

UR AFPA
UNITÉ DE RECHERCHE
ANIMAL & FONCTIONNALITÉS
DES PRODUITS
ANIMAUX
Equipe Diversification en Aquaculture Continentale

Nancy-Université

INRA

MODELISATION SYSTEMIQUE EN AQUACULTURE

Jean-Noël Gardeur

La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- Très ancienne activité mais...
- essor récent:

Encore peu de modélisation systémique ... <=>

Aquaculture : production de poisson

1970 1980 1990 2000 2010

croissance = 3 fois autres PA

UR AFPA

Jean-Noël Gardeur

La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- 31500 espèces! (fishbase) quelques unes élevées
=> Potentiel DIVERSIFICATION; besoin DOMESTICATION
- espèces à Tx Lipides très ≠ :

Besoins nutritionnels différents... <=>

Taux lipides chair de poisson

UR AFPA

Jean-Noël Gardeur

La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- Poissons: des particularités biologiques:

> ectothermie =>

Maîtrise de la température de l'eau... <=>

UR AFPA

Jean-Noël Gardeur

La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- Poissons: des particularités biologiques:

> croissance indéterminée

Figure 1 Typical growth trajectory of (a) terrestrial animals and (b) fish Dumas et al. 2010

=> Modèles de croissance spécifiques ...

UR AFPA

Jean-Noël Gardeur

La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- Poissons: des particularités environnementales:

> milieu de vie spécifique :

Maîtrise de la qualité de l'eau... <=>
Difficulté mesures physiologiques

UR AFPA

Jean-Noël Gardeur

La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- Poissons: des particularités environnementales:
 - milieu de vie diversifié:

⇒ **Systèmes d'élevage variés ...**



UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

- Poissons: des particularités environnementales:
 - vie en population à nombre élevé:

Interactions sociales <=

- Cannibalisme
- Prédation
- Dominance
- Hétérogénéité de croissance ...



UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités... Modélisation en aquaculture...

- Modélisation de la croissance:

➢ Quelques modèles simples de croissance couramment utilisés :

✓ **TCS ou SGR** : Taux de Croissance Spécifique ou Specific Growth Rate

$$TCS = [\ln(P_t) - \ln(P_0)] / (t)$$

$$\Rightarrow P_k = P_0 \cdot \text{Exp}^{(TCS \cdot t)}$$

⇒ calculer une croissance, peu pour prédire:

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités... Modélisation en aquaculture...

- Modélisation de la croissance:

➢ Quelques modèles simples de croissance couramment utilisés :

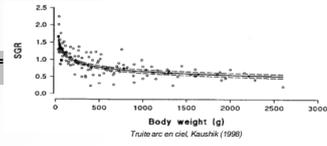
TCS :

Problème:

basé sur croissance continue mais exponentielle...

réalité: TCS ↘

Domaine de validité étroit
Pas de prise en compte température...



UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités... Modélisation en aquaculture...

- Modélisation de la croissance:

➢ Quelques modèles simples de croissance couramment utilisés :

TGC : Thermal Growth Coefficient

$$TGC = (P_t^{1/3} - P_0^{1/3}) / (SDJ)$$

$$\Rightarrow P_k = [P_0^{1/3} + (TGC \cdot SDJ)]^3$$

TB estimations courbes croissance
(truite, saumon à ≠ températures, Cho & bureau (1998))

⇒ constant pour une espèce, un génotype et conditions environnementales définies...

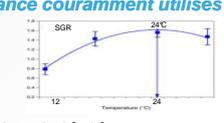
UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités... Modélisation en aquaculture...

- Modélisation de la croissance:

➢ Quelques modèles simples de croissance couramment utilisés :

TGC : Thermal Growth Coefficient



1- non linéarité: poids f(temp)

2- HYP: Loi des carrés et des cubes: L, L², L³, (Gallée...)

Lx2 ⇒ Sx4, Vx8 facteur de condition: K = 100.P.L³ (Fulton 1904)

relation P-L pas toujours vérifiée... (Ex: croissance compensatrice, ...)

⇒ TGC pour prédiction à utiliser dans mêmes conditions que les observations ...

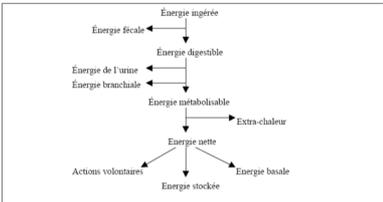
UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles BioEnergétiques:

➤ **Cas général chez le poisson**
(Bureau et al. 2002)



UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles BioEnergétiques:

➤ **Modèle énergétique simplifié: Scope For Growth (SFG)**

$$d\text{Poids}/dt = \alpha \text{Poids}^\beta - \gamma \text{Poids}^\delta$$

où $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ sont des paramètres.

↓

E assimilée E catabolisme (respiration, excrétion)

(Widdows & Staff 1997)

(Sous certaines conditions $\alpha, \beta, \gamma, \delta \Rightarrow$ SGR ou TGC ou Von B.)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles BioEnergétiques:

➤ **SFG :**

Etude réponses physiologiques:
Impact contaminants, pollution, toxicologie,

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles BioEnergétiques:

➤ **Un modèle générique: Dynamic Energy Budget (DEB) (Kooijman, 2000)**



UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

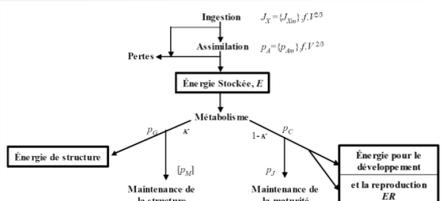
Modélisation en aquaculture...

- Modèles BioEnergétiques:

➤ **DEB:**

base = Surface / Volume

+ **Compartment reproduction** => modélisation sur cycle de vie



UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles BioEnergétiques:

✓ **Nombreux modèles développés...**

Ex: programme Fish-PrFEQ (Cho & Bureau 1998)

- Prédiction croissance
- Réentions E, N, P
- Rejets effluents
- Contamination, bioaccumulation, ...

✓ **Limites:** (Jobling 1995, Dumas et al. 2010, ...)

- Relation énergie fixée et gain de poids variable selon cycle de vie et stades physiologiques
- Utilisation des nutriments
- Utilisation énergie pour croissance = f(utilisation protéines)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles Nutritionnels:

- ✓ **approche mécaniste**
→ Prédiction croissance, ingestion, digestion, composition corporelle
- ✓ **approche + récente chez les poissons**

Dumas et al. 2010 → règles de partitionnement des nutriments chez poissons selon :

- Composition corporelle
- Ingestion protéines
- Cinétique de saturation biochimique

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles Nutritionnels:

Poissons:

$Tx\ Prot\ f(Poids)$
 $Tx\ Lip\ et\ H_2O\ +\ lié\ au\ Poids$

- Modèles BioEnergétiques et Nutritionnels:

Difficultés des mesures : complexes, peu précises, stressantes
Méthodes classiques de budget E, Digestibilité, Métabolisme
=> Non adaptées poissons (Belal 2005)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles Bio Energétiques et Nutritionnels:

Beaucoup d'études: estimation croissance et ingestion
évaluation impact prédateurs, et facteurs sur la croissance

Mais mesures : espèces captives ou commercialement importantes
sur jeunes, en activité de croissance
espèces carnivores

Quantification pour animaux en milieu naturel ?
=> télémétrie peut apporter des info (relation dépenses énergétiques et activité)

Problème majeur précision = estimation ingéré
=> radiographie permettent améliorer (populations sauvages ?)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Modèles Bio Energétiques et Nutritionnels:

Autre limitation: informations individuelles? et cause des variations intra et inter groupe??

Anabolisme et catabolisme tissulaire? contrôle hormonal ? intégration métabolites

Analyses de sensibilité à développer (impact des paramètres des modèles)
Précisions à améliorer pour améliorer production et efficacité alimentaire

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle

Modélisation empirique Boîte Noire:

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle

Auteurs	Espèce	Nombre de facteurs testés	Nature des facteurs	Variabes dépendantes
Faergemand et al. (1995)	truite	5	alimentaire	Qualité chair
Babiak et al. (2000)	Carpe	5	conditionnement échantillons	cryoconservation sperme
Waagbø et al. (2003)	saumon	7	alimentaire	Cataracte
Hanne et al. (2004)	saumon	7	alimentaire	croissance et qualité filets
Torstensen et al. (2004)	saumon	7	alimentaire	Qualité chair
Wang et al. (2006)	Perche	8	environnement alimentaire	Induction cycle reproduction
Gardeur et al. (2007)	Perche	12	environnement alimentaire	croissance qualité chair
Mairesse et al. (2007)	Perche	4	environnement alimentaire	croissance qualité chair
Blanchard et al. (2008)	Perche	12	environnement alimentaire	ultrastructure hépatocytes
Teletchea et al. (2009)	Sandre	4	environnement alimentaire	qualité sperme

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle (Gardeur et al. 2007)

➤ Intérêt de la démarche: Ex: effet 12 facteurs / Croissance et QLT

12 facteurs à tester

- Température 16 / 23°C
- Taux rationnement Max / Opt
- Taux Lipides 17 / 21%
- Nature Protéines P / P+V
- Nature Lipides P / P+V
- Anti Oxydant 0 / 0.4%
- Densité Finale 4 / 12kg.m⁻³
- Mode distribution Continu / 2repas
- CV Poids initial 15 / 30%
- Photophase 8 / 16H
- Spectre Violet / Blanc
- Jours alimentation 6 / 7

Plan d'expériences fractionnaire

L24 2¹²

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle (Gardeur et al. 2007)

➤ Intérêt de la démarche: Ex: effet 12 facteurs / Croissance et QLT

Plan d'expériences fractionnaire

de **RESOLUTION IV**

PLAN FACTORIEL FRACTIONNAIRE =>

Estimation des paramètres:

- moyenne**
- effets principaux** } *Estimés individuellement*
- effets d'interaction de degré 2 : Estimés en groupes (11x6)**
- effets d'interaction de degré 3 et +** } *H₀*

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle (Gardeur et al. 2007)

➤ Intérêt de la démarche: Ex: effet 12 facteurs / Croissance et QLT

Matrice expérimentale:

Combi	Temp	TR	Lip	NP	NL	PI	De	Mo	Ph	Spe	Ja	
1	23°	Opt	21	P+V	P	0	4	C	15	16	Vio	6
2	16°	Opt	21	P	P+V	0	12	C	15	8	Ind	6
3	23°	Max	21	P	P+V	T	12	2	15	8	Vio	6
4	16°	Opt	17	P+V	P	0	12	2	30	8	Vio	6
5	16°	Max	21	P	P+V	0	4	2	30	16	Vio	6
6	16°	Max	21	P+V	P+V	T	12	C	30	16	Ind	6
7	23°	Max	17	P+V	P+V	0	12	2	15	16	Ind	6
8	23°	Opt	21	P+V	P	T	4	2	30	8	Ind	6
9	23°	Opt	17	P	P+V	T	12	C	30	16	Vio	6
10	16°	Opt	17	P	P	T	4	2	15	16	Ind	6
11	23°	Max	17	P	P+V	0	4	C	30	8	Ind	6
12	16°	Max	17	P+V	P	T	4	C	15	8	Vio	6
13	16°	Max	17	P	P+V	T	12	2	30	8	Ind	7
14	23°	Max	17	P+V	P+V	T	4	C	15	8	Ind	7
15	16°	Opt	17	P+V	P+V	0	4	C	30	16	Ind	7
16	23°	Max	21	P	P	T	4	C	15	16	Ind	7
17	23°	Opt	17	P+V	P+V	T	12	2	30	16	Vio	7
18	23°	Opt	17	P	P	0	4	2	15	8	Vio	7
19	16°	Opt	21	P	P	T	4	C	30	8	Vio	7
20	16°	Max	17	P	P+V	0	12	C	15	16	Vio	7
21	16°	Max	21	P+V	P	0	4	2	15	8	Ind	7
22	23°	Max	21	P+V	P+V	0	12	C	30	8	Vio	7
23	16°	Opt	21	P	P	T	12	2	15	16	Vio	7
24	23°	Opt	21	P	P	0	12	2	30	16	Ind	7

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle (Gardeur et al. 2007)

➤ Intérêt de la démarche: Ex: effet 12 facteurs RESULTATS

Combi	Temp	TR	Lip	NP	NL	PI	De	Mo	Ph	Spe	Ja	CV	Ref	Ea	los	Rf	pP	dN	Lf	aq	%	DHM	n3n6		
24	23	Opt	21	P	P	0	12	2	30	16	Ind	7	134.1	42.7	2280	0.62	0.49	43.9	37.8	558	43.4	4.4	1.02	41.0	13.7
1	23	Opt	21	P+V	P	0	4	C	15	16	Mo	6	1238	28.5	1365	0.62	0.56	45.53	15.3	555	43	2.2	1.40	38.9	11.5
14	23	Max	17	P+V	P+V	T	4	2	30	16	Mo	7	116.9	39.3	1210	0.81	0.63	45.53	17.1	695	44	17.2	1.06	33.9	7.1
9	23	Opt	17	P	P+V	T	12	C	30	16	Mo	6	1128	23.4	1890	0.53	0.39	46.36	31.4	5	43	26.1	1.11	30.0	9.8
7	23	Max	17	P+V	P+V	0	12	2	15	16	Ind	6	106.5	34.5	1650	0.55	0.57	44.27	21.6	1035	44	9.1	1.16	36.7	8.3
18	23	Opt	17	P	P	0	4	2	15	8	Mo	7	103.2	23.0	916	0.40	1.48	47.26	37.2	200	43	2.3	1.47	42.8	13.2
Moyenne													66.7	26.1	1326	0.40	4.53	44.0	30.6	194	42.7	12.5	1.38	38.8	10.5

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

Sous système PERCHE en CIRCUIT FERMÉ au STADE GROSSISSEMENT

The diagram illustrates the complex interactions between various factors in a closed recirculating aquaculture system. It includes 'Relations sociales' (social relations), 'Environnement trophique' (trophic environment), and 'Poisson' (fish). Key variables include temperature, rationing, lipids, and protein levels, which all influence the final 'Population' and 'Qualité produit du Milieu' (product quality of the environment).

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- Une approche systémique factorielle (Gardeur et al. 2007)

➤ Intérêt de la démarche: Ex: résultats

- 4 combinaisons à valider
- 5 effets principaux significatifs sur 12
- 14 groupes interactions ordre² significatifs sur 66
- Grande variabilité du déterminisme des variables (complexité HC...)

= INFO EMERGENTES DE L' APPROCHE SYSTEMIQUE

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré IBM (Individual Based Model)**
- **Aquaculture: vie en population à nombre élevé => Interactions sociales...**

Grimm (1999): "modèles de simulation traitant l'individu comme entité unique ayant au moins un attribut"

Deffuant et al. (2003) "La caractéristique première du modèle individus-centré est de se fonder sur une représentation explicite de l'ensemble des individus du système ainsi que de leurs interactions"

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré**
- **Etude croissance individuelle**
- ✓ **Immsland et al., 1998 = 1^{er} IBM => étude croissance individuelle des poissons (Juvéniles Turbot)**

$$Poids_{t+1} = Poids_t \times \exp^{(G(t)) \cdot X(t) \cdot Z(t)}$$

800 simulations / observations

⇒ **Variations taille expliquées par:**

Effet génétique (tirage aléatoire)	OUI
Effet taille-dépendant	Non
Effet génétique + Inter. Soc	OUI

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Etude HC**

Hétérogénéité de croissance (HC) = problème récurrent en aquaculture

= très mal connu : causes ??? X facteurs...

Spécificité aquaculture : CVpoids=20-35% vs 7-10% autres filières Gjedarem (1997)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

INTERACTIONS SOCIALES

= cœur de l'hétérogénéité de croissance

(répartition inégalitaire de l'ingéré)

(Jobling et Koskela, 1996, Adams et al. 1995, Greaves et Tuene, 2001)

⇒ **BASES DE LA MODELISATION**

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

HETEROGENEITE DE CROISSANCE

Boucle de rétroaction

Hierarchies sociales
Accès différentiel aux ressources
Effet poids / Rel. Soc.

Ethologie

"Taille" Interactions sociales

Affrontements → Taille ?
Prise alimentaire ?

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

⇒ **Modélisation de**

LA CROISSANCE (modèle énergétique ic)
et
DES RELATIONS SOCIALES: DOMINANT / DOMINE (SMA)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

MODELE DE CROISSANCE
= SFG individualisé

$R=0,22, \text{Biomasse } 0,66$

$\text{Coef. assimil} = \alpha \cdot (T / T_{opt})^2 \cdot (\text{ratio jour/nuit})$

$\text{Activité} = ca \cdot \text{Biomasse} \cdot \beta \cdot (T / T_{opt})$

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

MODELE DE COMBAT
= Modélisation des INTERACTIONS SOCIALES

poules ordre de picorage = $ct = f(\text{dominance})$ (Schjelderup-Ebbe, 1922)

=> **dominance = accès privilégié à ressource**
(Drews, 1993)

(araignées, crabes, écrevisses, poissons, oiseaux, mammifères)
(deCarvelo et al.; Briffa et Elwood, 2001; 2004; Avhenharu et Ruohonen, 2006); Cloutier et al., 1996; Thomas et al., 2002; Hemelrijk, 1996)

dominance = f(combats) Adams et al. (1998)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

Déterminants des combats:

- **poids** : si \neq poids > 20% : dominance sans agression
si \neq poids < 20% : combat
(Beaugrand et al. 1996)
- **mémoire des combats**
=> Effet de renforcement et d'Auto organisation des hiérarchies (Hsu et al., 2006).

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

Hypothèses fixes de structure :

- il existe des **phases de combat** et des **phases de nourrissage**
- ingestion $f(\text{poids}) = \text{capacité maximale d'ingestion}$
- **relations sociales => inhibition de l'ingéré**
(modélisé par affrontements 2 à 2)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

Hypothèses modulables de structure :

- **combats aléatoires** (même nb pour tous)
Alternative : **dominants = +agressifs => +de combats**
(Adams et al., 1995; Adams et Huntingford, 1996)
- **combats individus taille #**
Alternative : **combats si tailles proches + escalade**

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish SMA**

Agents du modèle : = représentation machine d'1 poisson

attributs : Poids
Mémoire des combats

méthodes

- Défier (aléatoire ou dominants combattent +)
- Combattre (param_évitement en f(poids; valeur_combat en f(poids, effet mémoire, effet génétique)
- Manger (Rationnement_théorique + Inhibition^{2/3})
- Grossir (procédure d'appel du modèle énergétique individualisé)
- Oublier (param_rémanence x mémoire)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individu-centré : Mo.B.I.Fish**

Environnement du modèle

- variable **rationnement**
- variable **température**
- variable **photopériode**
- variable **energie_aliment**

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individu-centré : Mo.B.I.Fish**

Fonctionnement du modèle

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individu-centré : Mo.B.I.Fish**

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individu-centré Mo.B.I.Fish**

Arnaud Campéas Doctorat INPL
= 11 paramètres
~ 35 équations
Programmation sous R

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individu-centré : Mo.B.I.Fish**

Calibration

données BAR : 4 bacs Expé effet $CV_i = 9\%$ ou 29%
création données in silico : (100 j de croissance)

OBJ: recherche paramètres => comportement "réaliste"
= CV stable ~ 20-30% $\forall CV_i$; $r_{sp} [0.7; 0.8]$

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individu-centré : Mo.B.I.Fish**

Validation

données BAR : 4 autres bacs $CV_i = 9\%$ ou 29%

données individuelles BAR (123 i pit-tagés)
self feeder + Xray + Vidéo

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

4 scénarios de calibration et validation

déterminisme des combats :

- aléatoire V
- aléatoire + effet mémoire V
- aléatoire + effet taille X
- aléatoire + effet taille + effet mémoire X

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

Combat =
effet mémoire
+
effet aléatoire

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

Validation externe : courbes individuelles d'ingestion

Observé →
 Simulé →

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

- **Modèle individus-centré : Mo.B.I.Fish**

Conclusion

Convergence hétérogénéité facile à modéliser

Simulations réalistes des courbes individuelles de croissance

Effet mémoire => permet de simuler le désordre des poids (informations émergentes)

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010

L'Aquaculture: quelques spécificités...

Modélisation en aquaculture...

Merci pour votre attention...

UR AFPA Jean-Noël Gardeur La journée de printemps de l'AFZ 23 avril 2010