

Logiciel de gestion de l'anguille européenne

Guide de l'utilisateur

Schiavina M.^{2,3}, D. Bevacqua², P. Melià³, M. Gatto³, G.A. De Leo², A. J. Crivelli¹

Ce projet est financé par



Fleuve Rhone Feder



Région LR

Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur

Région PACA



Agence de l'eau

Développé par



¹ **La Tour du Valat**
Centre de recherche pour la
conservation des zones humides
méditerranéennes
Le Sambuc – 13200 Arles – France



² **Dipartimento di Scienze Ambientali**
Università degli Studi di Parma
viale Usberti 11/A – 43100 Parma –
Italy



³ **Dipartimento di Elettronica e Informazione**
Politecnico di Milano
via Ponzio 34/5 – 20133 Milano –
Italy

Sommaire

1 – Introduction.....	3
2 – Interface de la structure et données	4
2.1 – Caractéristiques de la zone d'étude	4
2.1.1 – Localisation et surface.....	5
2.1.2 – Salinité annuelle moyenne.....	6
2.1.3 – Température annuelle moyenne.....	6
2.1.4 – Connexion avec la mer.....	7
2.1.5 – Recrutement.....	7
2.1.6 – Biologie de l'anguille (pour utilisateurs expérimentés uniquement).....	8
2.2 – Exploitation de la population.....	8
2.2.1 – La pêche professionnelle.....	8
2.2.2 – L'effort de pêche.....	9
2.2.3 – Plan de gestion.....	10
3 – Composantes du modèle.....	12
3.1 – Recrutement des civelles et abondance des anguillettes.....	12
3.2 – Croissance corporelle.....	12
3.3 – Maturation sexuelle	13
3.4 – Sexe ratio	13
3.5 – Relation taille-poids.....	13
3.6 – Survie.....	14
3.6.1 – Mortalité naturelle.....	14
3.8 – Conditions à l'état naturel.....	15
4 – Résultats de la simulation	16
4.1 – Résultats de la simulation	16
4.2 – Présentation graphique.....	17
4.3 – Comparaison entre les scénarios.....	17
5 – Requis système	19
Remerciements.....	20
Références.....	20

1 – Introduction

Le logiciel de gestion de l'anguille européenne (LGAE) a été développé afin de fournir un outil convivial pour l'évaluation de l'efficacité des plans de gestion de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), espèce menacée de disparition,

Basé sur une extension du modèle démographique développé par Bevacqua et al. (2007, en préparation), qui considère de manière explicite les caractéristiques les plus spécifiques de cette espèce (voir p. 3 *Composants du modèle* pour plus de détails), ce logiciel permet l'évaluation à la fois de la production (par exemple : l'échappement vers la mer) d'anguilles argentées et des captures des pêcheurs sur un site spécifique, dans différentes conditions, notamment actuelles, naturelles (c'est-à-dire, non affectées par des impacts anthropogéniques) et potentielles, comme l'exige la réglementation Européenne EC 1100/2007.

La souplesse de l'outil permet à l'utilisateur de considérer plusieurs scénarios environnementaux et de gestion, en définissant les *caractéristiques du site*, le *niveau d'exploitation* et les contraintes du *plan de gestion*, et finalement de comparer les résultats obtenus en fonction des différents scénarios.

Même si le LGAE est basé sur les connaissances les plus fiables et les plus récentes concernant la dynamique des populations des anguilles, ce n'est qu'une approximation de la réalité; les *résultats* du modèle ne doivent donc pas être considérés comme fiables dans l'absolu. Par contre, le grand avantage de ce logiciel réside dans sa capacité de permettre à l'utilisateur de comparer les effets de différentes actions de gestion, d'évaluer les avantages et les inconvénients (en termes de l'échappement des anguilles argentées et de captures des pêcheurs) de l'adoption de différentes politiques de gestion et d'évaluer l'efficacité de différents plans de gestion.

Le logiciel est écrit en utilisant MatLab® (2010a) qui permet des calculs mathématiques rapides, fournissant un module pour le développement d'interfaces intuitives et la réalisation de graphiques. Le LGAE est disponible pour une utilisation en ligne sur le Web site <http://www.eels.dei.polimi.it> en trois langues: anglais, français et italien. Un logiciel en ligne permet la mise à jour périodique des composants du modèle, en phase avec l'évolution de la compréhension scientifique des traits d'histoire de vie de l'espèce.

2 – Interface de la structure et données

L'interface est constituée de deux cadres principaux (Figure 2.1): à gauche sur la figure il y a la première section *Caractéristiques du site*, et à droite la section suivante *Exploitation de la population*. La première est sous-divisée en plusieurs sous-cadres, où l'utilisateur peut entrer les données concernant le site considéré et éventuellement (uniquement recommandé dans le cas d'utilisateurs expérimentés) modifier les paramètres biologiques spécifiques de la population. La section *Exploitation de la population* comporte deux sous-cadres pour la définition de l'effort de pêche et les règlements du plan national de gestion de l'anguille européenne. Au bas de la page se trouvent trois boutons: *Exécuter*, *Réinitialiser les valeurs* et *Réinitialiser la session*. *Exécuter* lance la simulation et montre les résultats de la simulation à la fin de la page. *Réinitialiser les valeurs* efface le formulaire alors que *Réinitialiser la session* supprime toutes la simulation dans le panneau des résultats.

Logiciel de gestion de l'anguille européenne v1.0

l'Europe s'engage pour le fleuve Rhône avec la FEDER

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

la Région Languedoc Roussillon

Le Logiciel de gestion de l'anguille européenne (LGAE) permet l'évaluation à la fois de la production (par exemple: l'échappement vers la mer) d'anguilles argentées et des captures des pêcheurs sur un site spécifique, dans différentes conditions, notamment actuelles, naturelles (c'est-à-dire, non affectées par des impacts anthropogéniques) et potentielles, comme l'exige la réglementation Européenne EC 1100/2007. La souplesse de l'outil permet à l'utilisateur de considérer plusieurs scénarios environnementaux et de gestion, en définissant les caractéristiques du site, le niveau d'exploitation et les contraintes du plan de gestion, et finalement de comparer les résultats obtenus en fonction des différents scénarios.

Même si le LGAE est basé sur les connaissances les plus fiables et les plus récentes concernant la dynamique des populations des anguilles, ce n'est qu'une approximation de la réalité; les résultats du modèle ne doivent donc pas être considérés comme fiables dans l'absolu. Par contre, le grand avantage de ce logiciel réside dans sa capacité de permettre à l'utilisateur de comparer les effets de différentes actions de gestion, d'évaluer les avantages et les inconvénients (en termes de l'échappement des anguilles argentées et de captures des pêcheurs) de l'adoption de différentes politiques de gestion et d'évaluer l'efficacité de différents plans de gestion.

Caractéristiques de la zone d'étude

Localisation et Surface

Localisation: Méditerranéenne Atlantique Nord de l'Europe

Surface réelle [ha]: 9200

Surface potentielle [ha]: 9200

Salinité et Température

Salinité annuelle moyenne: Rivières et Lacs Lagunes <10g/l Lagunes 10-25g/l Lagunes >25g/l

Température annuelle moyenne de l'eau [°C]: Par défaut 14

Exploitation de la population

Échange d'eau de mer

Connexion avec la mer: Libre Géré

Recrutement

Abondance du recrutement: Par défaut

Biologie de l'anguille

Régler les paramètres: Par défaut

Pêche professionnelle

Pêche professionnelle? Non Oui

Plan de gestion

Activer plan de gestion de l'UE

Activer Réinitialiser les valeurs Réinitialiser la session

Developed by:

TOUR DU VALAIS

Figure 2.1 - Interface du logiciel pour la gestion de l'anguille européenne.

2.1 – Caractéristiques de la zone d'étude

Les sections suivantes décrivent comment saisir toutes les informations nécessaires concernant le site d'étude pour faire fonctionner le modèle. Les informations requises incluent les aspects géographiques, physiques, chimiques et de gestion.

Les caractéristiques du site sont organisées dans des sous-cadres, comme suit :

- Localisation et surface
- Salinité annuelle moyenne

- *Température annuelle moyenne*
- *Connexion avec la mer*
- *Recrutement*

Un sous-cadre supplémentaire (*Biologie de l'anguille*) permet à l'utilisateur expérimenté de modifier tous les paramètres concernant le cycle de vie de l'anguille. L'utilisateur moyen doit choisir les paramètres biologiques par défaut. L'utilisateur expérimenté peut se référer au chapitre 3 pour une présentation des sous-modèles spécifiques et des paramètres qui pourraient être modifiés si des informations détaillées concernant la population des anguilles étaient disponibles.

Localisation et Surface

Localisation: Méditerranéenne

Atlantique

Nord de l'Europe

Surface réelle [ha]:

Surface potentielle [ha]:

Figure 2.2 Localisation et surface

2.1.1 – Localisation et surface

L'habitat de l'anguille européenne est sous-divisé en trois macro-zones géographiques: *Méditerranéenne*, *Atlantique* et *Nord de l'Europe*. L'utilisateur doit choisir entre ces localisations (Figure 2.2) afin de sélectionner le bon choix par défaut des paramètres biologiques décrivant la dynamique démographique de la population. Ce choix influe sur le taux de croissance, la taille à l'argenture, et la capacité maximale de l'écosystème. Cette approche a été utilisée avec succès (Andrello et al., 2011) pour déterminer les valeurs plausibles des différents taux vitaux en fonction de la localisation géographique en l'absence des données spécifiques sur la population étudiée.

L'utilisateur doit saisir la *surface réelle* et la *surface potentielle* du plan d'eau, exprimées en hectares (Figure 2.2). La surface réelle est la surface actuellement couverte par l'eau, tandis que la surface potentielle représente la surface qui a été probablement couverte par l'eau à l'état naturel (par exemple, dans le cas d'une lagune ou d'un lac partiellement asséché, ou si des barrières infranchissables telles que des barrages avaient été construits). En fait, le règlement de l'UE exige que la quantité de référence d'anguilles adultes qui doivent s'échapper vers la mer soit calculée sur la base des conditions naturelles du site. Si l'utilisateur ne possède pas d'informations sur cet aspect, il peut simplement utiliser la même valeur pour la surface actuelle et pour la surface potentielle, avec une estimation approximative basée sur l'objectif du règlement de l'UE. Il est important de connaître la surface du site, puisqu'elle détermine l'abondance maximale d'anguilles qui pourrait s'installer sur ce site. Pour les rivières, la surface doit être calculée comme la zone mouillée jusqu'au premier barrage. Pour les lacs, il est important d'évaluer la surface réellement utilisable pour l'installation des anguilles. Généralement, il s'agit de la zone où la profondeur ne dépasse pas les 10 m.

Salinité et Température

Salinité annuelle moyenne:

Rivière et Lac

Lagune <10g/l

Lagune 10-25g/l

Lagune >25g/l

Température annuelle moyenne de l'eau [°C]: Par défaut

Figure 2.3 - Définition de la Salinité et la Température

2.1.2 – Salinité annuelle moyenne

La salinité de l'eau détermine l'abondance des anguilles, très probablement à cause de son influence sur la productivité, donc sur la capacité maximale de l'écosystème. Le modèle considère des différentes valeurs de la capacité maximale (c'est-à-dire, l'abondance maximale des anguilles qui peuvent s'installer sur un site donné) pour des eaux douces et saumâtres. Un autre effet, indirect mais important, de la salinité, est qu'elle joue sur la prévalence et sur l'intensité de l'infection des anguilles par *Anguillocoloides crassus* (Lefebvre, 2003; Lefebvre et al., 2012), un parasite nématode qui est suspecté d'augmenter la mortalité des anguilles pendant la phase continentale de leur cycle de vie (Lefebvre et al., 2002, 2007). Cette question n'étant pas à ce jour suffisamment bien comprise, nous ne l'avons pas incluse dans la version actuelle du modèle.

Dans ce cadre (Figure 2.3) on peut sélectionner parmi un éventail de niveaux moyens annuel de salinité de l'eau. Il est proposé un niveau de salinité pour les eaux douces (rivière et lac) et trois niveaux pour des eaux saumâtres (lagunes): inférieur à 10g/l, entre 10 et 25g/l, et supérieur à 25g/l.

2.1.3 – Température annuelle moyenne

La température de l'eau est un variable clé qui influe sur la mortalité naturelle des anguilles (Bevacqua et al., 2011a). En effet, d'après la théorie métabolique en écologie, le taux de mortalité naturelle augmente avec la température ambiante, alors qu'il décroît avec l'augmentation de la masse corporelle (Section 3.6.1).

Si elle est connue, la température moyenne de la masse d'eau, exprimée en degrés Celsius*, peut être sélectionnée dans cette case. En l'absence de cette information, on peut choisir une valeur par défaut, calculée en fonction de la localisation géographique. La température annuelle moyenne est réglée à 15, 13 et 10°C, selon la macro-zone géographique choisie dans la partie *Localisation et surface* (*Méditerranéenne*, *Atlantique* et *Nord de l'Europe*, respectivement). Noter que des petites variations de la température peuvent avoir un impact important sur le taux de mortalité.

*Attention pour les nombres décimaux utiliser le point (.) et non pas la virgule (,).

Échange d'eau de mer

Connection avec la mer: Libre
Gérée

Janvier	Ouvert ▼	Juillet	Fermé ▼
Février	Ouvert ▼	Août	Fermé ▼
Mars	Ouvert ▼	Septembre	Fermé ▼
Avril	Fermé ▼	Octobre	Fermé ▼
Mai	Fermé ▼	Novembre	Fermé ▼
Juin	Fermé ▼	Décembre	Ouvert ▼

Figure 2.4 - Définition de l'échange d'eau de mer

2.1.4 – Connexion avec la mer

Les échanges d'eau entre la mer et les masses d'eau continentales influe à la fois sur le recrutement et sur l'échappement des anguilles. Des obstacles tels que des barrages ou des vannes peuvent en effet empêcher l'entrée des civelles venant de la mer et / ou la migration vers la mer des anguilles argentées.

La gestion des échanges d'eau avec la mer peut être prise en compte par le modèle. Dans le cas d'échanges gérés, le logiciel permet à l'utilisateur, par le moyen de menus (Figure 2.4), de sélectionner la politique de gestion des vannes ou des barrages (c'est-à-dire, *ouvert* ou *fermé*) pour chaque mois.

Recrutement

Abondance du recrutement: Par défaut ▼

Figure 2.5 - Définition de l'abondance du recrutement

2.1.5 – Recrutement

Si on dispose d'informations concernant le recrutement sur le site étudié, il est possible de modifier l'abondance du recrutement des civelles (Figure 2.5), en sélectionnant *au-dessus de la moyenne* ou *au-dessous de la moyenne*, pour des sites où le recrutement est considéré comme plus élevé ou plus bas que d'habitude, respectivement. Lorsque, comme c'est le plus souvent le cas, l'abondance du recrutement des civelles n'est pas connu, il est fortement recommandé de maintenir la valeur par défaut (*moyenne*, entre 0,15 et 0,75 kg/ha; considérant 1 kg comme égal à 3000 civelles) ce qui est sélectionné automatiquement par le logiciel en fonction de la localisation géographique et des caractéristiques du site.

Biologie de l'anguille

Régler les paramètres: Détaillée ▼

Configuration avancée

Figure 2.6 – Activation de le panneau du *Biologie de l'anguille*

2.1.6 – *Biologie de l'anguille (pour utilisateurs expérimentés uniquement)*

Les utilisateurs confirmés pourront modifier les paramètres biologiques décrivant les principaux traits du cycle de vie considérés dans le modèle en sélectionnant *Détaillée* dans le cadre *Biologie de l'anguille* (Figure 2.6). Cette sélection va activer le panneau de *Configuration avancée*, contenant tous les composants du modèle organisés dans différents onglets. L'utilisateur peut choisir un trait spécifique par le moyen du menu et modifier les paramètres appropriés selon ses connaissances spécifiques de la population à évaluer et en se référant au Chapitre 3 pour connaître le sens de chaque paramètre.

Des informations détaillées à propos de cette option seront proposées sur demande directe [m.schiavina@gmail.com] de la part de l'utilisateur.

2.2 – **Exploitation de la population**

Dans le deuxième cadre à droite de l'interface (Figure 2.1), l'utilisateur peut définir la manière d'exploiter la population, ainsi que les règles imposées par le plan national de gestion proposé. Cette information est organisée dans trois sous-cadres différents, illustrés dans les sections suivantes:

- *Pêche professionnelle*
- *Effort de pêche*
- *Plan de gestion*

2.2.1 – *La pêche professionnelle*

Dans ce cadre (Figure 2.7) l'utilisateur peut insérer les informations disponibles concernant la pêche professionnelle des anguilles dans le site à analyser. L'information minimale nécessaire pour faire fonctionner le modèle est le nombre total de pêcheurs travaillant sur le plan d'eau concerné. Si disponible, des informations complémentaires concernant la taille des mailles des engins de pêche et l'effort de pêche exercé par les pêcheurs peuvent alimenter le modèle. Quatre cas principaux sont possibles :

- *cas 1*: les pêcheurs dont l'effort de pêche et la taille des mailles de l'engin de pêche est connue
- *cas 2*: les pêcheurs dont l'effort de pêche est inconnu, mais la taille des mailles de l'engin de pêche est connue
- *cas 3*: les pêcheurs dont l'effort de pêche et la taille des mailles de l'engin de pêche sont inconnus
- *cas 4*: les pêcheurs, tous utilisant la même taille des mailles de l'engin de pêche et dont l'effort est connu uniquement de façon globale.
- Le nombre global de pêcheurs appartenant aux *cas 1* et au *cas 2* doit être inscrit dans la cellule supérieure (*Pêcheurs dont l'effort est connu*) du cadre *Pêche professionnelle* (Figure 2.7). Lorsque cette valeur est différente de zéro, le logiciel ne permettra pas à l'utilisateur de faire fonctionner le modèle jusqu'à ce que l'effort du pêcheur ne soit défini. Cette information peut être entrée en sélectionnant le bouton *Définir l'effort* qui

ouvrira la case *Effort du pêcheur* (Section 2.2.2).

Le nombre de pêcheurs appartenant au *Cas 3* doit être défini dans la cellule inférieure (*Pêcheurs dont l'effort est inconnu*) du cadre *Pêche professionnelle* (Figure 2.7). Le logiciel prendra en compte un effort par défaut pour ces pêcheurs, basé sur une configuration saisonnière typique avec des pics au printemps et en automne (comme décrit dans la Figure 2.8), et une taille de maillage de 10 mm de nœud en nœud.

Les pêcheurs rentrant dans le *Cas 4* peuvent être traités comme un seul pêcheur à l'effort connu (*Cas 1*) en utilisant l'effort global dans la définition mensuelle.

Pêcherie professionnelle

Pêcherie professionnelle? Non
Oui

Pêcheur pour lesquels on connaît l'effort de pêche:

Pêcheur pour lesquels on ignore l'effort de pêche:

Figure 2.7 - Sélection de le nombre du pêcheur

2.2.2 – L'effort de pêche

Après avoir cliqué sur le bouton *Définir l'effort*, un nouveau panneau s'ouvrira contenant la case *Effort pêcheur* (Figure 2.8). Pour chaque pêcheur dont l'effort de pêche et la taille des mailles de l'engin de pêche sont tous les deux connus (*cas 1*), il est possible de définir l'effort (sur le plan mensuel) et la taille de maille du filet (exprimée en mm), alors que pour les pêcheurs dont seule la taille des mailles de l'engin de pêche est connue (*cas 2*), l'effort peut être défini par la valeur par défaut en se servant du bouton *Effort par défaut* et en ne définissant que la taille des mailles de l'engin de pêche (exprimée en mm).

L'effort de pêche est exprimé comme le nombre mensuel moyen de filets utilisés chaque jour par un pêcheur. Une fois la case remplie pour un pêcheur, l'utilisateur peut sélectionner un autre pêcheur dans les menus pop-up. Le cadre est maintenant prêt à l'emploi pour le pêcheur suivant. Cette procédure doit être répétée pour tous les pêcheurs pour qui les données sont disponibles (*cas 1 + cas 2*).

Afin d'évaluer l'effort mensuel, le nombre de filets utilisés dans une journée doit être multiplié par le nombre de jours où ils sont utilisés et divisé par le nombre de jours du mois. Par exemple, si un pêcheur utilise 10 filets pendant tout le mois d'avril, son effort sera :

$$(10 \times 30) / 30 = 10$$

Si un pêcheur utilise un effort variable pendant le mois, par exemple s'il utilise 15 filets par jour du 1^{er} au 17 avril, et ensuite les réduit à 10 filets du 18 au 30, son effort sera:

$$(15 \times 17 + 10 \times 13) / 30 = 12.5^*$$

Si un pêcheur utilise 15 filets du 1 au 15 avril et ensuite 0 filets jusqu'à la fin du mois, son effort sera:

$$(15 \times 15 + 0 \times 15) / 30 = 7.5$$

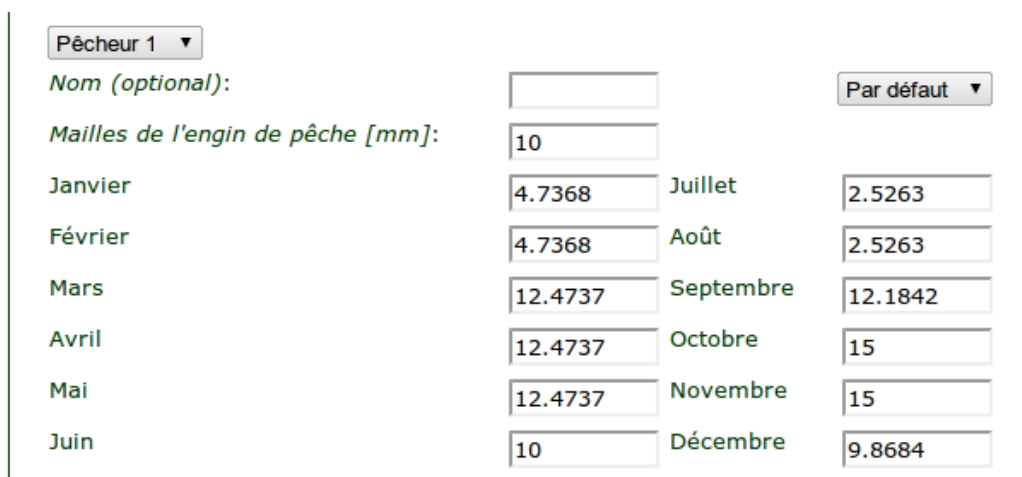
Si un pêcheur utilise deux types de filets différents, il doit être considéré comme deux

*Attention pour les nombres décimaux utiliser le point (.) et non pas la virgule (,).

pêcheurs virtuels, l'un utilisant un type de filet et déployant l'effort associé avec ce type de filet, et l'autre utilisant l'autre filet et déployant l'effort associé.

The menu *Copier de* permet de copier facilement les données 'effort' d'un pêcheur à l'autre. En sélectionnant un pêcheur dans la liste, son effort sera copié dans la fenêtre de celui que l'on souhaite considérer.

Si l'effort de pêche n'est pas connu au niveau mensuel, mais uniquement au niveau annuel, il est possible de calculer l'effort mensuel moyen simplement en divisant par 12 l'effort annuel.



Pêcheur 1 ▼		Par défaut ▼	
Nom (optional):	<input type="text"/>		
Mailles de l'engin de pêche [mm]:	<input type="text" value="10"/>		
Janvier	<input type="text" value="4.7368"/>	Juillet	<input type="text" value="2.5263"/>
Février	<input type="text" value="4.7368"/>	Août	<input type="text" value="2.5263"/>
Mars	<input type="text" value="12.4737"/>	Septembre	<input type="text" value="12.1842"/>
Avril	<input type="text" value="12.4737"/>	Octobre	<input type="text" value="15"/>
Mai	<input type="text" value="12.4737"/>	Novembre	<input type="text" value="15"/>
Juin	<input type="text" value="10"/>	Décembre	<input type="text" value="9.8684"/>

Figure 2.8 - Pêcheurs pour lesquels on connaît l'effort de pêche

2.2.3 – Plan de gestion

Le cadre *Plan national de gestion* de l'anguille permet à l'utilisateur d'activer et de désactiver l'effet d'un plan de gestion (tel que la réglementation européenne et / ou un plan de gestion national). Lorsque l'option est activée (Figure 2.9), le plan doit être défini en sélectionnant dans les menus les mois où la pêche est autorisée et pour tel ou tel stade du cycle de vie (anguilles jaunes et/ou argentées). La pêche peut être réglée sur *ouvert*, *fermé* ou *demi-mois*. Le *demi-mois* doit être choisi lorsque la pêche n'est autorisée que pendant la moitié du mois (c'est-à-dire, à partir de ou jusqu'au 15 du mois).

Il est aussi possible de définir une limite à la taille des mailles de l'engin de pêche, ou une taille corporelle (longueur) minimale pour l'autorisation de la vente des anguilles.

Plan de gestion

Activer plan de gestion de l'UE

	Pêche des anguilles jaunes	Pêche des anguilles argentées
Janvier	Fermé	Ouvert
Février	Fermé	Demi-mois
Mars	Ouvert	Fermé
Avril	Ouvert	Fermé
Mai	Ouvert	Fermé
Juin	Ouvert	Fermé
Juillet	Demi-mois	Fermé
Août	Demi-mois	Fermé
Septembre	Ouvert	Demi-mois
Octobre	Demi-mois	Ouvert
Novembre	Fermé	Ouvert
Décembre	Fermé	Ouvert
Limiter la taille corporelle minimale [cm]:		0
Limiter la taille des mailles de l'engin de pêche [mm]:		0

Figure 2.9 Plan de gestion de la pêcherie selon le plan de gestion de l'anguille en France

3 – Composantes du modèle

Le logiciel est basé sur une extension du modèle démographique développé par Bevacqua et al. (2007). Le modèle original a été révisé afin d'améliorer ses performances de calcul dans l'objectif de réduire la durée des simulations et de le rendre compatible avec les objectifs du logiciel.

Le modèle est structuré par stade de développement, âge et taille corporelle, et prend en compte explicitement tous les processus biologiques qui se déroulent pendant la phase continentale des anguilles catadromes:

- Abondance des anguillettes suite à un effet densité dépendance
- Croissance corporelle caractérisée par une variation individuelle élevée
- Taux de maturation en fonction de la taille corporelle et de la saison
- Taux de mortalité en fonction de la température et la taille corporelle
- Taux de mortalité par la pêche en fonction de la taille des mailles des engins de pêche, de la taille corporelle et du stade de développement des anguilles.

3.1 – Recrutement des civelles et abondance des anguillettes

La période de recrutement naturel théorique est considérée comme étant normalement distribué avec un pic au début du mois d'avril et 95% du recrutement se produisant entre le 1 février et le 1 juin ($\mu_r = 4$ et $\sigma_r = 1$ mois).

Le recrutement naturel théorique se produit en fait uniquement si le passage reliant le site considéré et la mer est ouvert à cette époque.

La survie du stade civelle jusqu'au stade anguillette (après métamorphose du stade civelle) est un processus dépendant de la densité (Bevacqua et al., 2011b). La fraction ρ des civelles réussissant à s'installer dans le plan d'eau dépendra de la densité des civelles recrutées G (individus/ha) et de la capacité maximale de l'écosystème (K (individus/ha)) :

$$\rho = \frac{1}{1 + \frac{G}{K}}$$

Le taux de salinité de l'eau et la localisation géographique déterminent la valeur K selon les résultats d'une simulation de l'ensemble du cycle de vie de l'anguille européenne. Pour les sites salés, K est réglé à 750, 500 et 250 individus/ha pour des sites méditerranéen, atlantique et de l'Europe du nord, respectivement. Pour les eaux douce, K est défini comme 250, 200 et 150 individus/ha pour les sites méditerranéen, atlantique et de l'Europe du nord, respectivement.

3.2 – Croissance corporelle

La croissance corporelle est décrite selon l'approche de Melia et al. (2006a,b). Des courbes de croissance différentes sont utilisées pour des anguilles jaunes non différenciées sexuellement, femelles ou males. Cette approche considère une courbe de croissance commune pour les deux sexes, pendant le stade non différencié, et des courbes différentes

pour les males et les femelles après différenciation sexuelle. La différenciation sexuelle est déclenchée par l'atteinte d'une taille corporelle critique (Melia et al., 2006b). La variation inter-individu de la croissance corporelle (particulièrement importante chez les anguilles) est prise en compte par l'approche 'attribution à la naissance' (Kirkpatrick, 1984), c'est-à-dire, en attribuant un facteur de croissance individuel, déterminé à la naissance, à chaque anguille.

Des courbes de croissance par défaut sont adaptées à la population spécifique d'anguilles étudiée selon l'approche utilisée par Andrello et al. (2011), ce qui explique les différences du taux de croissance corporelle et du temps de maturation entre les sites méditerranéens et nord-européens.

Afin de réduire le temps de computation, une matrice de transition de la taille corporelle est générée avant d'activer le modèle par moyen d'une simulation Monte Carlo. Par conséquence, des changements des paramètres de la taille corporelle peuvent nécessiter la génération d'une nouvelle matrice pour le cas d'étude spécifique. Ceci peut prendre beaucoup de temps.

3.3 – Maturation sexuelle

Selon Bevacqua et al. (2006), le modèle relie le taux de maturation sexuelle à la taille corporelle, au sexe et au temps. La probabilité de l'acquisition de l'argenture γ est exprimée en fonction sigmoïde de la taille corporelle:

$$\gamma = \frac{\gamma_{max}}{1 + e^{-\frac{\lambda - L}{\eta}}}$$

où γ_{max} est la probabilité d'acquisition de l'argenture maximale, λ la taille corporelle où la probabilité d'acquisition de l'argenture est de 50% de γ_{max} , et η est un coefficient de forme. Des différents jeux de paramètres sont utilisés pour les femelles et pour les males et pour chaque mois où la métamorphose d'anguille jaune en anguille argentée se produit (généralement les mois d'automne). En suivant l'approche d'Andrello et al. (2011), le paramètre λ est aussi corrigé afin de prendre en compte l'effet de la localisation géographique (ce qui est un proxy pour l'effet de la température de l'eau et d'autres variables environnementaux).

3.4 – Sexe ratio

La détermination est considérée comme étant dépendante de la densité (Lambert & Rochard, 2007). La fraction des males à la détermination du sexe ξ est considérée comme étant une fonction de la densité des anguillettes E et de la capacité maximale de l'écosystème K :

$$\xi = \frac{1}{1 + e^{-\eta_s \left(\lambda_s - \frac{E}{K} \right)}}$$

où λ_s est la densité de civelles donnant lieu à un sexe ratio équilibré (1:1) au moment de la différenciation sexuelle, et η_s est un coefficient de forme.

3.5 – Relation taille-poids

La masse corporelle W (in g) des anguilles est liée à la taille corporelle L (en mm) par la

fonction allométrique proposée par Melia et al. (2006a):

$$W = \alpha_w L^{\beta_w}$$

où $\alpha_w = 8.34 \times 10^{-4}$ et $\beta_w = 3.17$ (Melia et al., 2006a; Bevacqua et al. 2007).

3.6 – Survie

La survie mensuelle σ est calculée comme:

$$\sigma = e^{-(M+F)}$$

où M et F sont les taux de mortalité naturelle et par la pêche, respectivement (voir paragraphes suivants).

3.6.1 – Mortalité naturelle

Selon l'approche de Bevacqua et al. (2011a), le taux de mortalité naturelle M (en yr^{-1}) est exprimé comme une fonction de la masse corporelle, de la température de l'eau, de la densité des anguilles et du sexe:

$$M = e^{q_m - \frac{A_e}{k_b T}} W^b$$

où W est la masse corporelle (en g), T la température de l'eau (en K), $b = -0.46$, k_b est le constant Boltzmann ($8.62 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$), A_e est une activation énergétique (=1.22 et 1.24 eV pour les males et les femelles, respectivement) et q_m est un paramètre variant entre 48.5 et 50.8 dépendant du sexe des anguilles et de la densité de la population.

3.6.2 – Mortalité par la pêche

Le taux de mortalité par la pêche F peut être exprimé comme le produit d'un paramètre de capturabilité q_c , l'effort de pêche E , défini par l'utilisateur comme le nombre moyen de filets de pêche utilisés pendant un mois, et leur sélectivité ϕ (Bevacqua et al. 2009).

Le coefficient de capturabilité q_c est calculé sur la base des résultats obtenus pour les lagunes de la Camargue, convenablement re-calibrés afin de prendre en compte la densité de l'effort de pêche (E) par surface:

$$q_c = \frac{q'}{S}$$

où S est la surface (en ha) du plan d'eau à analyser et q' est égal à $1.82 \text{ ha filets}^{-1} \text{ mois}^{-2}$ et $2.21 \text{ ha filets}^{-1} \text{ mois}^{-2}$ pour les anguilles jaunes et argentées, respectivement.

La sélectivité des filets ϕ est définie en utilisant l'équation proposée par Bevacqua et al. (2009):

$$\phi = \frac{1}{1 + e^{-\eta_h (A_L - A_{50})}}$$

où η_h est un paramètre de forme qui dépend de la taille des mailles de l'engin de pêche

$$\eta_h = e^{(-1.65 - 0.06m)}$$

A_{50} est la section du tronc de l'anguille correspondant à une sélectivité de 50%, dépendant aussi de la taille des mailles de l'engin de pêche m

$$A_{50} = e^{(3.26 + 0.09m)}$$

et A_L est la section du tronc d'un individu de taille L et de densité $\rho = 0.001 \text{ g mm}^{-3}$, donné par

$$A_L = \alpha_w \rho^{-1} L^{\beta_w - 1}$$

(où α_w et β_w sont les paramètres de la relation taille-masse).

3.8 – Conditions à l'état naturel

Le logiciel propose une estimation de la productivité du site à l'état naturel en considérant que toute la surface potentielle est disponible pour la colonisation, que le volume du recrutement des civelles fût 10 fois le volume actuel (i.e. supposant une baisse du recrutement de 90% pendant les dernières décennies) et qu'il n'y a pas eu de pression anthropogénique (c'est-à-dire, supposant l'absence de pêche, de régulation des échanges d'eau avec la mer et de barrières).

4 – Résultats de la simulation

Lorsqu'on appuie sur le bouton *Activer* (Figure 2.1), le logiciel simule la dynamique démographique de la population d'anguilles spécifique et, en quelques secondes, montre les résultats dans un nouveau cadre, comme illustré dans la Figure 4.1. Les résultats numériques concernant la productivité de la population sont présentés sur le côté gauche du cadre, alors qu'une présentation graphique est tracée sur le côté droit, résumant les résultats de la simulation de manière intuitive. En sélectionnant le bouton *RETOUR* le logiciel ferme la fenêtre des résultats et revient à l'interface des entrées, permettant à l'utilisateur de changer les réglages et de lancer une nouvelle simulation. L'interface permet la comparaison entre la dernière simulation et tous les scénarios calculés pendant la séance en cours (Section 4.3).

Les statistiques générées par le logiciel sont décrites en détail dans le paragraphe suivant. Noter que les résultats présentés sont issus de la simulation de la dynamique de population résultant d'un recrutement qui est maintenu constant dans le long terme. Puisque le recrutement peut montrer une variation remarquable d'année en année, les résultats fournis par le logiciel doivent être considérés comme une estimation de la moyenne de la productivité de la population étudiée. Noter aussi qu'un changement vis-à-vis de la politique actuelle de gestion peut induire une période de transition où la productivité réelle de la pêche soit sensiblement différente de celle prédite par le modèle. La durée de la période de transition dépendra de la localisation géographique de la population, allant de 3 à 7 ans pour les sites méditerranéens, et de 15 à 20 ans pour ceux de l'Europe du nord.

4.1 – Résultats de la simulation

Le logiciel génère les statistiques suivantes concernant la productivité de la population:

- *Echappement des anguilles argentées à l'état naturel*: la production estimée à l'état naturel, exprimée en biomasse d'anguilles argentées migrantes quittant le site (en tonnes par an et en kg par hectare par an)
- *Echappement actuel d'anguilles argentées*: la production estimée dans les conditions actuelles, exprimée en biomasse d'anguilles argentées migrantes quittant le site (en tonnes par an et en kg par hectare par an)
- *Rapport moyen production actuelle / état naturel*: le rapport entre la production actuelle et à l'état naturel. Ce rapport peut servir pour vérifier si l'objectif (40% de l'échappement d'anguilles argentées à l'état naturel) imposé par l'UE est respecté.
- *Captures des pêcheurs*: le rendement actuel de la pêche obtenu dans le cadre du régime d'exploitation simulé (en tonnes par an), aussi sous-divisé en prises d'anguilles argentées S et celles d'anguilles jaunes Y.

En utilisant le menu *Sélectionner le pêcheur* et en sélectionnant l'un des pêcheurs de la liste, l'utilisateur peut montrer les prises individuelles pour chaque pêcheur (selon l'effort et le type de filet choisis dans la case *Effort pêcheur*, exprimées en kg par an et sous-divisées en prises d'anguilles argentées (S) et celles d'anguilles jaunes (Y).

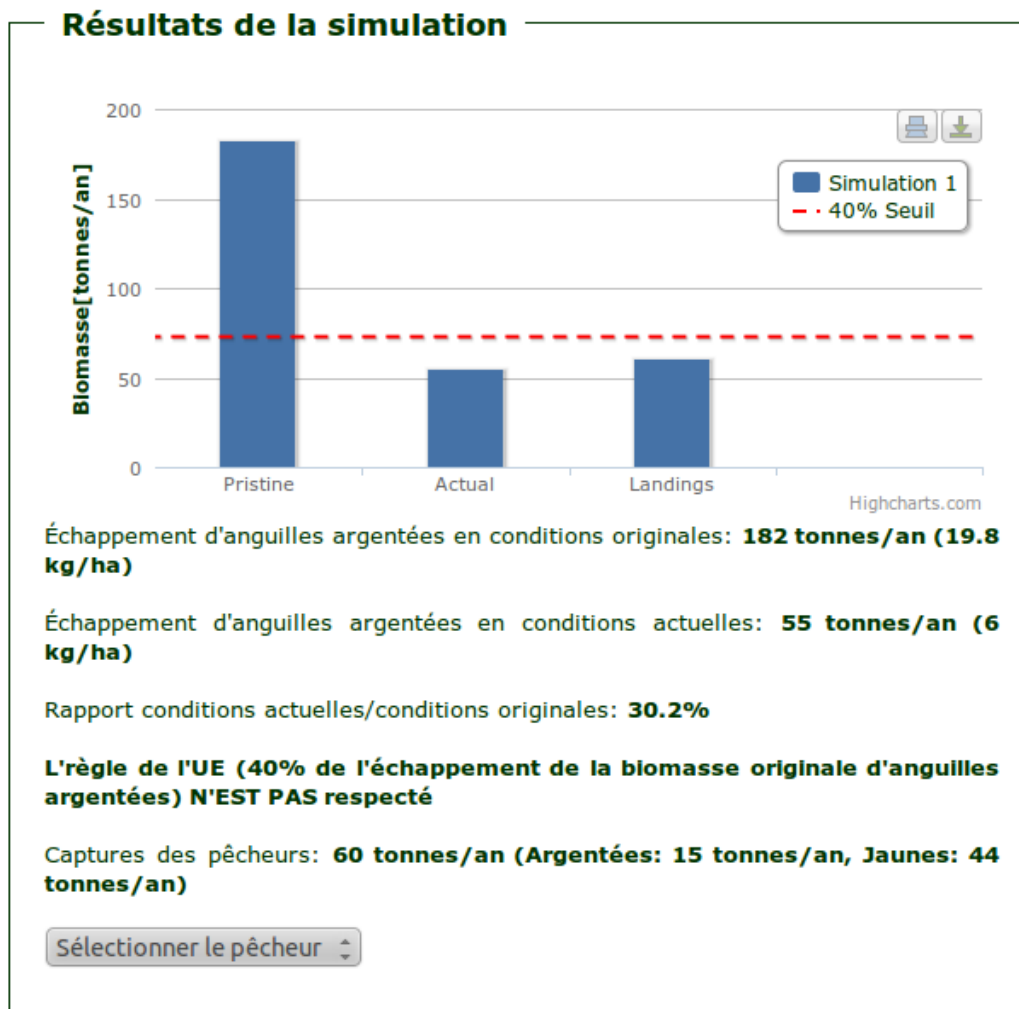


Figure 4.1 Cadre de présentation des résultats obtenus après simulation pour un scénario de gestion donné

4.2 – Présentation graphique

La présentation graphique est un histogramme montrant, à l'extrême gauche, le niveau à l'état naturel des échappements d'anguilles argentées; au milieu, le niveau actuel des échappements d'anguilles argentées et à l'extrême droite, le rendement total de la pêcherie (anguilles argentées + jaunes). Une ligne pointillée horizontale représente le niveau de 40% de l'échappement à l'état naturel (c'est-à-dire, la contrainte imposée par la réglementation de l'UE), facilitant la comparaison entre les objectifs de la gestion actuelle et ceux de la réglementation de l'UE.

4.3 – Comparaison entre les scénarios

L'interface *Résultats* permet à l'utilisateur de comparer le scénario actuel et tous ceux générés pendant la séance de simulation en cours. Pour choisir un scénario pour comparaison, il suffit de le sélectionner dans la liste du menu *scénario*. Les simulations précédentes sont organisées de la plus récente à la plus ancienne. La comparaison peut être répétée pour tous les scénarios disponibles.

En sélectionnant un scénario simulé préalablement, l'interface réalise Speriemo che funzioni! era automatiquement une mise à jour, montrant les résultats numériques de cette simulation dans la partie gauche de la fenêtre et avec des barres rouges dans la présentation graphique (Figure 4.2). Dans ce cas, la contrainte de la réglementation de l'UE (ligne rouge pointillée) se réfère à la production à l'état naturel du scénario en cours. Il est aussi possible, si les réglages du scénario en cours incluent le descriptif de l'effort pour des différents pêcheurs, de comparer les prises individuelles de chaque pêcheur. Cette option est désactivée lorsque le nombre de pêcheurs change entre scénarios

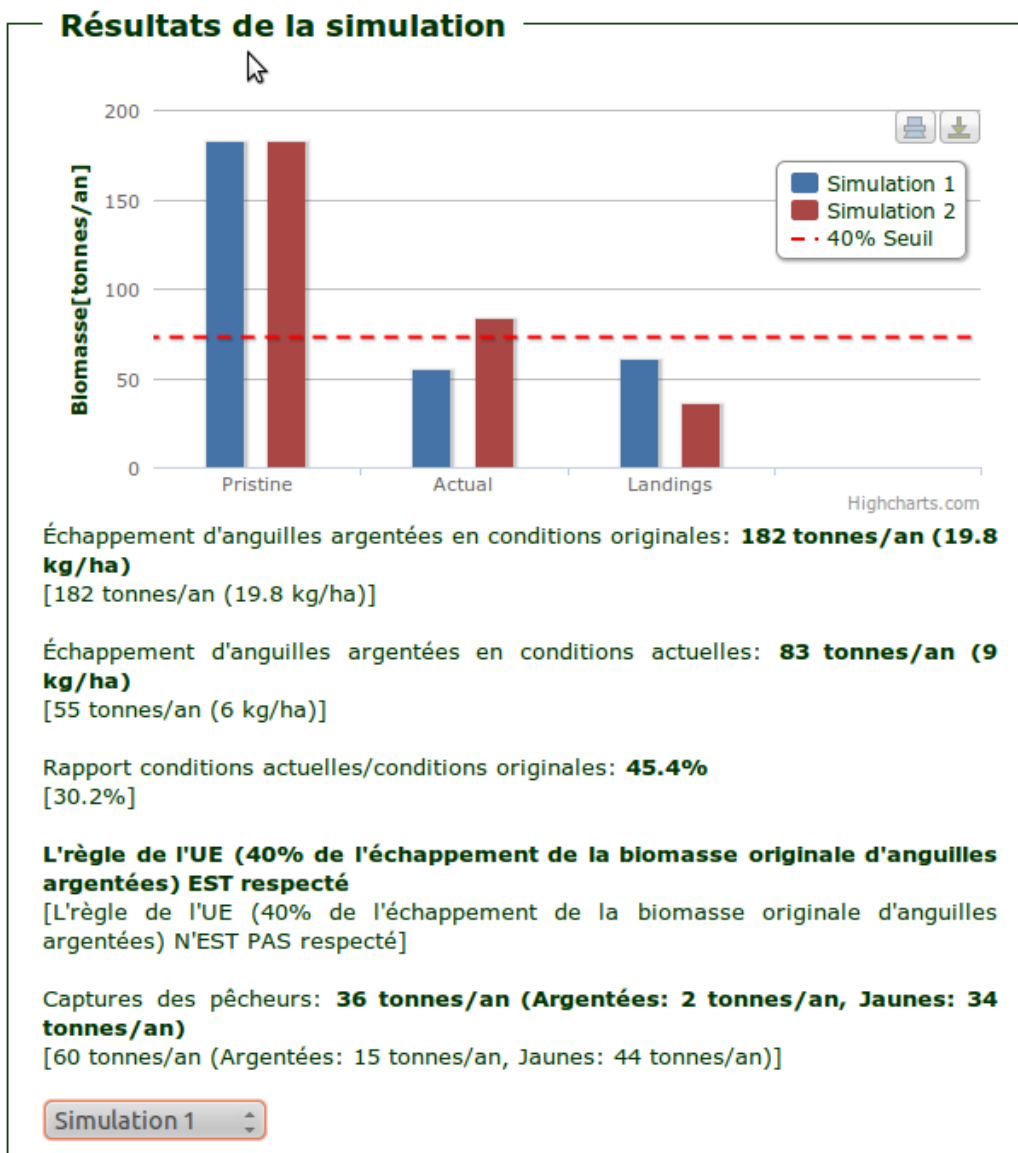


Figure 4.2 - Résultats montrant la comparaison entre deux scénarios

5 – Requis système

Il n'y a pas de requis spécifique en ce qui concerne le matériel. Une bonne connexion internet est conseillée. Le site Web est réalisée pour Mozilla Firefox et Google Chrome. L'utilisation d'un autre navigateur peut entraîner une baisse des performances graphiques. Le logiciel est utilisable directement sur le site Web suivant: <http://www.dei.eels.polimi.it>.

Remerciements

Nous remercions Pascal Contournet pour tout le travail sur le terrain, Jacques Panfili pour la lecture des otolithes d'anguille, l'Association MRM (Migrateurs-Rhône-Méditerranée) pour son aide sur le terrain et l'Association CAT (Compagnons de Maguelone) pour nous permettre et nous aider à travailler sur le lagune du Prévost.

Références

- Andrello, M., Bevacqua, D., Maes G.E., and De Leo, G.A. (2011) *An integrated genetic-demographic model to unravel the origin of genetic structure in European eel (Anguilla anguilla L.)*. Evolutionary application, 4-4, 517–533.
- Bevacqua, D., Melià, P., Crivelli, A.J., De Leo, G.A. and Gatto, M. (2006) *Timing and rate of sexual maturation of European eel in brackish and freshwater environments*. Journal of Fish Biology 69 (Suppl. C), 200–208.
- Bevacqua, D., Melià, P., Crivelli, A.J., Gatto, M. and De Leo, G.A. (2007) *Multi-objective assessment of conservation measures for the European eel (Anguilla anguilla): an application to the Camargue lagoons*. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil 64, 1483-1490.
- Bevacqua, D., Melià, P., De Leo, G.A. and Gatto M. (2011a) *Intra-specific scaling of natural mortality in fish: the paradigmatic case of the European eel*. Oecologia 165, 333–339.
- Bevacqua, D., Andrello, M., Melià, P., Vincenzi, S., Leo, G.A., and Crivelli, A.J. (2011b) *Density-dependent and inter-specific interactions affecting European eel settlement in freshwater habitats*. Hydrobiologia, 259-265.
- Bevacqua, D., Melià, P., Schiavina, M., Crivelli, A.J., De Leo, G.A. and Gatto, M. (in prep) *A general modelling framework for the simulation of the demography and management of catadromous eel*.
- Crivelli, A.J., Auphan, N., Chauvelon, P., Sandoz, A., Menella, J., and Poizat, G. (2008) *Glass eel recruitment, Anguilla anguilla (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap: factors explaining the catches*. Hydrobiologia 602, 79-86.
- Lambert, P., and Rochard, E. (2007) *Identification of the inland population dynamics of the European eel using pattern-oriented modelling*. Ecological modelling 206, 166–178.
- Lefebvre, F, Contournet, P. and Crivelli, AJ. (2002) *The health state of the eel swimbladder as a measure of parasite pressure by Anguillicola crassus*. Parasitology 124, 457-463.
- Lefebvre, F, Acou, A, Poizat, G. and Crivelli, A.J. (2003) *Anguillicolosis among silver eels: a 2-year survey in four habitats from Camargue (Rhône delta, South of France)*. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 368, 97-108.
- Lefebvre, F, Contournet, P. and Crivelli, AJ. (2007) *Interaction between the severity of the infection by the nematode Anguillicola crassus and the tolerance to hypoxia in the European eel Anguilla anguilla*. Acta Parasitologica 52-2, 171-175.
- Lefebvre, F., Fazio, G. and Crivelli, A.J. (2012) *Anguillicoloides crassus*. Fish parasites: pathobiology and protection, edited by Woo, P.T.K., Buchmann, K., 320-326.
- Melià, P., Bevacqua, D., Crivelli, A.J., De Leo, G.A., Panfili, J. and Gatto, M. (2006a) *Age and*

growth of Anguilla anguilla in the Camargue lagoons. Journal of Fish Biology 68, 876–890.

Melià, P., Bevacqua, D., Crivelli, A.J., Panfili, J., De Leo, G.A. and Gatto, M. (2006b) *Sex differentiation of the European eel in brackish and freshwater environments: a comparative analysis*. Journal of Fish Biology 69, 1228–1235.