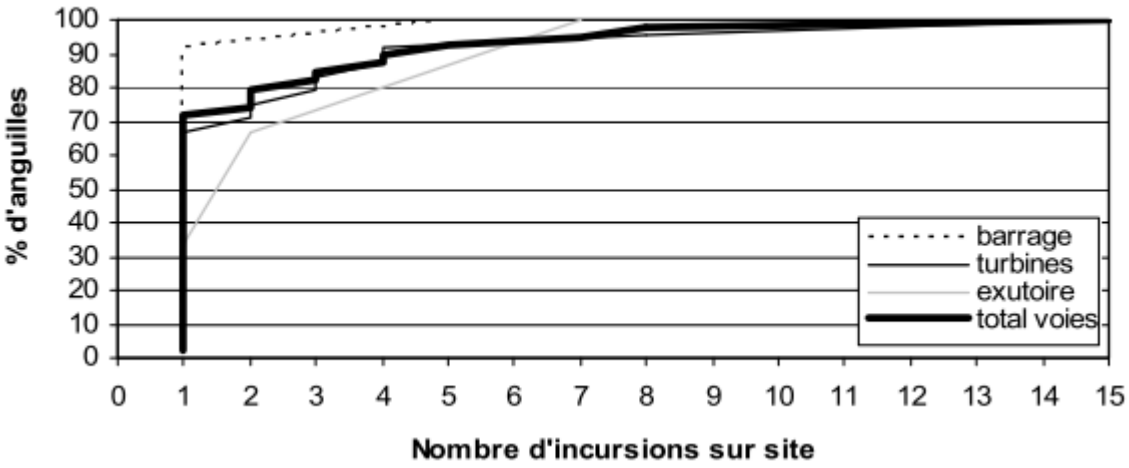
Pas seulement le test khi-deux rejette la formule, elle ne respecte pas non plus les limites physiques et les courbes ne passent pas par les point (0,0) et (1,1). La formule prédit donc qu'il y a des anguilles qui passent par la turbine alors que la turbine n'est pas en fonction et la totalité du débit passe en surverse du barrage (Q spill /Q tot = 1). Elle prédit également que >80% des anguilles de longueur de 1000 mm s'échappent par le barrage alors que la totalité du débit passe par la turbine.

Par contre l'observation des mouvements des anguilles devant les centrales offre quelques idées sur des modèles plus adaptés. Il y a une partie d'anguille qui, quand elles arrivent sur le site, passent sans trop s'attarder directement par le déversoir. Le pourcentage de ces anguilles semble fortement corrélé au pourcentage de débit qui ne passe pas par les turbines Q_spill/Q_tot .



Dans : [TRAVADE 2008] Figure 3.14 : Variabilité des temps de transit et de dévalaison suivant les débits du
Gave au moment des passages à Artix par les différentes voies

Les anguilles qui ont choisi le passage vers les turbines, passent devant les grilles. Une partie passe directement par les grilles et la turbine. Les autres font des incursions répétées sur site.



Dans : [TRAVADE 2008] Figure 3.10 : Nombre d'incursions sur site avant le franchissement d'Artix

Pour les incursions suivantes la probabilité de passer par les turbines ou déversoirs semble constante mais pas forcement la même que pour le passage initial.

Modèle probabiliste:

Sur la base des observations une nouvelle modélisation est développée avec le raisonnement suivant :
Il y a une probabilité de passage initial par les voies d'échappement.

P_escini=f(Q_spill/Q_tot)

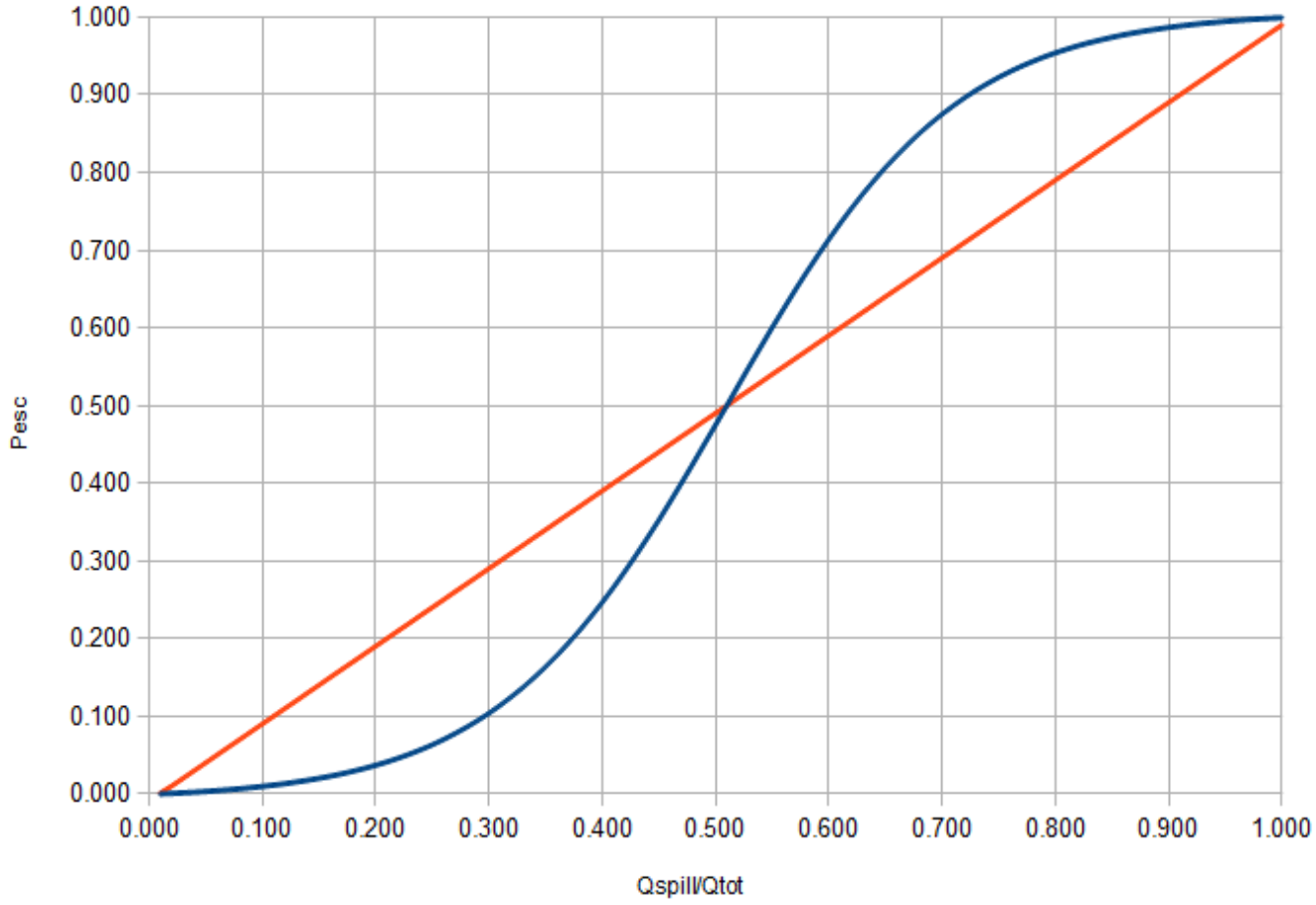
Si on prend l'hypothèse que les anguilles sont équitablement distribuéés dans l'eau et ne font aucun effort de passer par les turbines ou par le déversoir, la probabilité serait égale à la probabilité de l'eau de passer sur le déversoir :

P_escini=Q_spill/Q_tot

Les observations par radio-télé-pistage des anguilles de [TRAVADE 2008] sur la station de BAIGTS sur la Gave de Pau suggèrent que les anguilles ont tendance à nager activement vers les flux les plus importants.
Cela peut être simulé par une sigmoïde adapté à l'intervalle [0,1]->[0,1] en utilisant

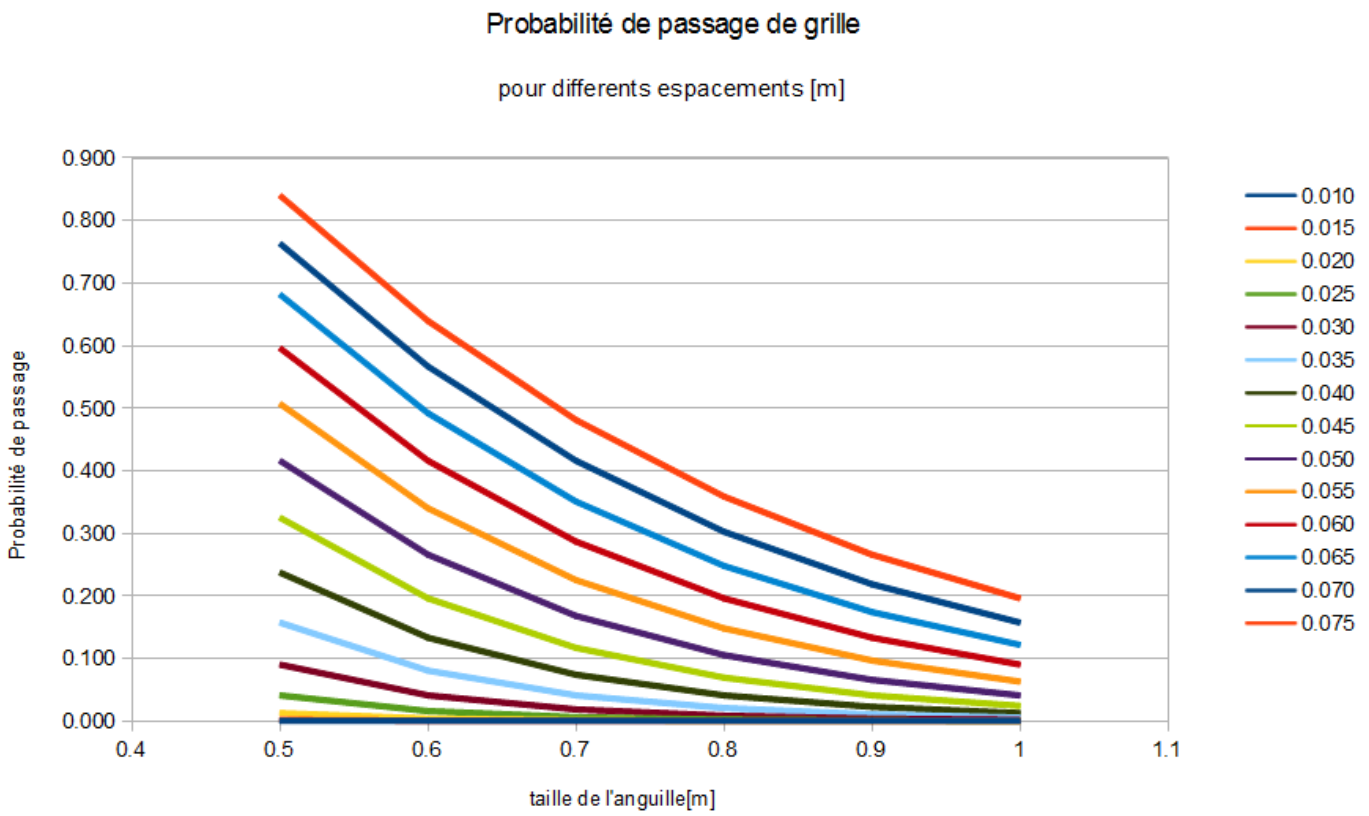
le facteurs c3 et c4 pour la normalisé a P_escini (0)=0and P_escini (1)=1.
P_escini=sigm(Q_spill⁄Q_tot)=c_3/(1+e^(c_1 (Q_spill⁄Q_tot -0.5)))+c_4

Voici une vue graphique :

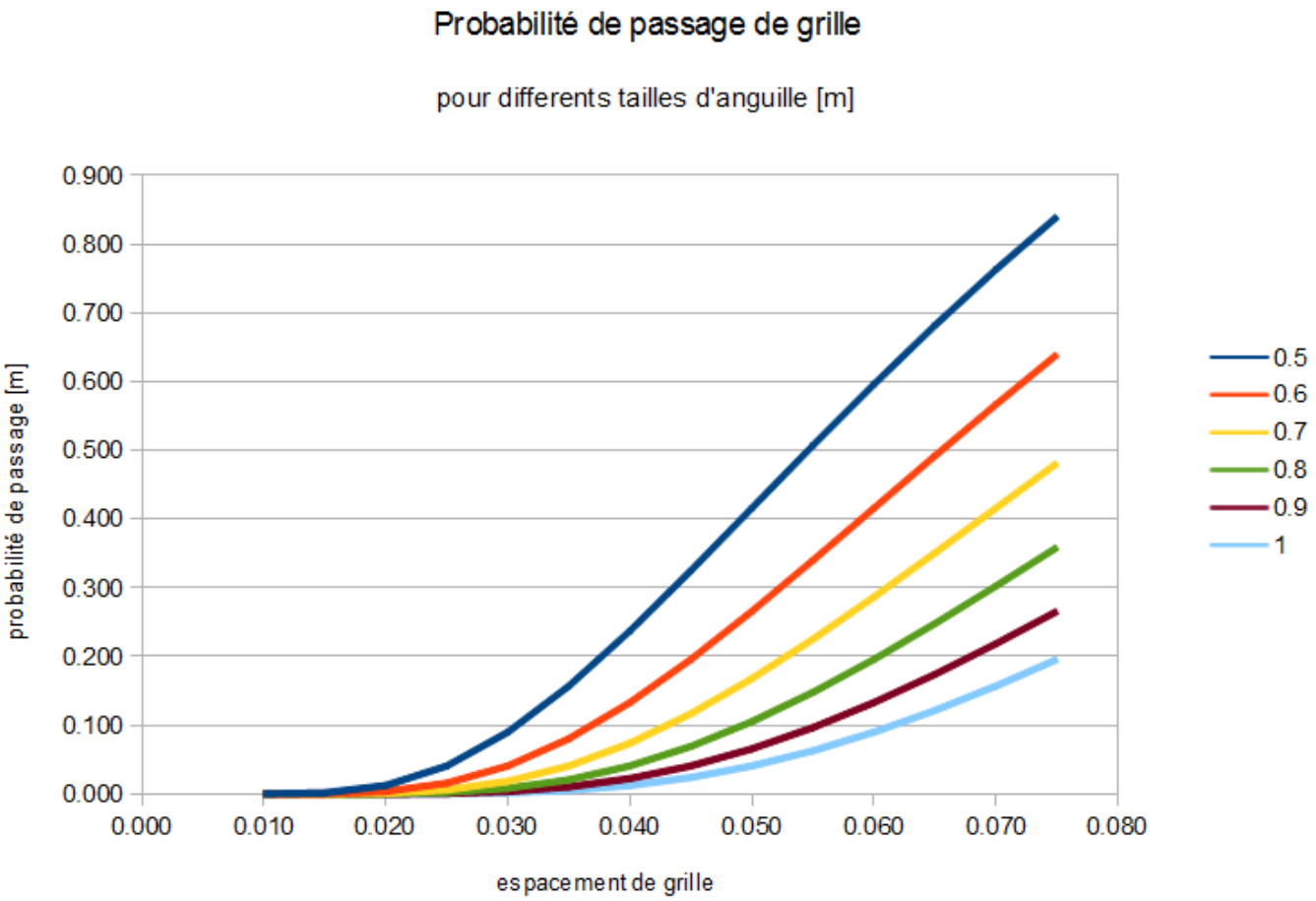


La probabilité de ne pas s'échapper à la première approche est donc :
P_(reste_1)=1-P_escini
Si on définit en plus une probabilité de passer par la turbine au premier approche des grilles comme :
P_grille=f(Tl,Tg)
avec Tt : taille de la tête de l'anguille et Tg espacement des grilles :
P_grille=sigm(Tg⁄Tt)=c_2/(1+e^(c_1 (Tg⁄Tt-0.5)))

La taille de la tête peut être estimée par la taille en longueur : Tt=Tl*0.04
En prenant comme valeurs des paramètres c1 et c2 : c1=6, c2=5 cela donne des probabilités décroissantes en fonction de la taille de l'anguille,



et croissant pour l’espacement entre lames de la grille :



Ensemble on obtient la probabilité au premier passage comme :
P_(□grille□_1)=P_(□reste□_1)*P_grille=(1-P_(□esc□_ini))*P_grille
les autres poissons restent devant la grille pour chercher un autre issue :
P_(□reste□_2)=(1-P_(□esc□_ini))*(1-P_(□grille□_1))

Si on applique la même probabilité d'échappement pour les autres incursions que pour la première réduit par un facteur P_esc2 (Q_spil⁄Q_tot)=fP_escini (Q_spil⁄Q_tot)

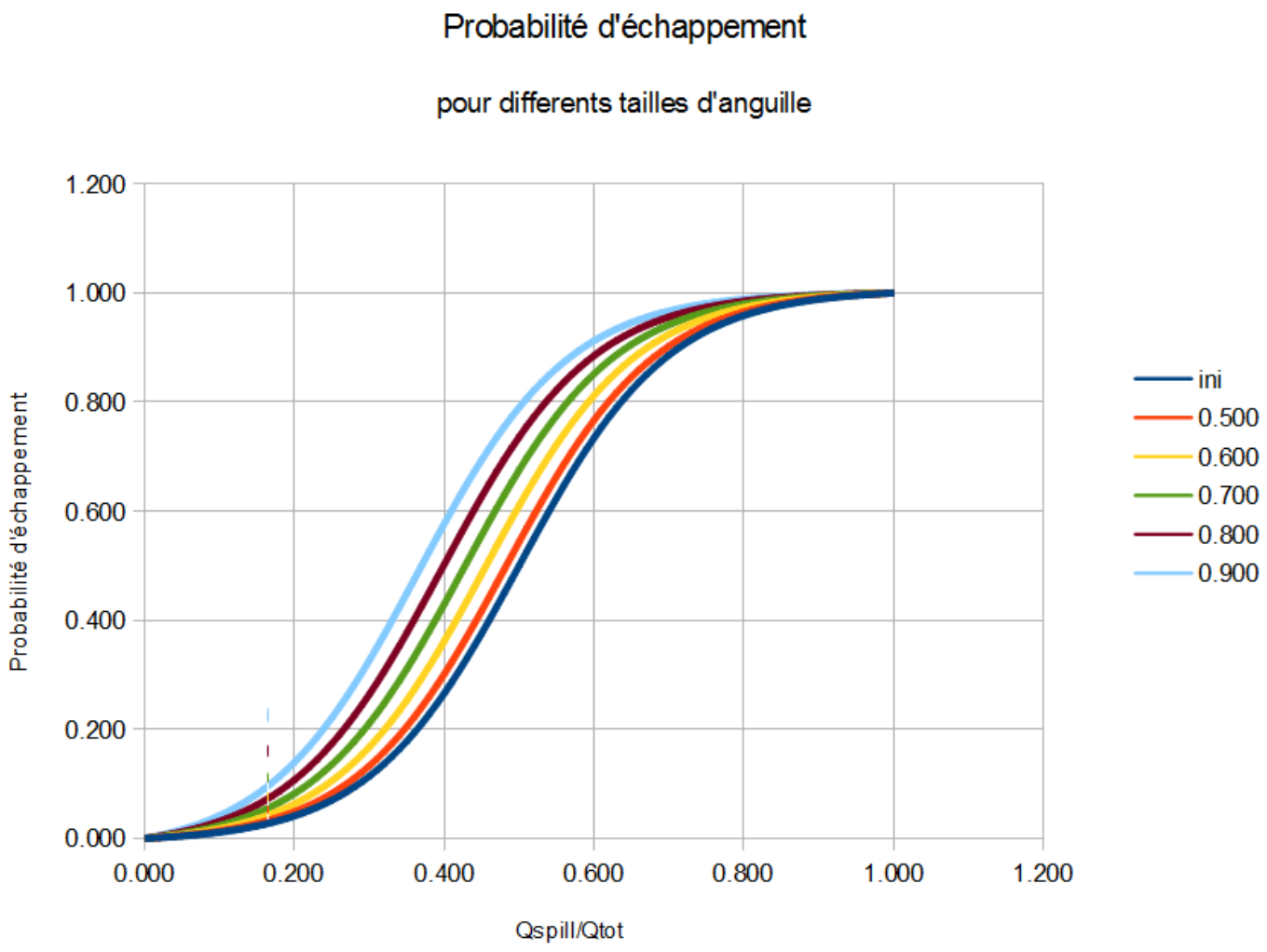
la probabilité d'échappement totale est :

P_esc=P_(□esc□_ini)*(1+(f(1-P_grille)(1-P_(□esc□_ini)))/(P_grille+(1-P_grille)f*P_(□esc□_ini)))
avec
P_(□esc□_ini)=1.014/(1+e^(10(Q_spil⁄Q_tot -0.5)))+0.007
et

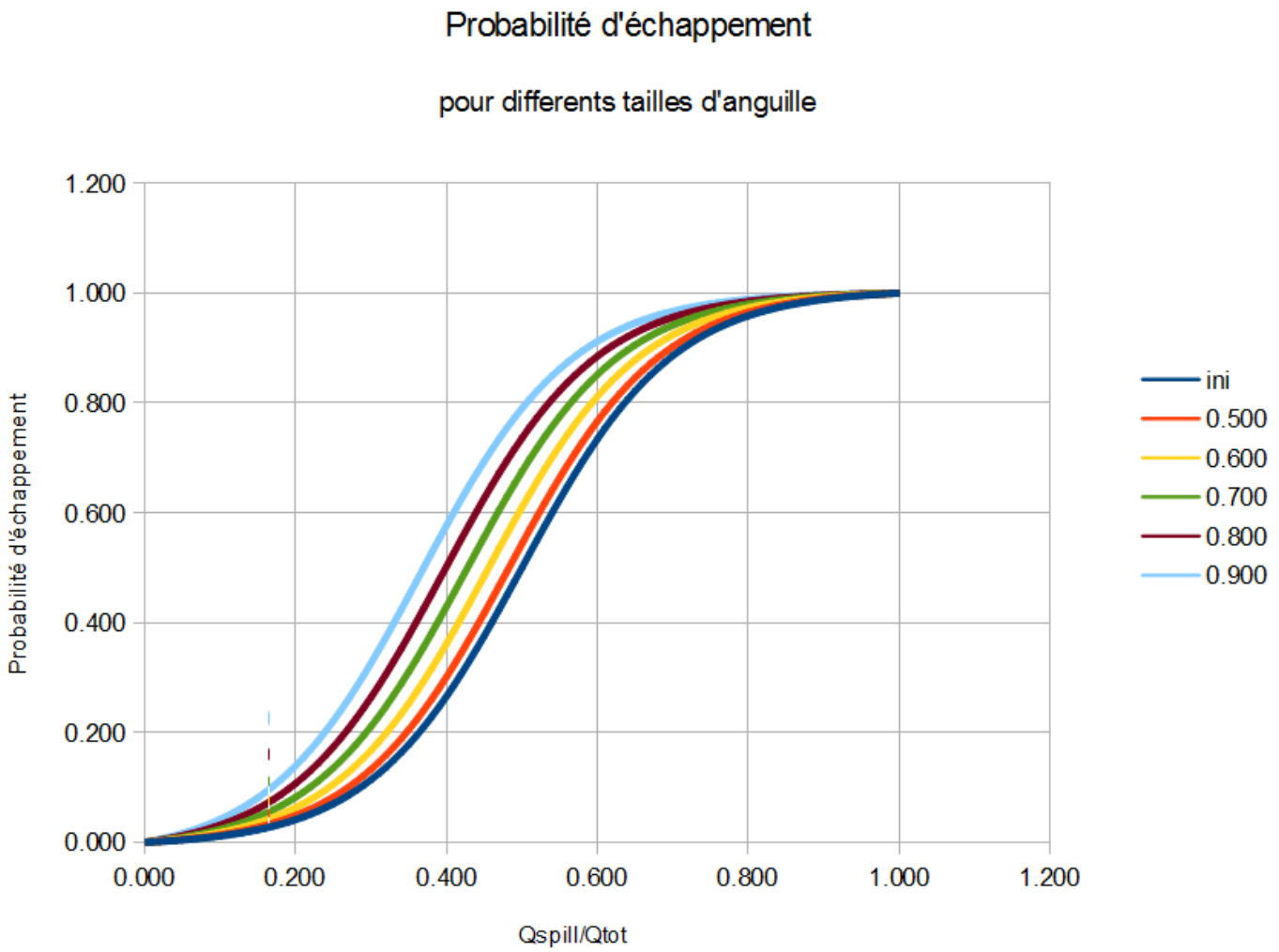
P_grille=5/(1+e^(6(Tg/((0.04*Tl))-0.5)))

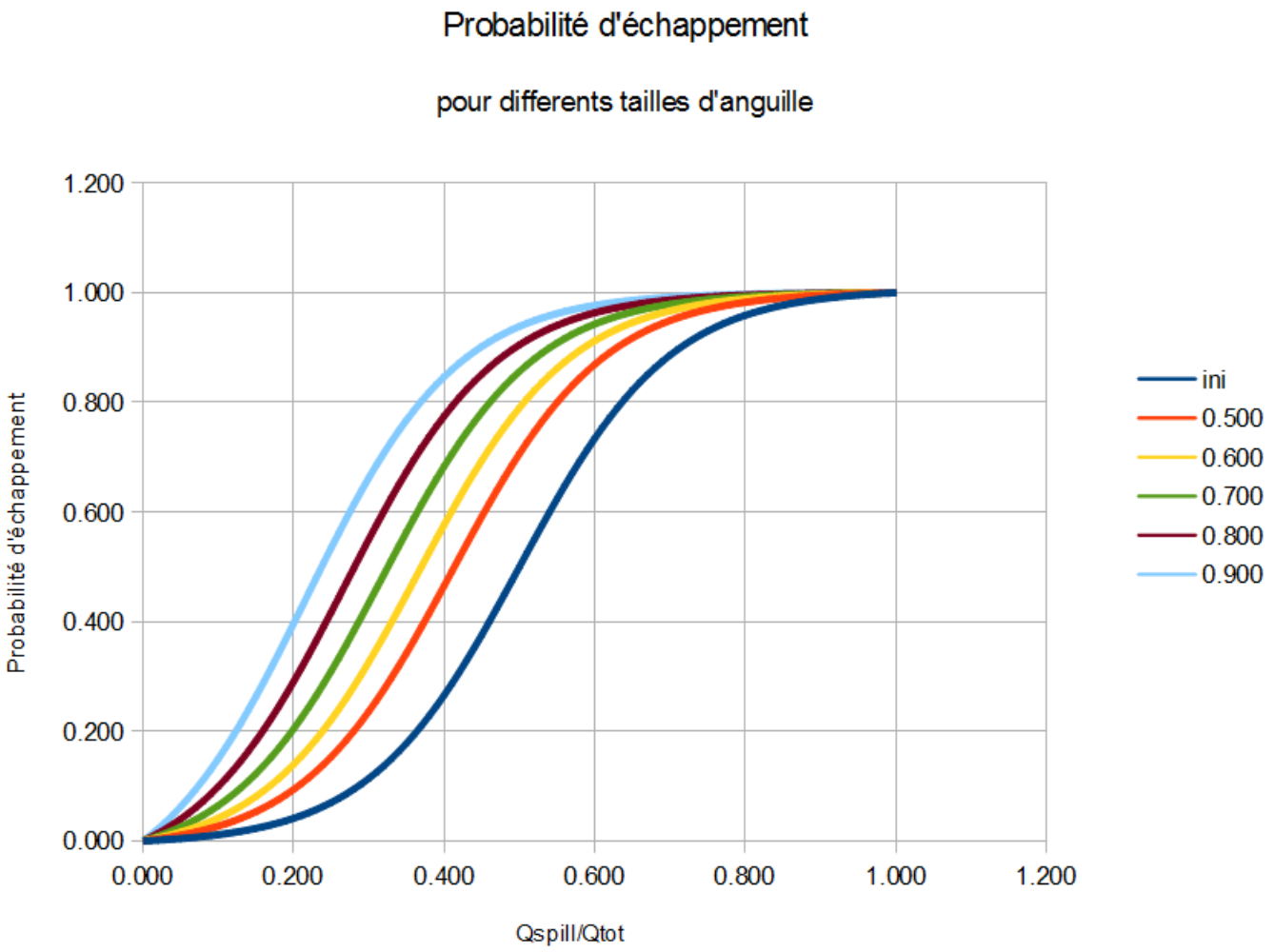
Le facteur f entre la probabilité d'échapper lors des incursions ultérieures et la probabilité d'échapper initialement f=P_esc2 ((Q_spill/Q_tot))/P_escini (Q_spill/Q_tot) est dépendante des voies d'échappement proches des grilles. Si le débit déversé est proche des grilles ou les voies d'échappement sont bien attirantes, le facteur f doit être proche de 1. Dans le cas contraire il peut descendre jusqu'à 0.2 voir 0.1 quand il est très difficile pour les anguilles de retrouver une voie d'échappement.

Alors pour une grille de 75 mm d'espacement et f=0.2 on obtient :

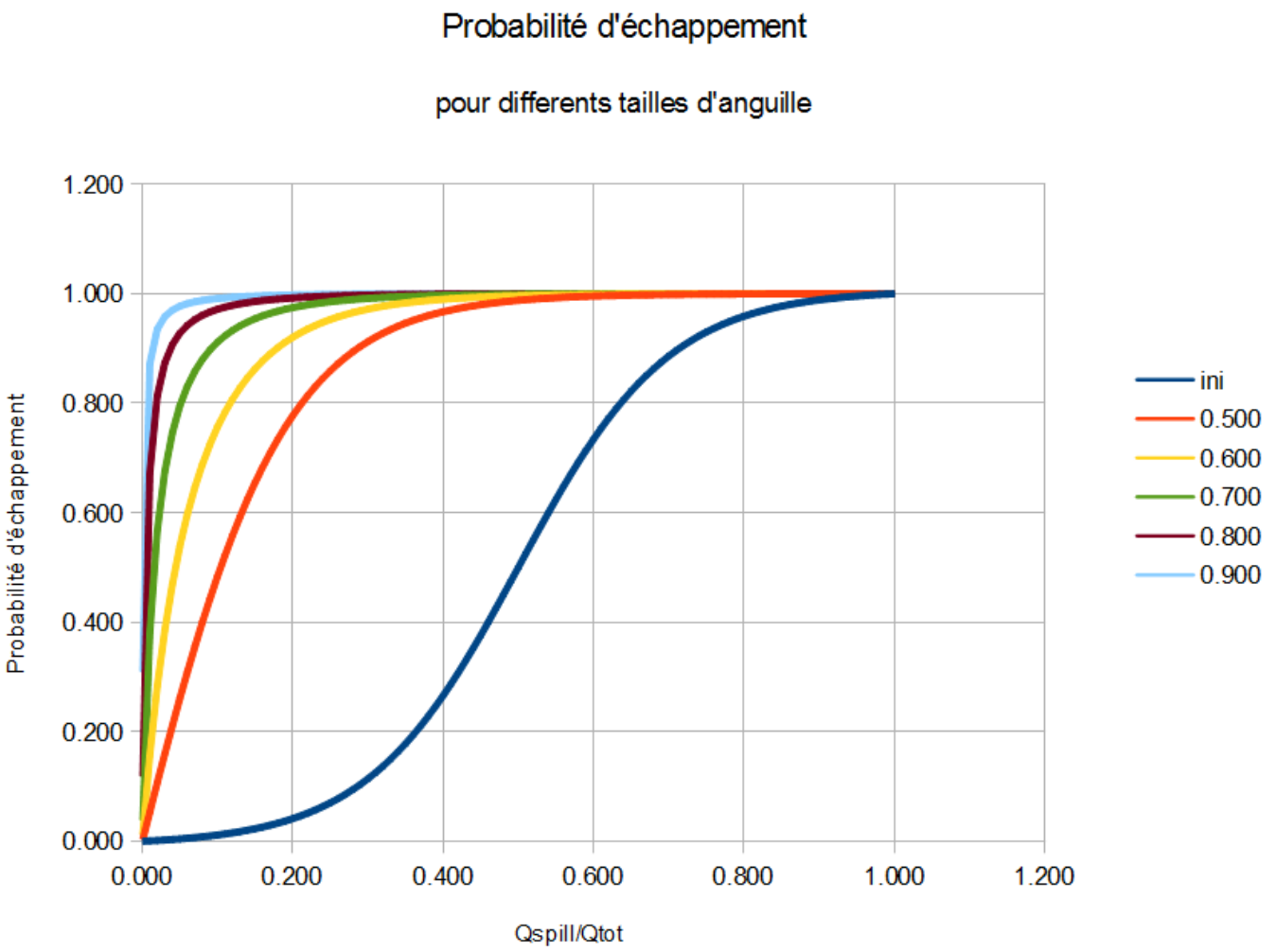


et pour une grille de 50 mm d'espacement on obtient :

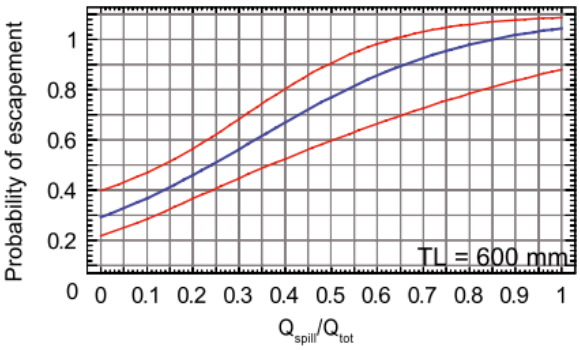

Probabilité d'échappement
pour differents tailles d'anguille
Probabilité d'échappement
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
1.200
Qspill/Qtot
ini
0.500
0.600
0.700
0.800
0.900

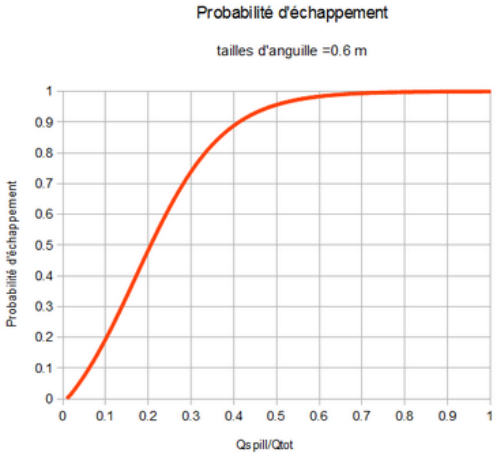


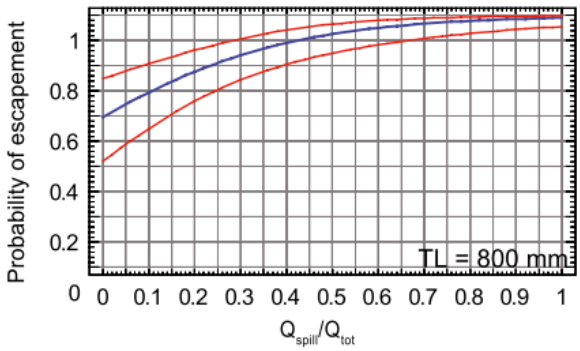
et pour une grille de 20 mm d’espacement on obtient :

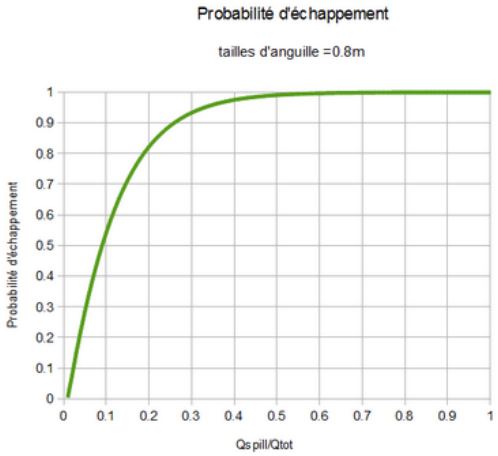


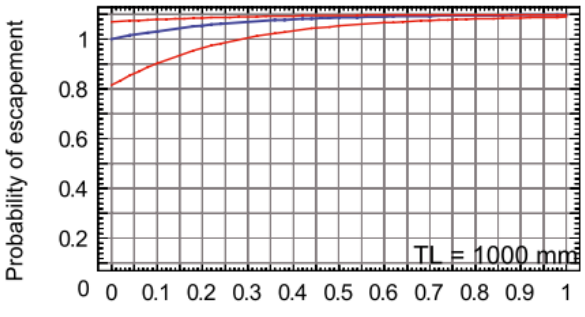
Une comparaison au courbes publiées dans [TRAVADE 2008]

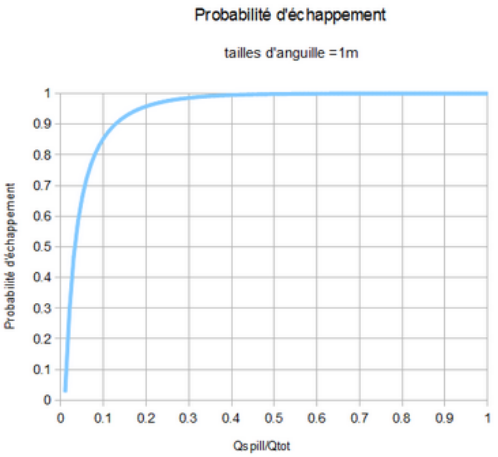

Probability of escapement
TL = 600 mm
Qspill/Qtot


Probabilité d'échappement
tailles d'anguille =0.6 m
Probabilité d'échappement
Qspill/Qtot


Probability of escapement
TL = 800 mm
Qspill/Qtot


Probabilité d'échappement
tailles d'anguille =0.8m
Probabilité d'échappement
Qspill/Qtot

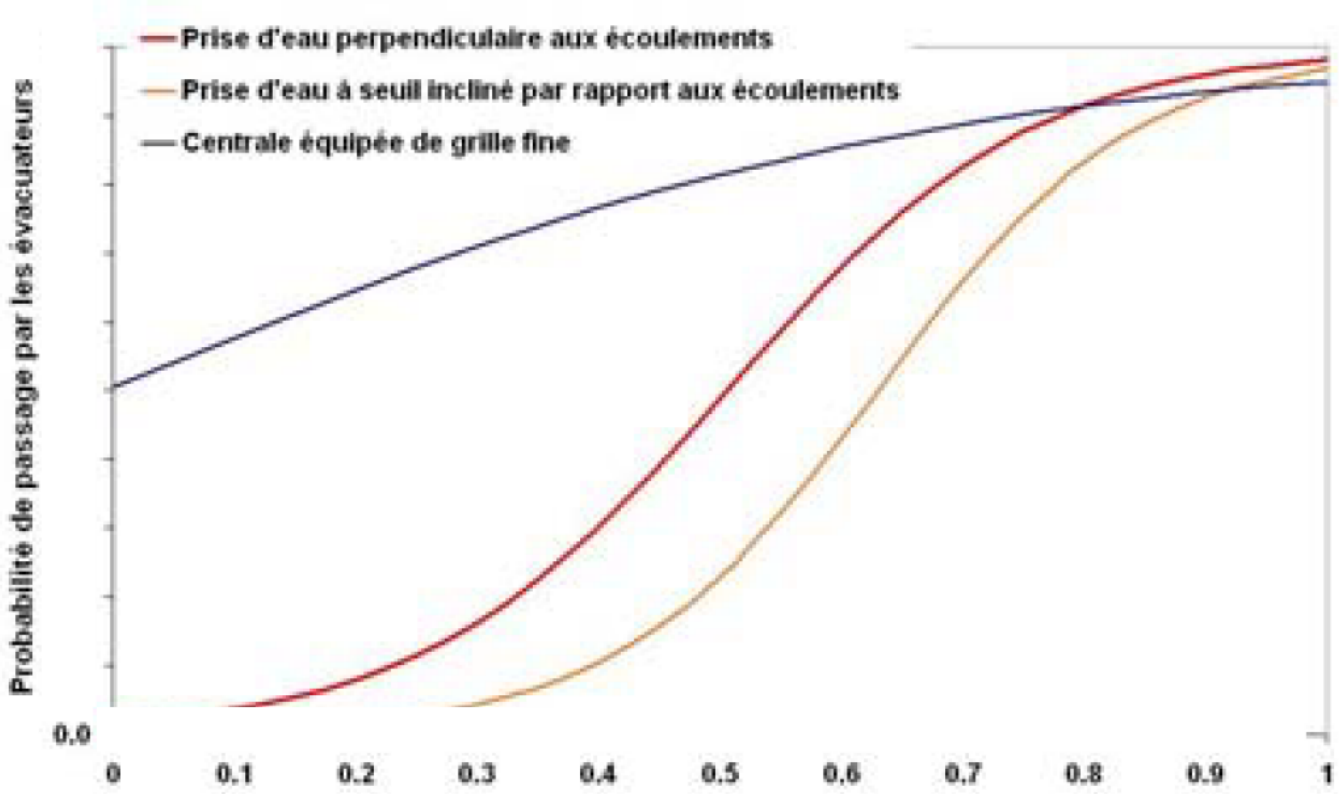

Probability of escapement
TL = 1000 mm


Probabilité d'échappement
tailles d'anguille =1m
Probabilité d'échappement
Qspill/Qtot

Discussion

Le nouveau modèle utilise les données de [BAU 2008] et les résultats sont présentés dans [TRAVADE 2008].
Du fait de leur forme on choisit sur la base des modèles probabiliste, la nouvelle formule P_esc (Q_spill⁄Q_tot) qui respecte les critères aux conditions limites : P_esc (0)=0et P_esc (1)=1 et est donc plus facilement interprétable et ne souffre pas des résultats aberrants pour certaines combinaisons de paramètres.

Également elle donne des valeurs plus plausibles pour des valeurs de Q_spill⁄Q_tot proche de 0 ou de 1 et ne donne pas des valeurs plus défavorables pour des centrales équipées de grilles fines pour des valeurs proches de 1.



La base expérimentale reste néanmoins faible et si dans le futur il y plus de mesures disponibles, cela pourrait être utilisé pour déterminer les paramètres du modèle plus précisément.

Littérature:
[BAU 2008] F. BAU, P. GOMES, N. BORDES, M. LARINIER, F. TRAVADE, E. DE

OLIVEIRA
« Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2007-2008), RAPPORT GHAAPPE RA08.06

[REFMADI] http://www.onema.fr/refmadi

[RICK 2016] A. Rick Prédiction des dommages subis par les anguilles lors de leur passage à travers des turbines. Une formule prédictive pour les micro centrales 2016

[TRAVADE 2008] F. Travade , M. Larinier , S. Subra , P. Gomes , E. De-Oliveira, Behaviour and passage of European silver eels (Anguilla anguilla) at a small hydropower plant during their downstream migration ,Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems (2010) 398, 01
RAPPORT EDF R&D N°H-P76-2008-04291-FR°

illustration:

Pêche et braconnage plus redoutables que les turbines? Celle-ci n'a pas croisé de turbines, mais elle ne reverra jamais la mer des Sargasses; 108 cm, pêchée en Meuse; source: « carpes et carnassiers »