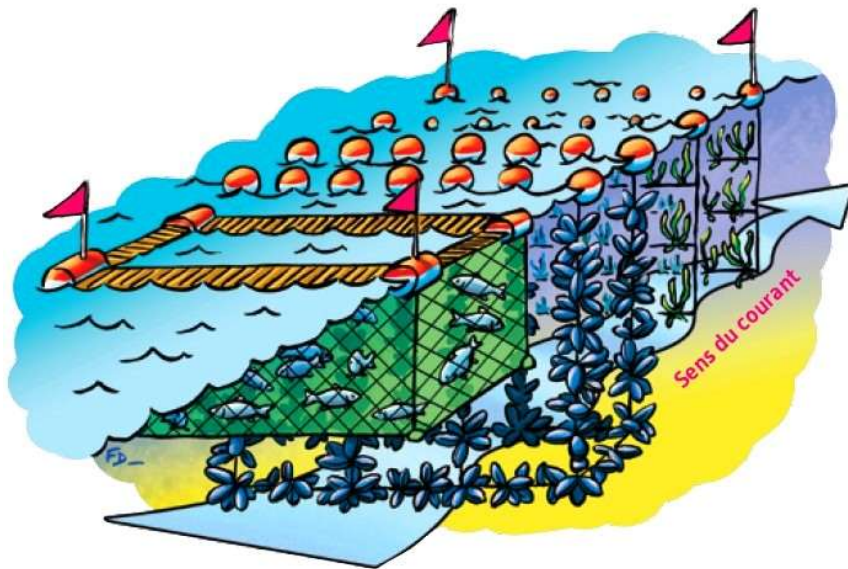


Aquaculture intégrée multitrophique : enjeux, concept et exemple local

Philippe Cacot
CIRAD UMR ISEM équipe AquaDive
philippe.cacot@cirad.fr

Présentation aux bénévoles de France Nature Environnement
Occitanie-Méditerranée, Sète 11/12/2025

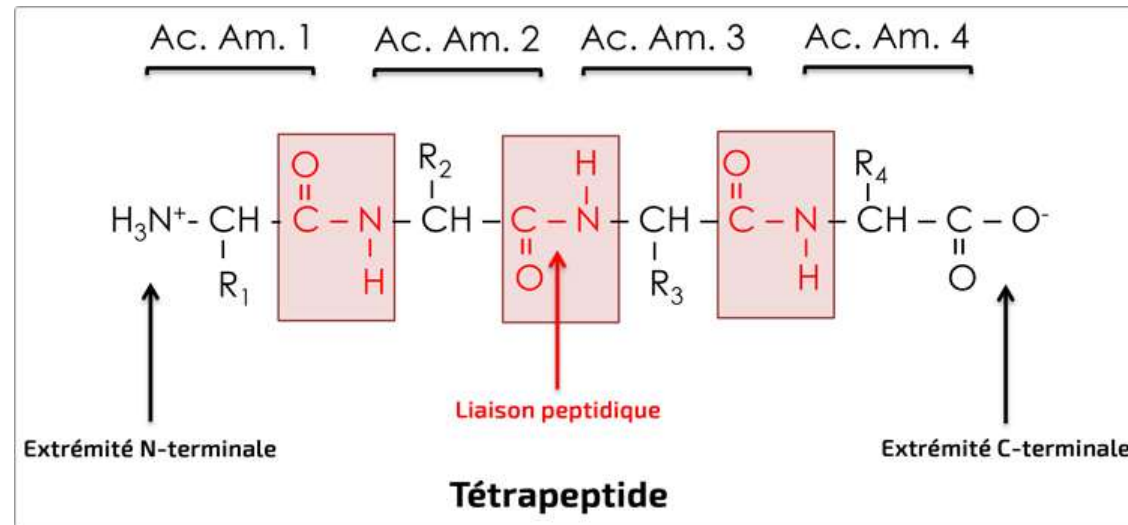


Auto-entrepreneur

Sommaire

- Azote et gaz dissous en aquaculture
- Le concept d'IMTA « Integrated Multi-Trophic Aquaculture »
- La « bioremédiation » algale, en mode extensif ou intensif
- IPRS « In Pond Raceway System », test local avec des muges

Protéines et azote



Acide aminé	Nb atomes azote R
Arginine	3
Histidine	2
Lysine	1
Asparagine	1
Glutamine	1
Tryptophane	1

Azote : 16 % du poids des protéines (ratio protéines / azote = 6,25)

Chez la daurade :

Azote poisson entier ~ 3 % du poids vif ($\times 6,25 = 19$ % protéines),

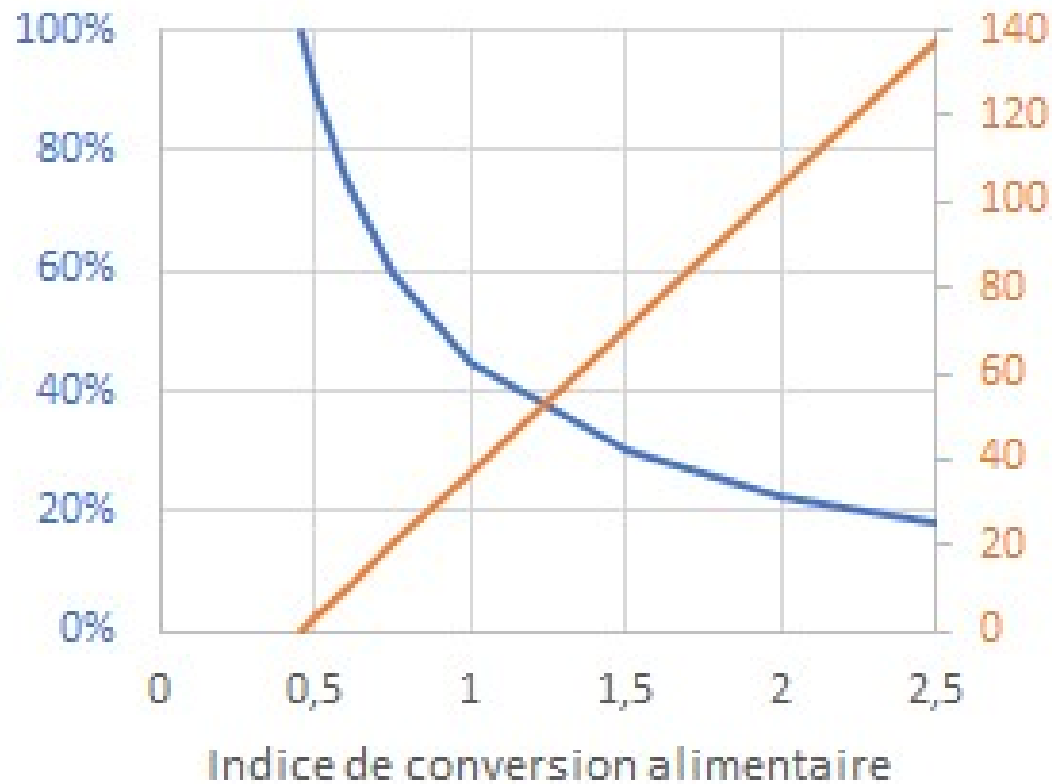
~ 3 % de renouvellement naturel de l'azote par jour,

soit ~ 0,9 g d'excrétion azotée par kg de poisson par jour en « maintenance ».

Fixation et rejet d'azote par des daurades nourries aux granulés



Fixation azote
(% azote aliment)



Rejet azote
/ kg prod. nette (g)

En pratique, pour être économiquement rentable : IC ~1,5 (1,3-1,7)

→ ~30 % Fixation N

→ ~70 % rejet N soit ~71 g par kg de production nette

Consommation d'eau liée aux rejets d'ammoniac et de CO₂ et à la consommation d'O₂



Daurades nourries aux granulés

				Consommation d'eau	
	/ kg aliment (g)	/ kg prod. nette (g)	Concentration max. (mg/L)	/ kg aliment (m³)	/ kg prod. nette (m³)
	Rejet				
N-TAN (NH ₃ + NH ₄ ⁺)	31	47	1,0	31	47
CO ₂	871	1306	15	58	87
	Consommation O ₂				
	633	950	3,0	211	317

Gestion des rejets dissous et de l'O₂ en élevages conventionnels

Mode d'élevage	Élimination ammoniac	Élimination CO ₂	Source O ₂
Cage en milieu ouvert	Dilution	Dilution	Milieu aquatique
Bac en circuit ouvert *	Dilution	Dilution	Milieu aquatique + gaz artificiel
Bac en « circuit fermé »**	Conversion bactérienne en nitrate (NO ₃) non toxique	Dégazage + eau neuve	Gaz artificiel

* 1 à 2 renouvellements par heure en eau neuve

** 2,5 à 5 renouvellements par jour en eau neuve (recyclage de l'eau pour raison thermique).
En pratique, le circuit fermé est réservé à l'élevage des alevins (système coûteux).

Finalité : optimisation du rendement et de la conversion de l'aliment,
Aucun réel recyclage des rejets (dissous et - aussi le plus souvent - solides).

Gestion de l'ammoniac et des gaz dissous en circuit fermé



Biofiltre bactérien
 $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3$



Tour de dégazage du CO_2



Cuve d' O_2 liquide

Comparatif élevages porcs et poissons en France

	Porcs	Poissons
Consommation/an	2,25 MT (34 kg/pers.) ^a	1,65 MT ^d (25 kg/pers.)
Production élevage/an	2,3 MT ^a = 102 % conso.	45.200 T ^e = 2,7 % conso.
Rejet azote/T	52 kg ^{bc}	28-86 kg ^f
Épandage azote ^c	≤ 170 kg/ha/an	-
Export azote culture ^c	Prairie foin 75 kg/ha/an Maïs grain 264 kg/ha/an	-

^a www.la-viande.fr

^b Porc à l'engraissement.

^c Réseau Mixte Technologique (RMT) « élevage et environnement » dans Rey & Lobry (2017),

^d Agrimer (2016),

^e <https://agriculture.gouv.fr/la-pisciculture-production-et-consommation>

^f D'après les fiches techniques des aliments Biomar pour le grossissement des poissons(truite, bar, daurade, maigre).



Bretagne, France (<http://www.internationalnews.fr>)

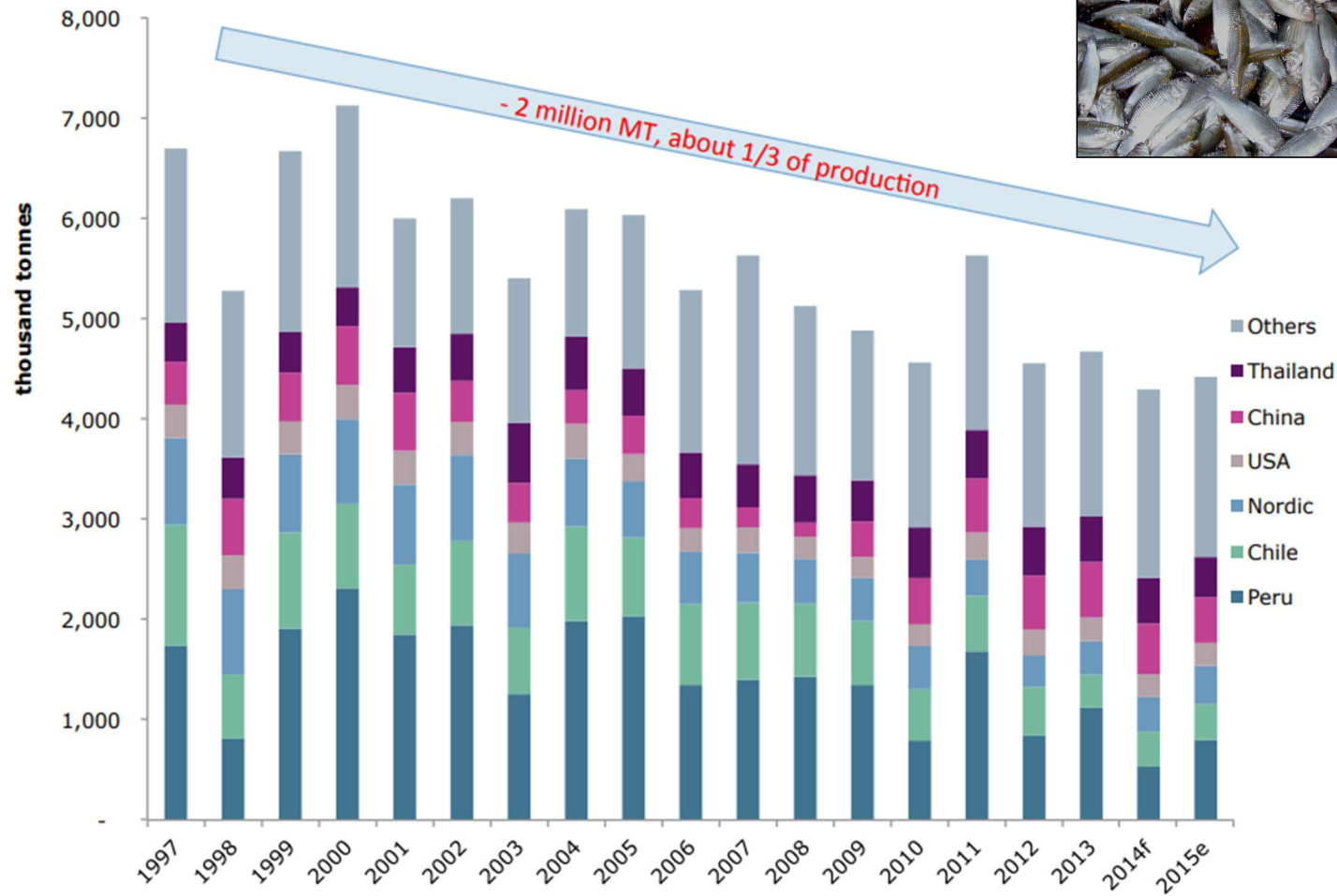


Qingdao, China (<http://www.scmp.com/news/china>)



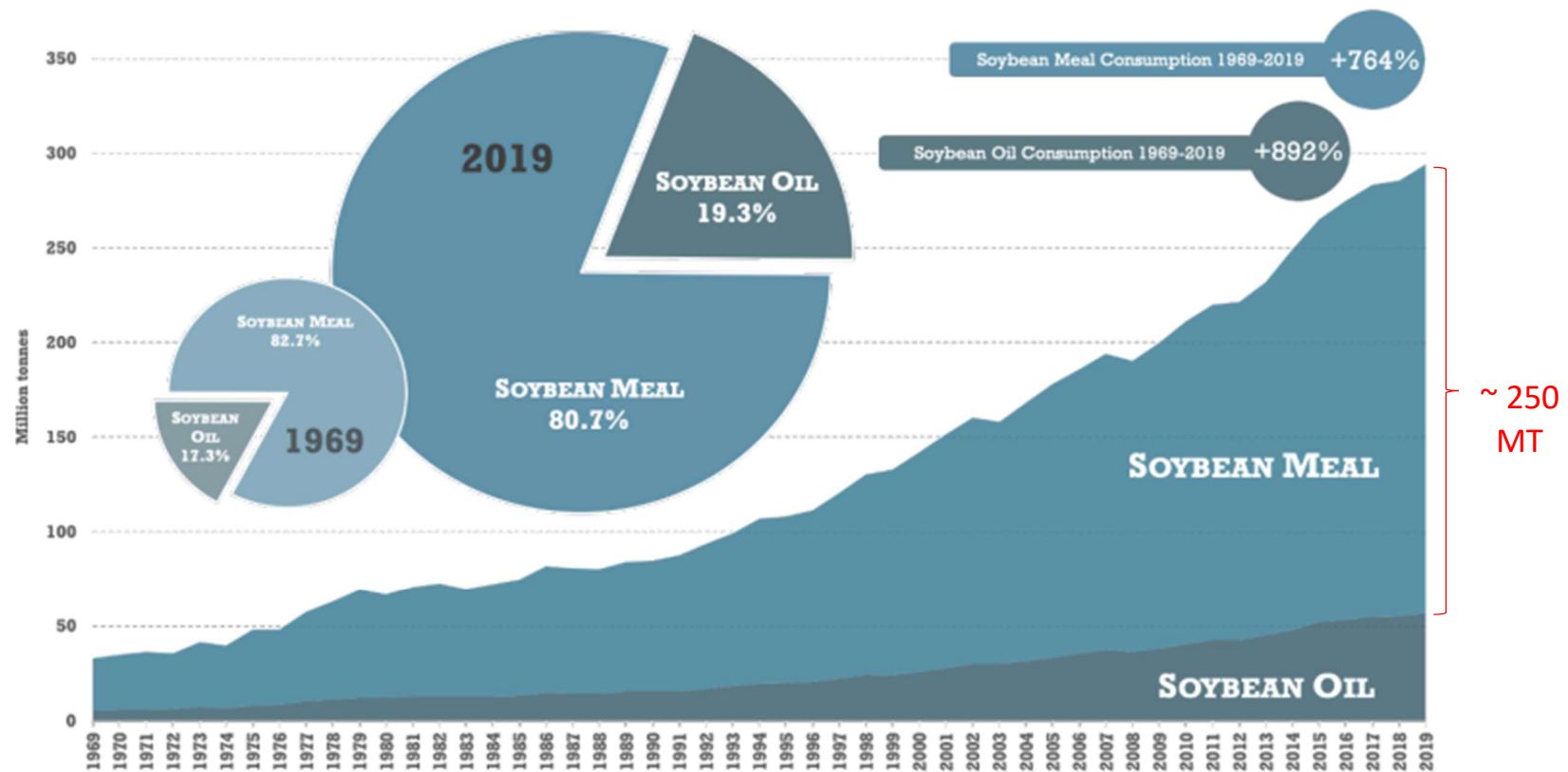
Palavas-les-flots, France

Fishmeal production (1997-2015)



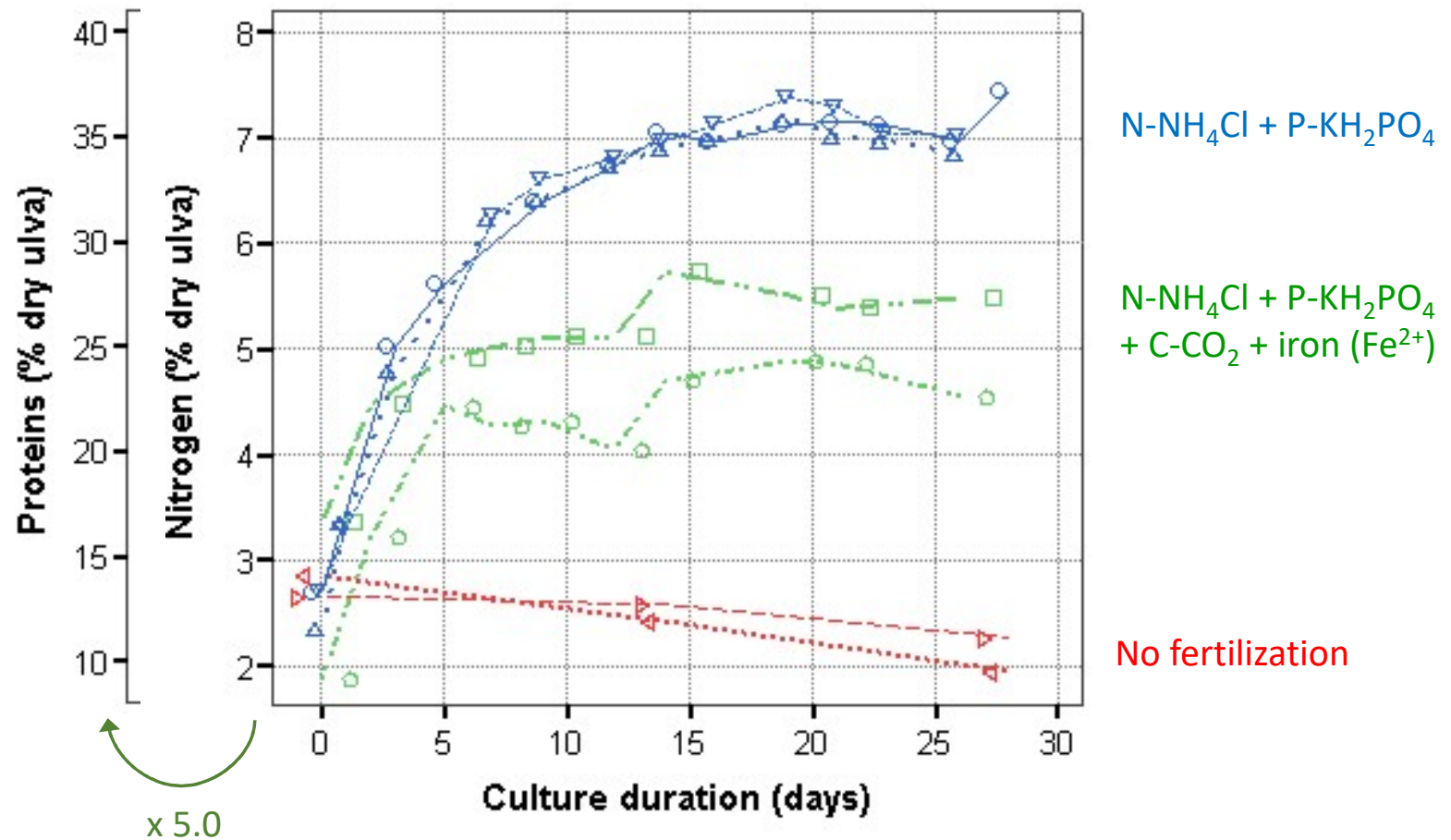
(Nikolik, 2015)

Global soybean meal and soybean oil consumption (1969-2019)



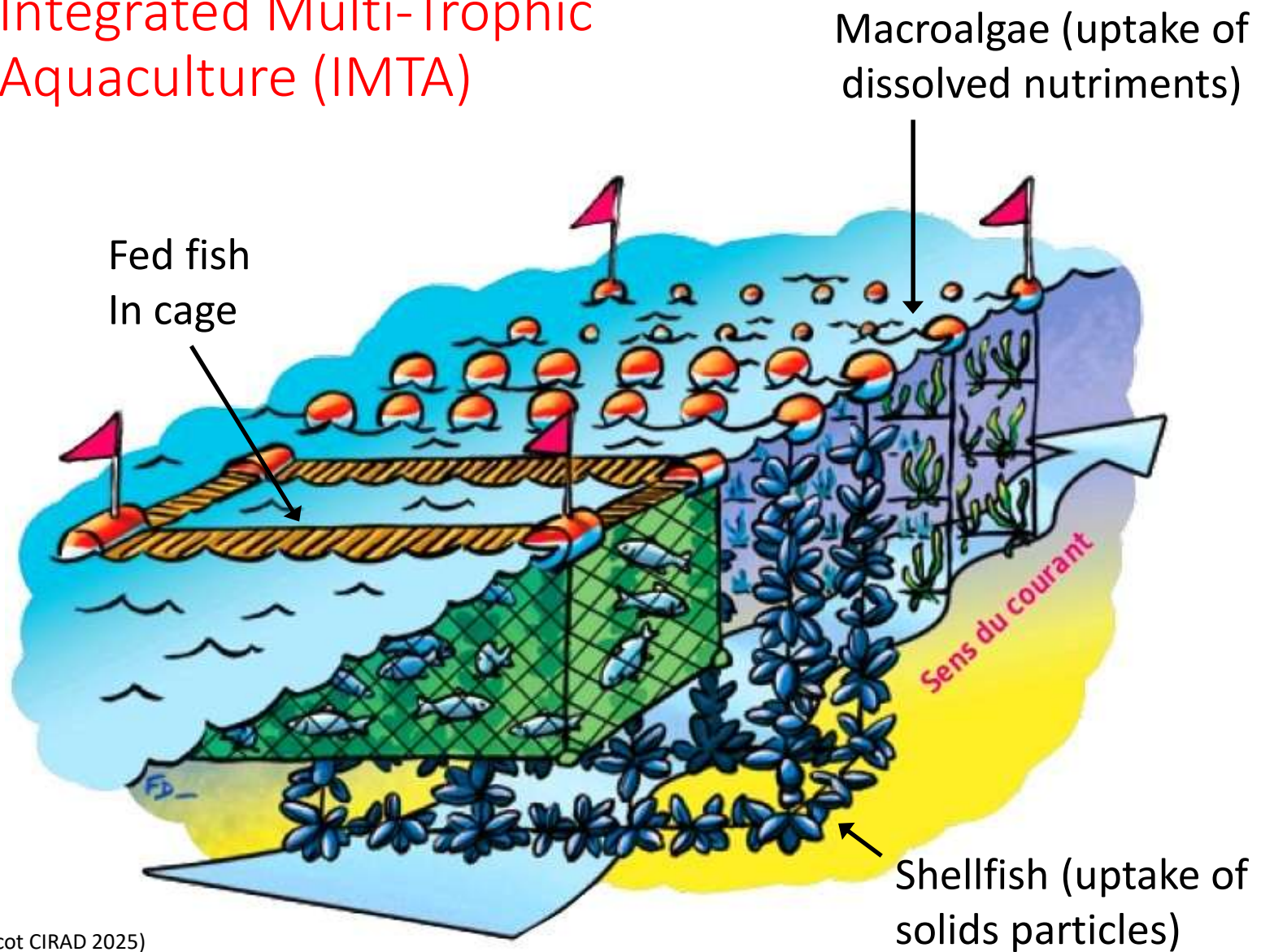
(USDA-FAS in De Maria et al., 2020)

Kinetics of the nitrogen enrichment of ulva



Ifremer

Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)



IMTA for intensive production and waste/nutrient conversion into a harvestable products

System	Species	% N retention	References
Fish	<i>Sparus aurata</i>	20	Neori et al. (2000)
Macroalgae	<i>Ulva lactuca</i>	32	
Total		52	
Fish	<i>Sparus aurata</i>	20	Neori et al. (2000)
Macroalgae	<i>Ulva lactuca</i>	^(a) 32	
Abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	12	
Total		32	
Shrimp	<i>Penaeus vannamei</i>	21	Wang (2003)
Microalgae	<i>Chaetoceros sp.</i>	^(a) 50	
Oyster	<i>Crassostrea virginica</i>	7	
Total		28	
Fish	<i>Sparus aurata</i>	26	Shpigel et al. (1993)
Bivalves	<i>Crassostrea gigas</i> / <i>Tapes semidecussatus</i>	14,5	
Macroalgae	<i>Ulva lactuca</i>	22,4	
Total		62,9	
Fish	<i>Oreochromis niloticus</i>	42	Own observation
Macrophyta	<i>Lemna minor</i>	15	
Total		57	

^(a): This product will not be harvested and directly re-used within the system, therefore, it is not included in the total harvest.

(after Schneider et al., 2005)

« Bioremédiation » des rejets dissous des poissons par la culture d'ulves en bassins de terre à la Ferme Marine du Douhet





Culture d'ulve à la Ferme Marine du Douhet

Fish seaweed integrated culture system

Culture of *Ulva rigida* in earthen pond

and seabream culture in recycling aquaculture system

Simulation of the nitrogen removal (theory)

1) Nitrogen excreted from fish

Feed / day (kg)	100
Feed / year (T)	36,5
Feed Conversion Ratio	1,3
Fish production / year (T)	28,1
Protein content in feed (T)	45%
Protein given / year (T)	16,4
Protein content in fish (% wet weight)	18%
Protein retention by fish / year (T)	5,1
Protein retention by fish (% feed proteins)	30,8%
Excreted proteins / year (T)	11,4
Excreted proteins (% feed proteins)	69,2%
Protein:nitrogen ratio in fish feed	6,25
Excreted nitrogen / year (T)	1,8
Excreted nitrogen / day (kg)	5,0

kg feed/kg fish production

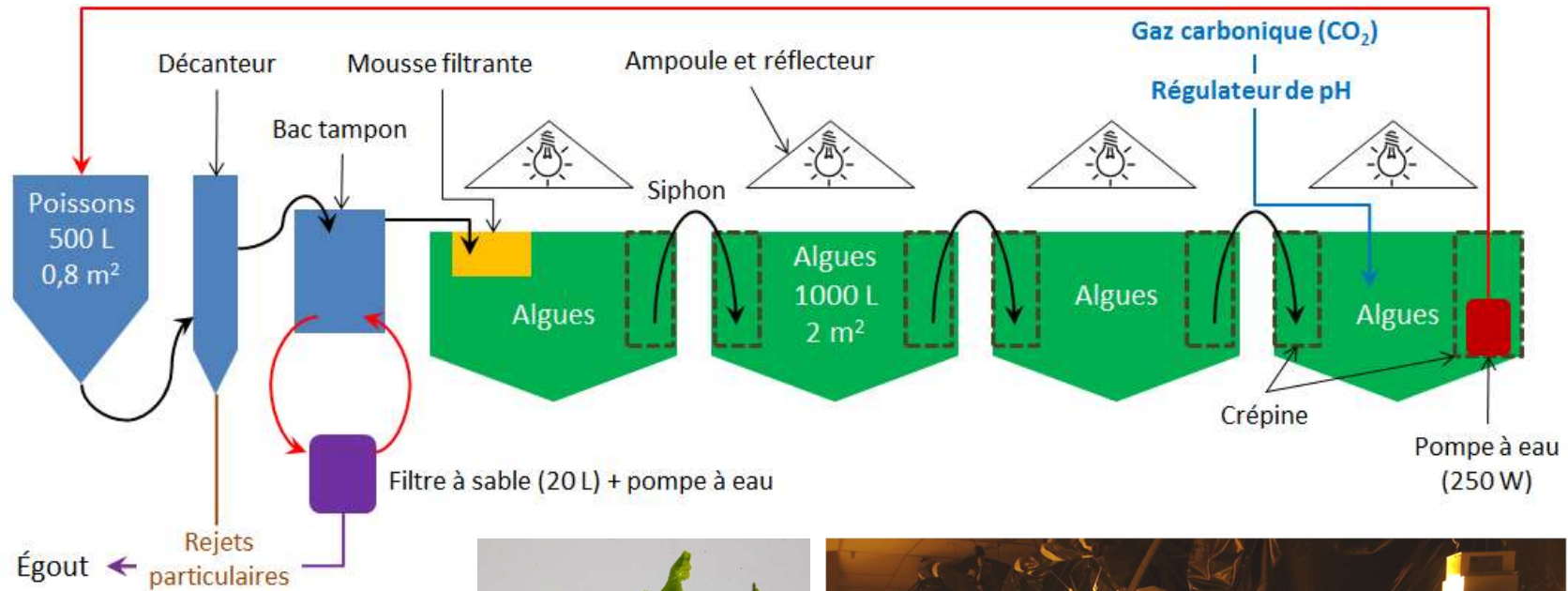
T = ton

2) Ulva production

Fresh ulva production/m²/day (g)	100,0
Dry Matter (% fresh weight)	23%
Dry matter/m ² /day (g)	23,0
Nitrogen content in ulva (% DM)	5,0%
Protein:nitrogen ratio in ulva	6,25
Protein content in ulva (%DM)	31,3%
Nitrogen fixed by ulva/m ² /day (g)	1,2
Cultivation area (m²)	4334
Fresh ulva production / day (kg)	433
Dry ulva production / day (kg)	100
Fresh ulva production / year (T)	158
Dry ulva production / year (T)	36,4

= ulva meal

Ulve unique filtre biologique : le dispositif expérimental

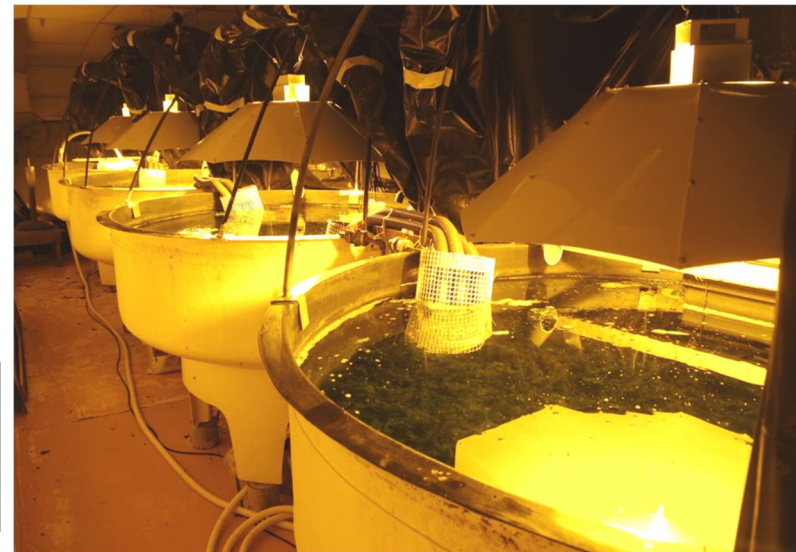


CIRAD
IFREMER
COLDEP

Ulve
(*Ulva rigida*)

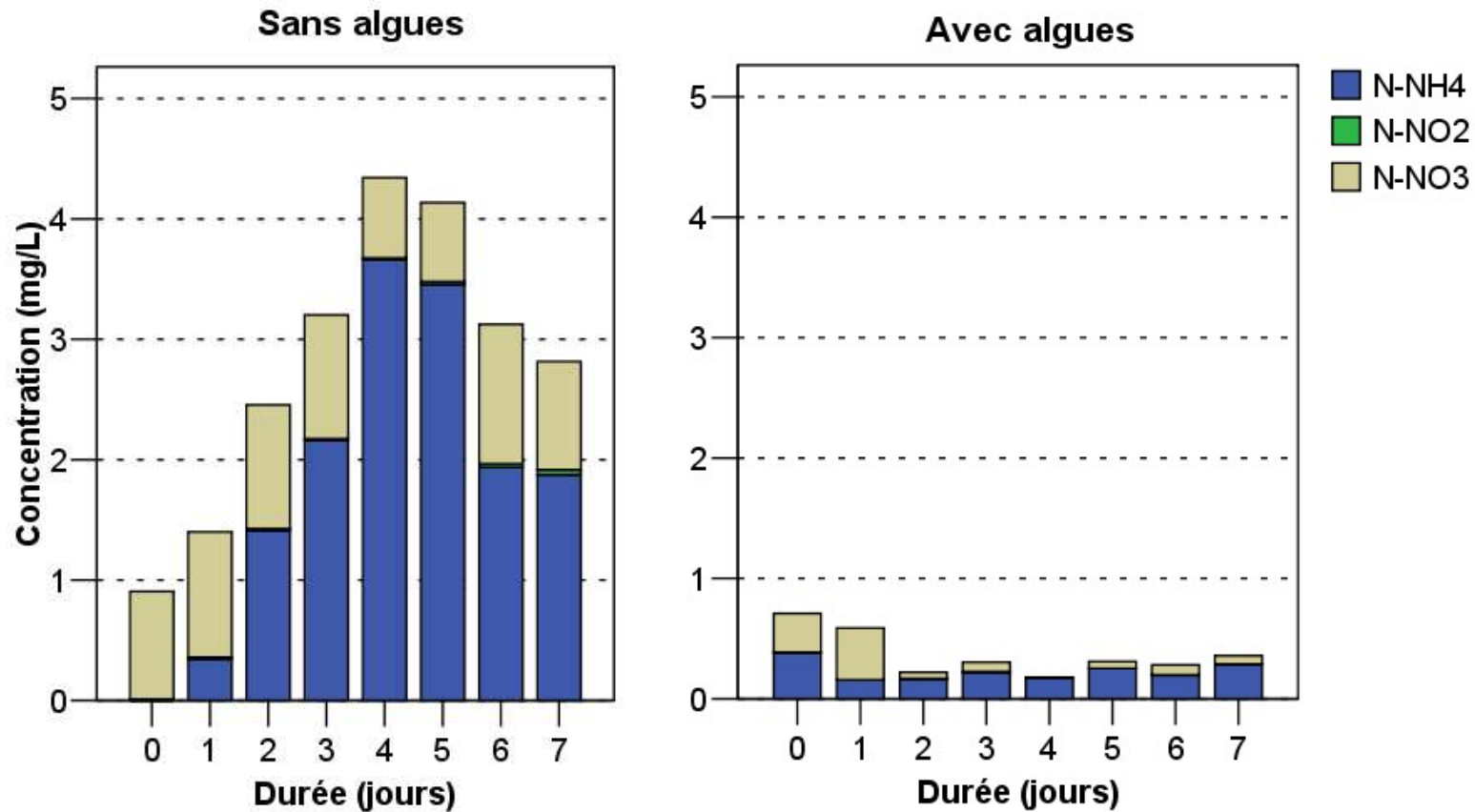


Muge
(*Liza ramada*)



Intégration muges + ulves

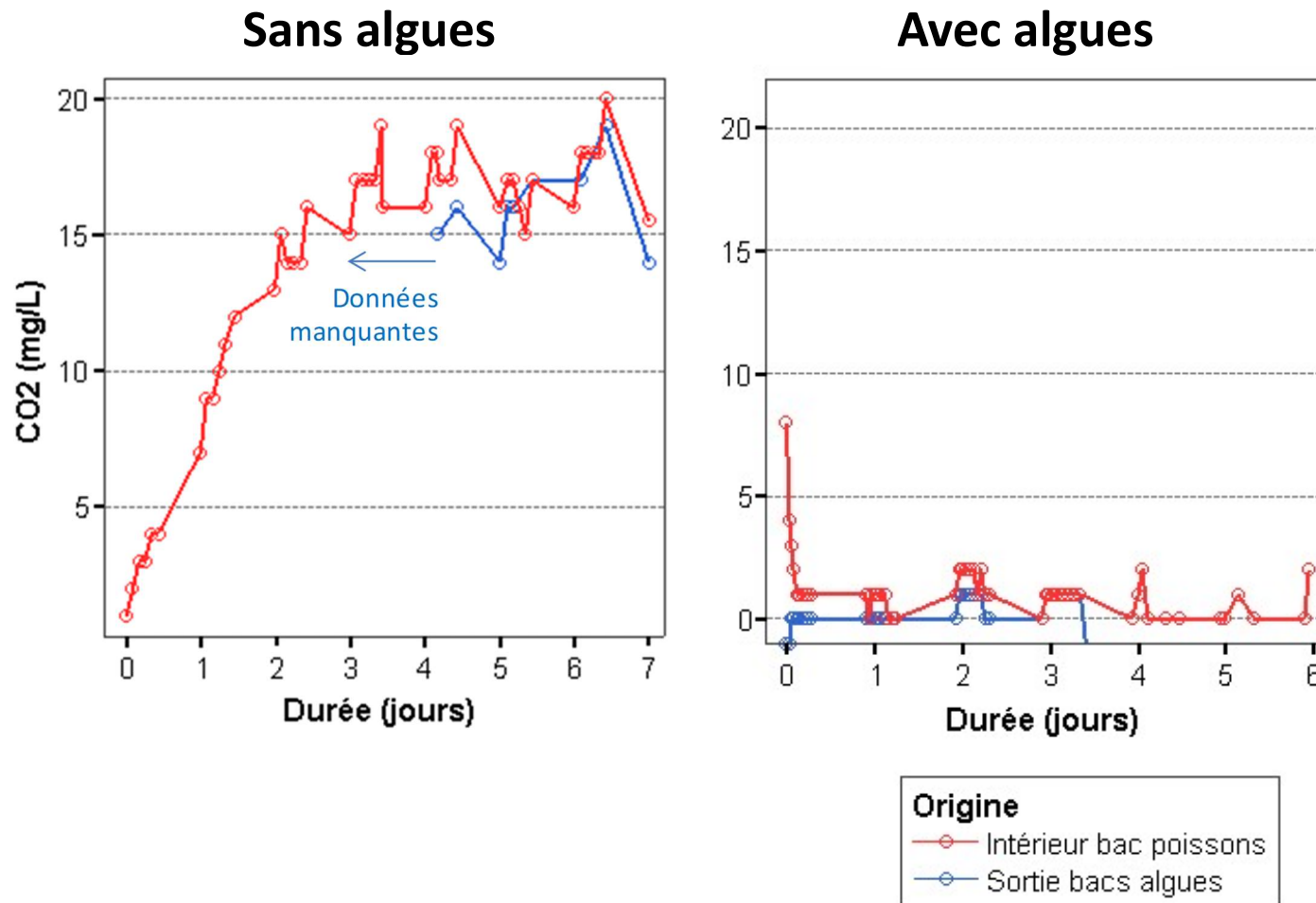
Azote à la sortie du bac poissons avant le 1^{er} nourrissage du jour



➤ Bonne absorption de l'azote par les algues

Intégration muges + ulves

CO₂ dissous dans le bac poissons et en sortie des bacs d'algue
(mesures relevées à la main)



In Pond Raceway System (IPRS)

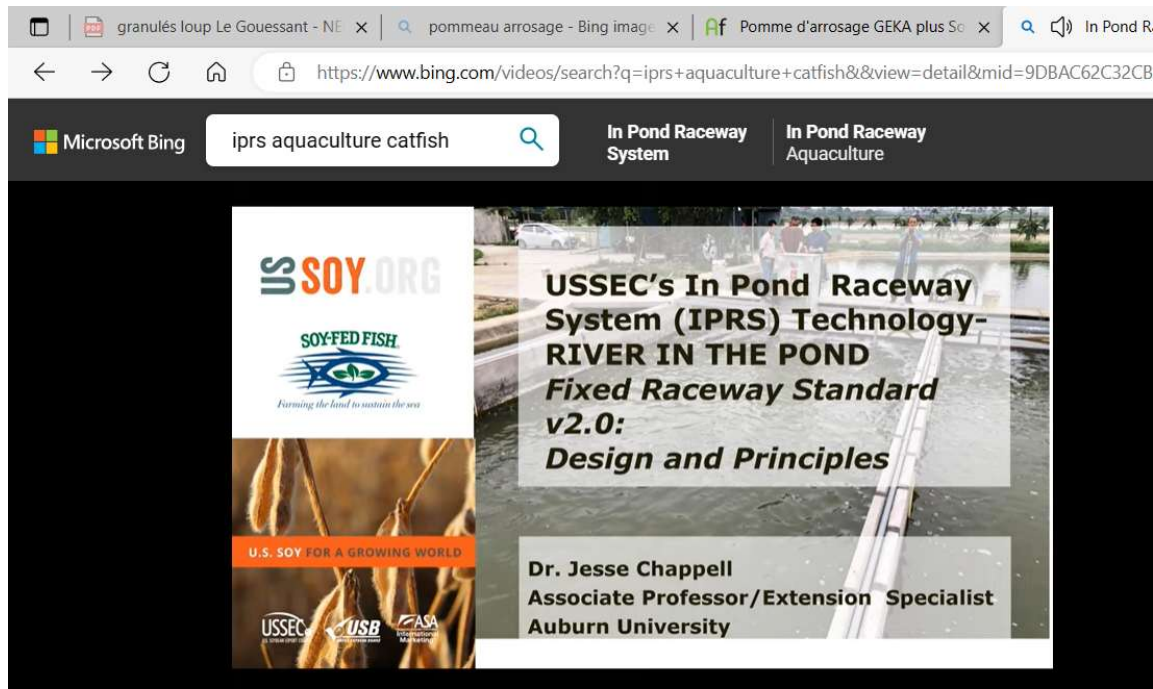
- Intensive fish tank (100-200 kg/m²) fed with pellets combined with relatively extensive pond (10-50 t/ha),
- Low electric cost (use of airlift) and low maintenance,
- Recycling loop through the pond :
 - limited water exchange hence limited waste out of the system,
 - Recycling wastes with associated productions hence optimized feed efficiency.

Reported use with channel catfish, carps and tilapia stocked in the tanks

[Producing Fish Sustainably through In-Pond Raceway Systems \(IPRS\) - U.S. Soy \(ussoy.org\)](#)



In Pond Raceway System (IPRS)



[WEBINAR - In-pond raceway systems \(IPRS\), Dr. Jesse Chapell - Bing video](#)

[\(48\) Advanced Aquaculture System Part 2: In-Pond Raceways - YouTube](#)

[\(48\) AN AQUACULTURAL REVOLUTION IN CHINA - YouTube](#)

Brown T.W., Chappell J.A. & Boyd C.E. (2011) **A commercial-scale, in-pond raceway system for Ictalurid catfish production.** *Aquacultural Engineering* **44**, 72-79.

Arana E., Chappell J., Hanson T., Amezquita J., Romellon F., Quiñonez A., Lopez G. & Quintero H. (2018) **Commercial demonstration of in-pond raceways, tilapia production results show technology's potential.** Global Aquaculture Advocate, <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/commercial-demonstration-of-in-pond-raceways/>.

Li W., Cheng X., Xie J., Wang Z. & Yu D. (2019) **Hydrodynamics of an in-pond raceway system with an aeration plug-flow device for application in aquaculture: an experimental study.** Royal Society Open Science **6**, 182061.

Projet IPRS à la Ferme Marine des Aresquiers (Vic-la-Gardiole) en 2022



Cépralmar



Philippe Cacot
Auto-entrepreneur

+ Participation
Aurélien Cacot
(expert électronique)





Air blower + air compressor

Floating pellets for tilapia
32-8% proteins-lipids

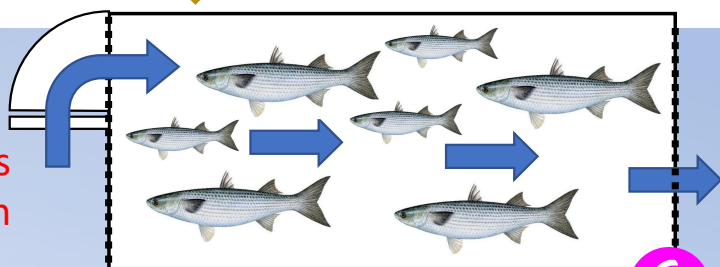
Floating tank 10 m³ (L5 x W1,7 x H1,2 m)
Mullet up to ~70 kg/m³ in the tank
i.e. ~ 7 tons/ha in the pond

Floating tank and trophic chain in the pond

Limited water inlet
Compensation of the loss

Airlift 250 watts
+ 100 w additional aeration

Water circulation
~ 20 vol/h $\uparrow O_2 + \downarrow CO_2$



Dissolved wastes
 NH_3 , urée, PO_4 , CO_2

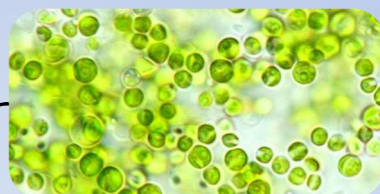
Pond
~1000 m², ~ 2000 m³

Solid wastes
feces, uneaten feed



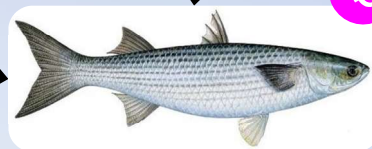
Oyster

(too low salinity for *Crassostrea gigas*)



Phytoplankton

$CO_2 \rightarrow O_2$



Sediment





Ex : *Chelon labrosus*

Potential interest of the grey mullets for aquaculture

Broad family (Mugilidae)

17 genus and 60 species world wide spread

Valuable fish

- Tasty and none bony flesh,
- Expensive bottarga (dried salted ovaries)
- Body weight reaching several kilos

Filtration ability

- Consumption of plankton ($\geq 20 \mu\text{m}$) and suspended solids,
 - Sieving sediments (10-15 times body weight per day),
- Cleaning of the environment

Hi tolerance to water quality

- Salinity (freshwater to seawater)
- Temperature (2 – 33°C)
- Dissolved Oxygen (air breathing) & CO₂
- Ammoniac

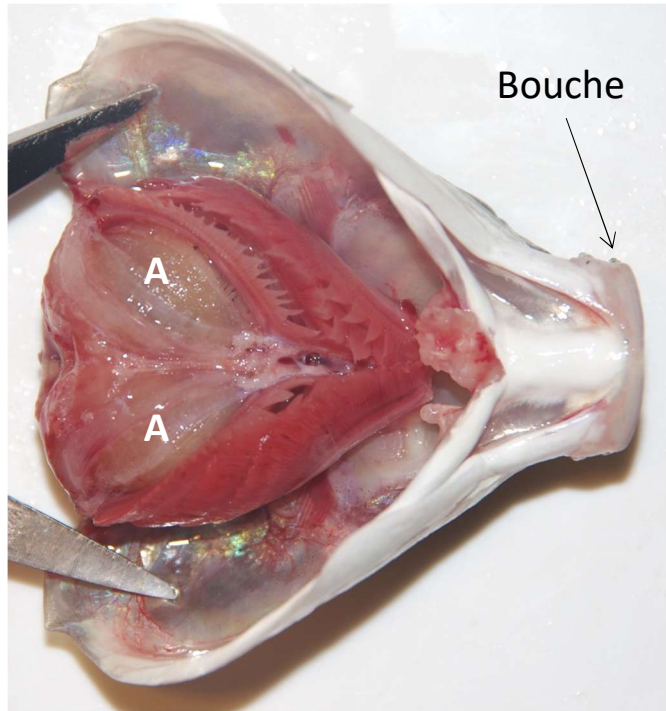
Omnivorous regime

- Consumption of vegetable matters
 - Moderate protein requirement
- Moderate feed cost & limited nitrogen and phosphorus waste

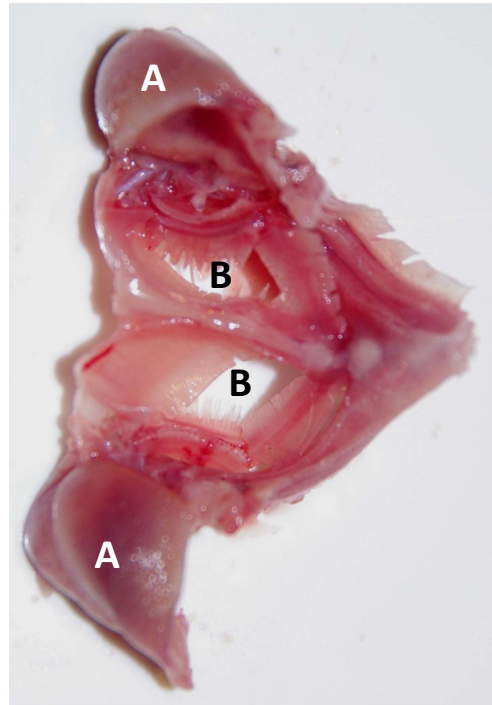
Already farmed

- Egypt ~ 350.000 tonnes/year in the Nil Delta
- Mostly in extensive polyculture ponds
- Mostly with wild fingerlings

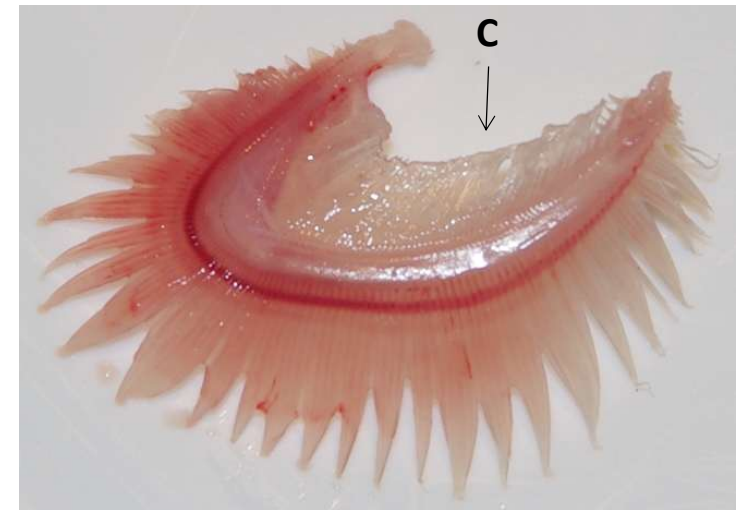
Organe pharyngo-branchial du muge (*Liza ramada*)



A : sortes de langues situées dans les cavités branchiales (B).
Elles semblent frotter contre les arcs branchiaux



Organe utilisé par le poisson pour tamiser les sédiments. Il permettrait également au poisson de respirer de l'air.



Un des arcs branchiaux antérieurs.
Les branchiospines (C) sont nombreux, fins et arrangés en peigne.

La poutargue : le « caviar » des mulets



[Roe mullet egg hi-res stock photography and images - Alamy](#)



<https://youtu.be/-TLahedEOL4>

À l'instar du caviar, la poutargue est devenue un mets recherché et cher. Face à la demande pour ce produit, les poches d'œufs sont souvent importées depuis la Mauritanie, le **Sénégal** et le Brésil. Actuellement, les mulets sont victimes de la surpêche, ce qui a fait de la poutargue un produit de luxe recherché.

[Poutargue — Wikipédia](#)

~165 €/kg en France [Poutargue de Port de Bouc Jumbo 170 - 180g](#)

10 m³ floating tank

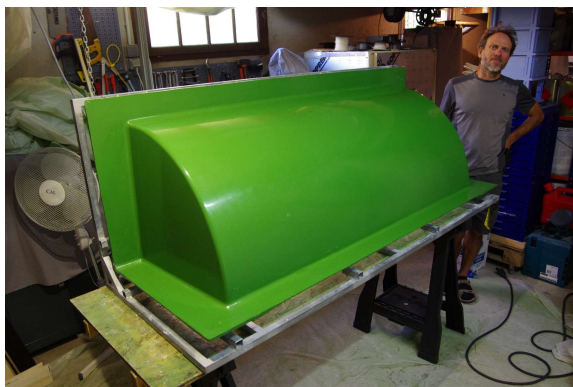


<https://youtu.be/wJXFwJoTjJM>

Details of the making of the floating tank



RFP mold for the pieces of the tank



RFP mold for the airlift hood



Assembly (bolting) of the 4 pieces (2,5 m³ water per piece)



Stainless wire net for the front and back sides



Removable panel to close the tank volume



Details of the floating tank



Fast water flow,
about 5 m/30 seconds at the surface



Fish harvest on the floating tank

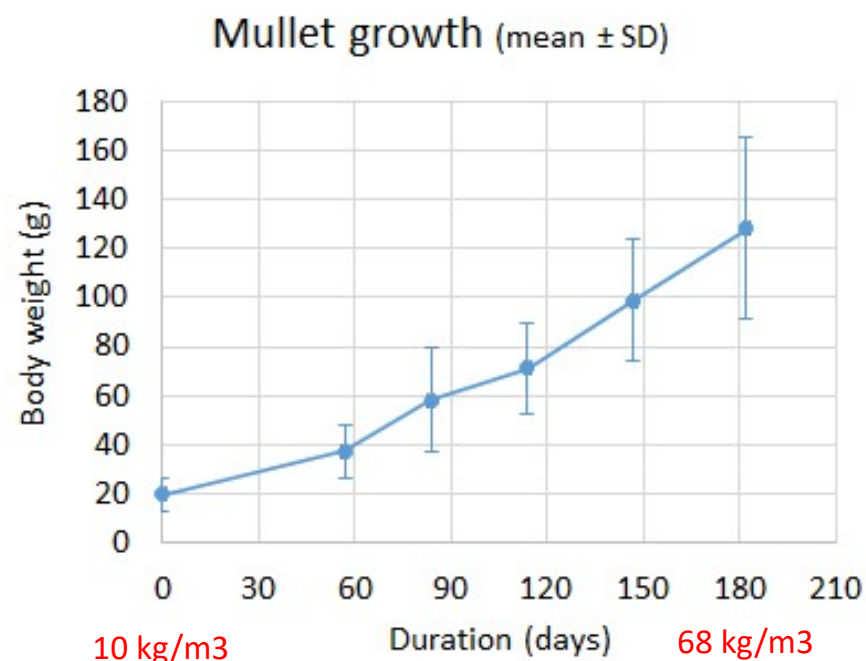


Mobile frame with net
to regroup fishes



Results of the mullet growth in the 10 m³ floating tank

P. Cacot CIRAD 2025



Thin lip grew mullet *Liza ramada*

Date	For each interval					From the beginning					
	SGR (%/day)	DWG (g/day)	Total feed (kg)	FCR	Feeding rate (%/day)	Duration (days)	SGR (%/day)	DWG (g/day)	Total feed (kg)	FCR	Feeding rate (%/day)
13/07/2022	1,10	0,31	147	1,48	1,70	57	1,10	0,31	147	1,48	1,70
09/08/2022	1,63	0,77	116	1,06	1,75	84	1,29	0,46	263	1,29	1,52
08/09/2022	0,69	0,43	147	2,06	1,46	114	1,13	0,45	411	1,51	1,50
11/10/2022	1,03	0,84	224	1,47	1,53	147	1,10	0,54	635	1,52	1,38
15/11/2022	0,77	0,84	299	1,86	1,43	182	1,03	0,60	934	1,63	1,31

Associated productions in the pond (1000 m²), out of the floating tank



Small brackishwater shrimp (*Palaemon varians*),
~ 2 kg/day collected during summer timer

Large mullets (*Liza ramada*)
(~ 50 kg pour 1000 m²) : good growth (to be determined)
and sexual maturation



Small marine fish
« jols » (*Atherina boyeri*)



Accumulation de mousse durant la nuit à la sortie du bullage du bac IPRS des muges



Mousse particulièrement retenue par le cadre de nourrissage flottant

Élevage de muges : biomasses estimées avec 1 bac flottant de 12,5 m³

Production	Achat/an				Vente/an				
	Qté (T)	Prix/kg (€)	Prix total (K€)		Qté (T)		Prix/kg (€)	Prix total (K€)	
Muges en bac	2,6	3,0	7,7	53%	5,0	44%	5	25,0	44%
Huîtres	1,0	5	5,0	34%	4,5	39%	5	22,4	39%
Moules	0,2	1	0,2	2%	1,1	10%	2	2,2	4%
Muges en bassin	0,2	3	0,6	4%	0,4	4%	5	2,2	4%
Crevettes	0,1	10	0,9	6%	0,3	3%	15	5,0	9%
Algues	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	2,6	-	14,5	100%	11,4	100%	-	56,8	100%

Paramètres de l'élevage des muges en bac	Valeur
Taux de rationnement/jour (% biomasse)	1,2%
Indice de conversion alimentaire	1,20
Protéines aliment (% granulés)	32%
Protéines muges (% poids vif)	16%
Taux de survie	95%
Densité maximale en bac (kg/m ³)	200
Intervalle entre récoltes partielles et restockage (jours)	90
Durée d'élevage efficace/an (mois)	10,0

Hypothèses : 25% du rejet azoté des poissons en bac est absorbé par chacune des productions associées, en considérant 25% pour chacune. Absorption en particulier via le phytoplancton.

← 213 kg/m³ avec le channel catfish

Élevage de muges : résultat financier estimé avec 1 bac flottant de 12,5 m³

Montants en K€

Intitulé	Muges en bac seuls		Muges en bac + productions associées	
Charges/an				
Equipements	2,8	12%	2,8	9%
Biomasses	7,7	33%	14,5	48%
Aliment muges	9,0	39%	9,0	30%
Electricité	1,0	4%	1,0	3%
Main d'œuvre	2,8	12%	2,8	9%
Total	23,3	100%	30,0	100%
Produits/an	25,0	100%	56,8	100%
Résultat/an	1,7	7%	26,8	47%
Investissement				
Total	48,1		54,8	
Durée (année)	11		2	
Retour (année)	20		4	

Conclusion test IPRS

- Système prometteur, du moins avec les muges : croissance et efficacité alimentaire bonnes.

Recommandations, suggestions : sécuriser le système

- Récoltes régulières (1 fois / 1-3 mois) pour « exporter » de la matière organique du système et ainsi stabiliser sa « respiration » et limiter le risque de crash.
- Attention particulières aux petites crevettes : possiblement la principale production dans les conditions testées (eau saumâtre) ; attention à la consommation excessive du phytoplancton par les larves de ces crevettes en été (reproduction massive) ; nécessaires récoltes adaptées à la croissance de cette biomasse.
- Ajouter au système un coquillage filtreur pour consommer (raisonnablement) le petit phytoplancton. Attention : adéquation de l'espèce de coquillage avec la salinité et l'oxygénation de l'eau (coquillages dans un bac IPRS spécifique ?).
- Toutes espèces animales confondues, préciser le ratio biomasse nourrie / biomasse « bioremédiant » pour une bioremédiation optimale (ratio de 1 voire supérieur ?).
- Viser un maximum de 5 T/ha de biomasse animale totale pour commencer ?
- Sécuriser le système par un ou plusieurs aérateurs mécaniques contrôlés par les concentrations en O_2 et CO_2 (sondes, possiblement via le pH pour le CO_2).

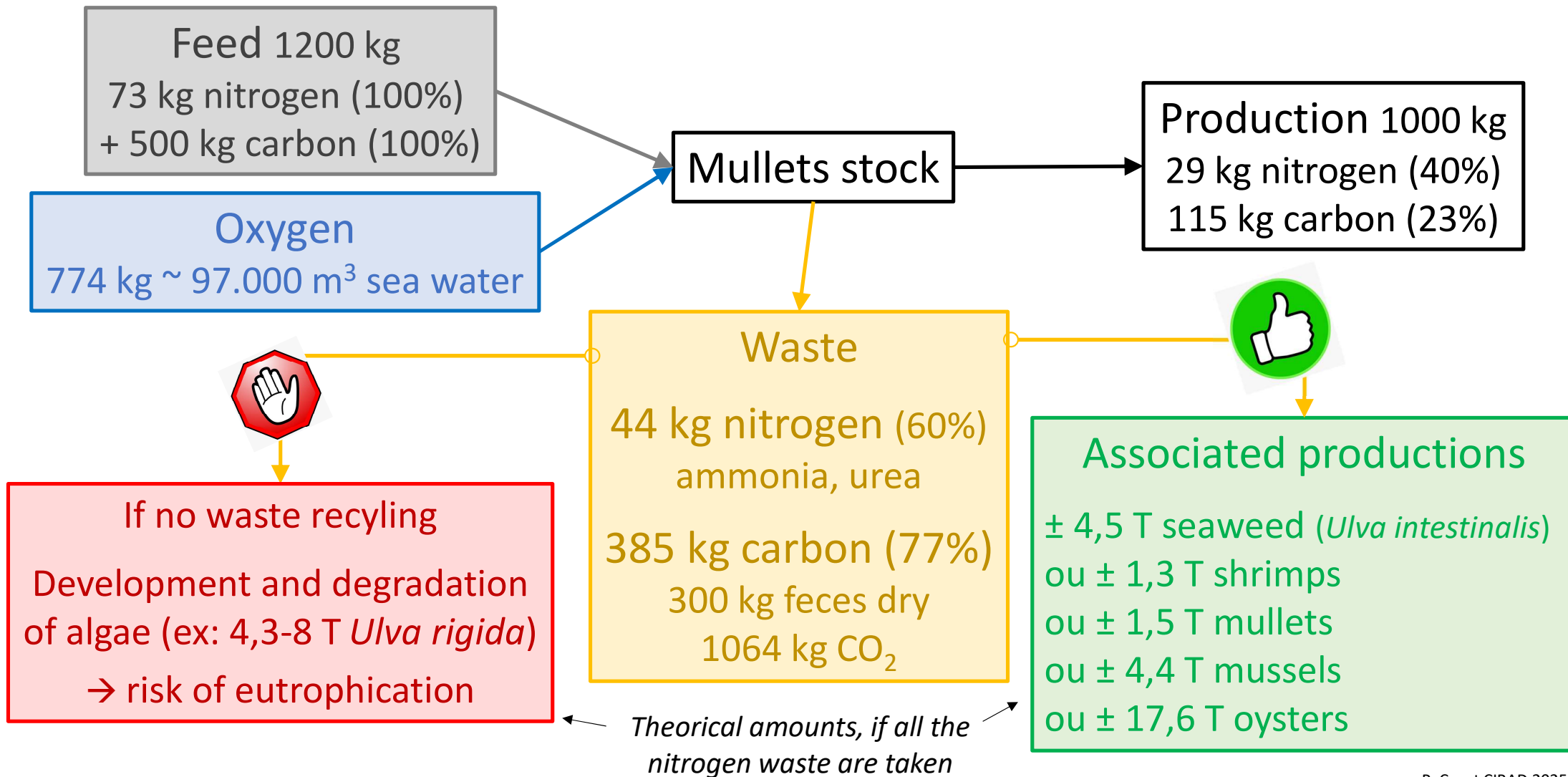
Merci de
votre
attention



(Dessiné par Sylvie Hussenot dans Hussenot et Richard 2010)

Annexes IPRS

Nutrients flux to produce 1 T of grey mullet (estimate)



Équipements pour 1 bac flottant de 12, 5 m³ (prix TTC à actualiser)

Équipement	Prix/bac (K€)	Amortissement		
		Durée (an)	Prix/an (€)	
Ponton flottant	5,3	10	529	19%
Bac stratifié	6,3	10	626	22%
Équipements associés au bac	5,6	10	558	20%
Équipements amovibles	1,3	10	133	5%
Réseau d'air	1,0	7	139	5%
Nourrisseur	0,9	10	92	3%
Electrification	1,2	10	121	4%
Automate	6,0	10	600	21%
Total	27,6	-	2 798	100%

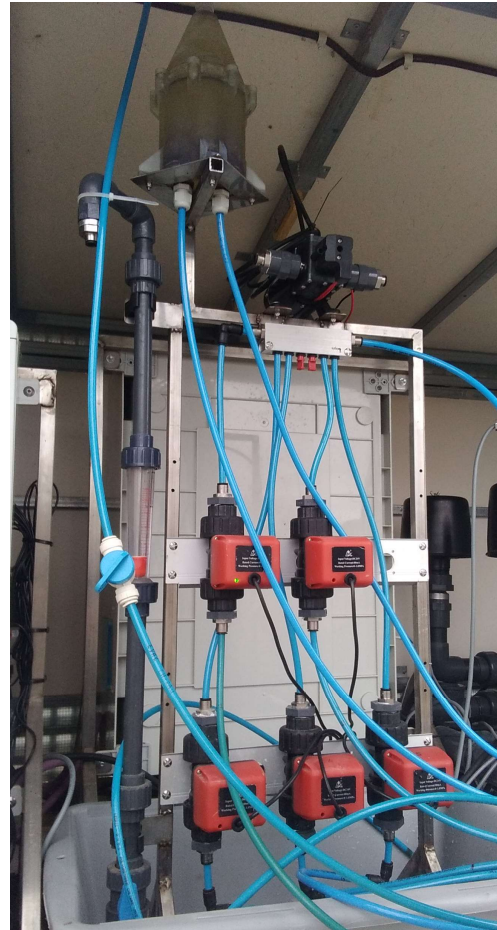
2,2 K€/m³

Note : possible mutualisation d'une partie des équipements avec d'autres bacs (ex : automate).

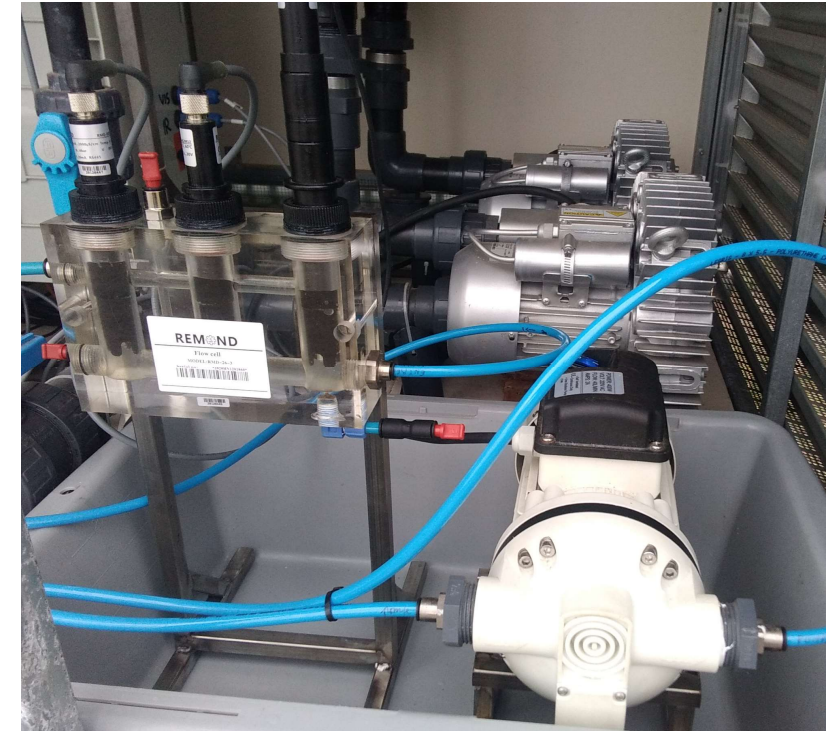
Water quality monitoring with a « multiplexed sensors system »



Single probes set (O₂, pH, salinity) in a compartment receiving water alternatively from →



→ 5 electric valves, 5 water pipes (Ø 8mm, L15-25m) and 5 water sampling points with check valves, through →



→ a single water pump (400 W self-priming pump with membrane)

Historique des mesures

Inside the mullet tank

Plage de temps

Données

Point de mesure:

Point 1

Dernière mesure:

10/01/2023 - 07:15:31

O₂(mg/L): 6.61

O₂(%): 60.2

pH: 8.58

Température(°C): 10.2

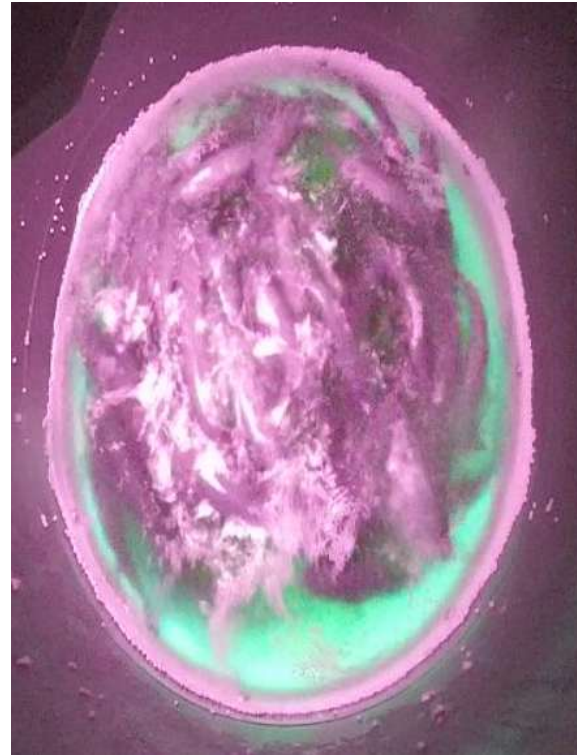
Conductivité(mS/cm): 24.84

Salinité(mg/L): 17018

Abscisses en heures

P. Cacot CIRAD 2025

Automatic fish feeding to satiety (managed by the PLC)

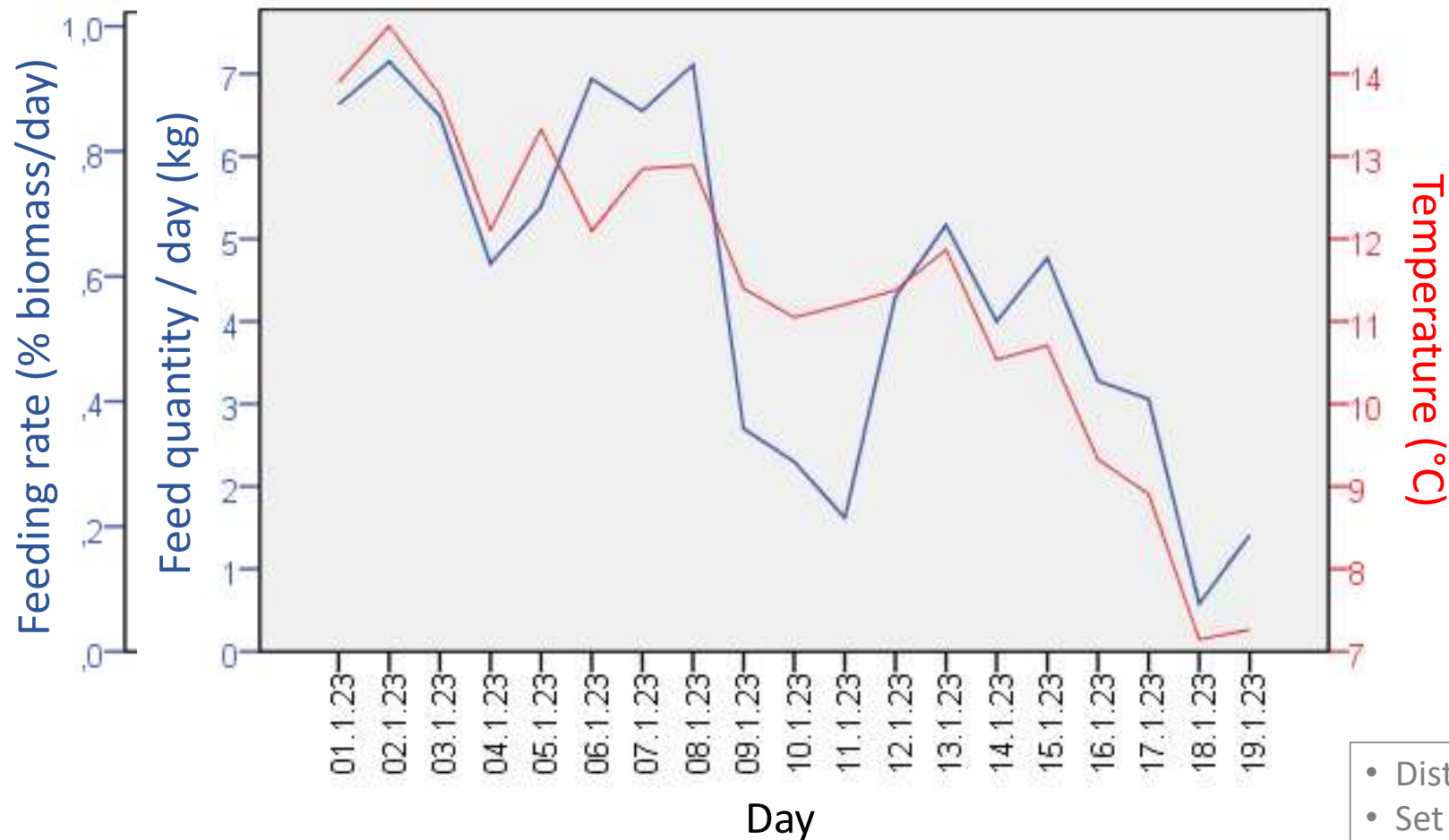


Mullet actively feeding
→ Feeder ON



Left over floating pellet
→ Feeder OFF

Feed consumption and temperature



+ possible effect of the win and rainfall

- Distributions from 7AM to 7PM,
- Set feed quantities 5 or 7 kg/day,
- Estimated biomass: 762 kg.