



La minéralisation des boues en aquaponie

Méthode et intérêt

Pierre Foucard

ITAVI – Service Aquaculture

www.itavi.asso.fr



Partenaires techniques



INRAE



Financeurs

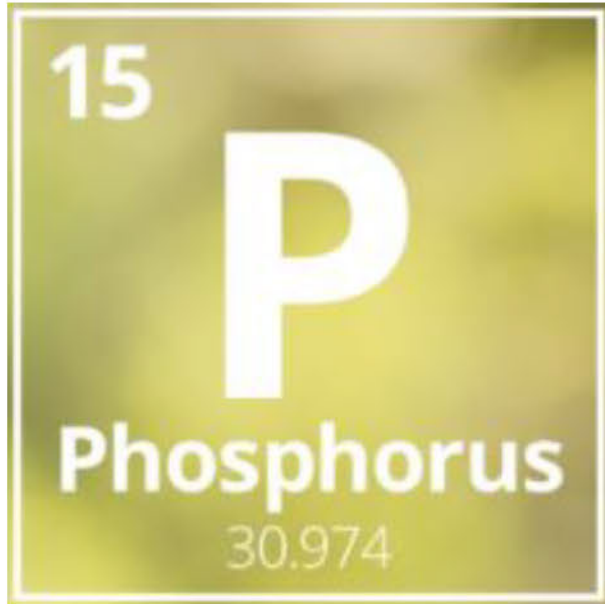


Notions préliminaires



La notion « d'élément limitant »

En aquaponie, le P est souvent limitant par rapport à N (quand % protéines >35%)



Ne pas en apporter est le but en aquaponie (eutrophisation, ressource limitée)



Ne pas en apporter implique dans certains cas une moins bonne phyto-épuration du N et donc une accumulation de N au cours du temps
→ Problématique en système « couplé » sans renouvellement en eau



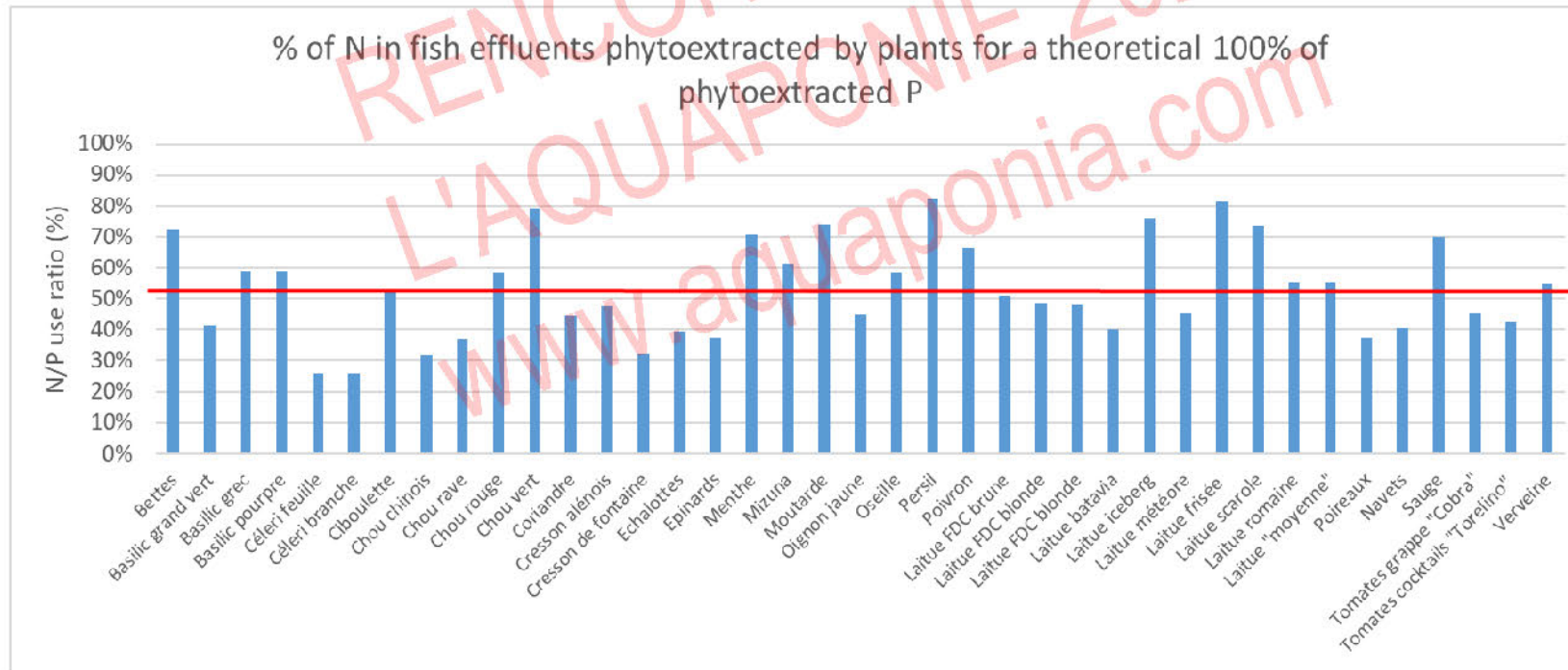
Piste d'étude clé: minéralisation anaérobie des boues piscicoles



L'intérêt de l'apport de phosphore complémentaire

Apporter du P complémentaire est intéressant:

- pour des situations où le ratio N/P est en faveur de N, ce qui implique une tendance à l'augmentation de la quantité de N dans l'eau
- pour aller plus loin dans la capacité phytoépuration et boucler les cycles de nutriments
- pour un aliment riche en protéines (40 à 50%) /poissons de haut niveau trophique et/ou pauvre en phosphore (<1%)
- pour des cultures de plantes gourmandes en phosphore (notamment plantes à fruits)
- dans un système découplé (pas de risques sanitaires vis-à-vis des poissons)

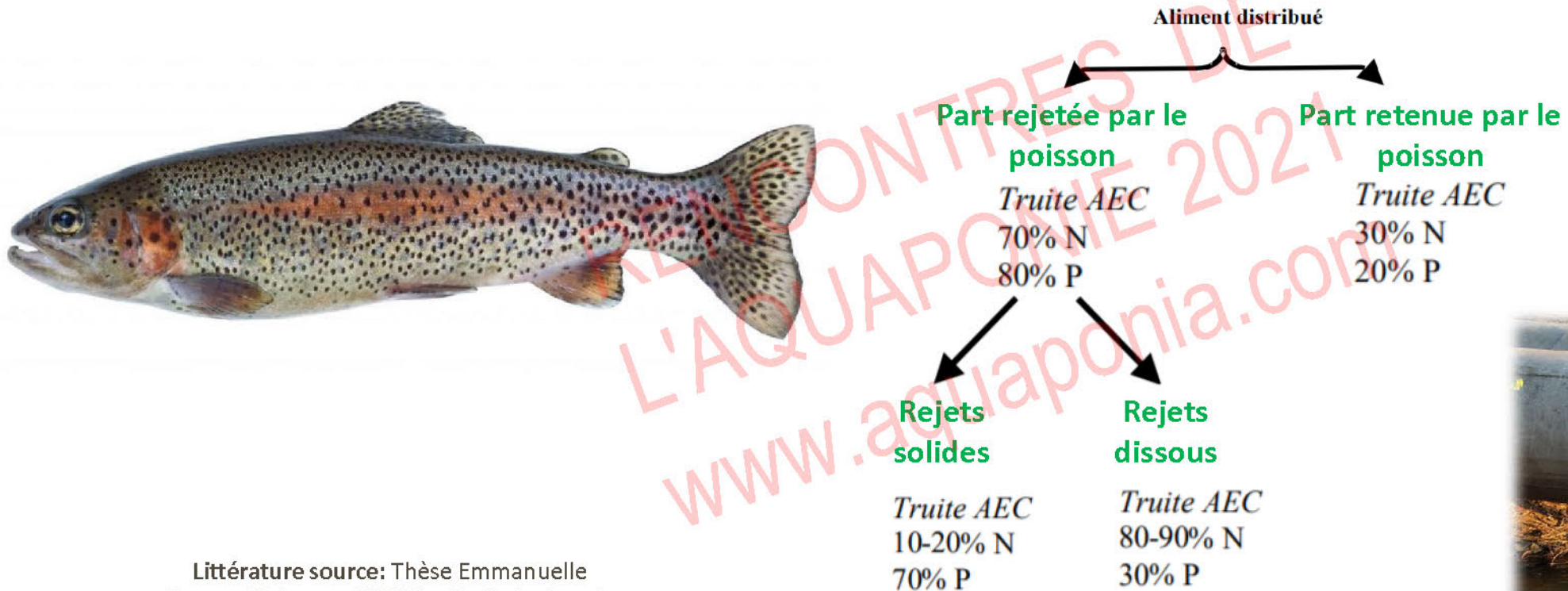


Minéraliser le phosphore pour le rendre disponible



Éléments de littérature

Proportions moyennes de N et P retenues et rejetées sous formes solides et dissoutes chez la truite



Littérature source: Thèse Emmanuelle Roque d'Orbcastel (2008) - Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets

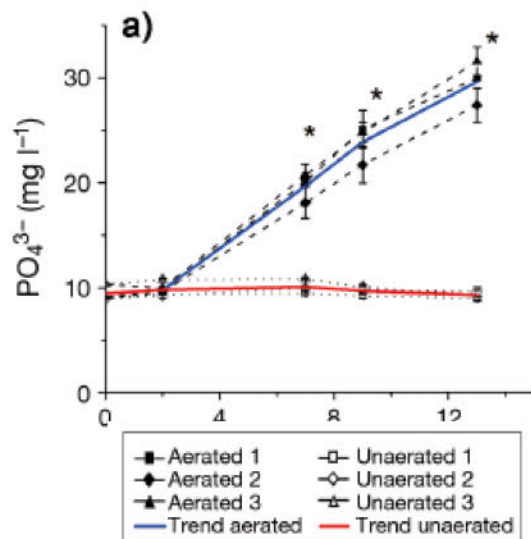


Minéraliser le phosphore pour le rendre disponible

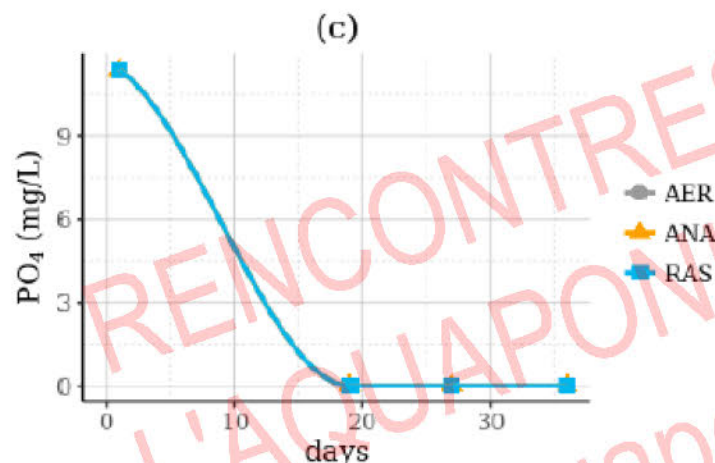


Éléments de littérature

Peu de données dans la littérature scientifique



Monsees et al 2017



Goddek et al 2018



Lennard 2010

14 à 30 jours de traitement pour une bonne minéralisation

→ **Constat:** pas forcément évident de gérer les volumes de boues liquides produites pendant 20 jours dans une ferme aquaponique de grande taille

→ **Peut-on faire plus court?**

- **Comment optimiser le processus ?**
- **Combien de temps le processus doit-il durer ?**
- **Pouvons-nous obtenir des concentrations de P plus élevées?**



Minéraliser le phosphore pour le rendre disponible



Principe



Enjeux mondial :

- P est une **ressource limitée** : la production d'engrais chimiques repose sur l'extraction industrielle de ce minéral qui n'est pas renouvelable et existe en quantité limitée
- Problème **environnemental/réglementaire** lié aux rejets de P (10 mg/L PO_4)

Que pouvons-nous apprendre de l'industrie du traitement des eaux usées?

Production de struvites par cette industrie: 3 étapes

- ✓ Solubilisation du P contenu dans les boues
- ✓ Précipitation du phosphore sous forme de struvite
- ✓ Digestion anaérobie des boues restantes



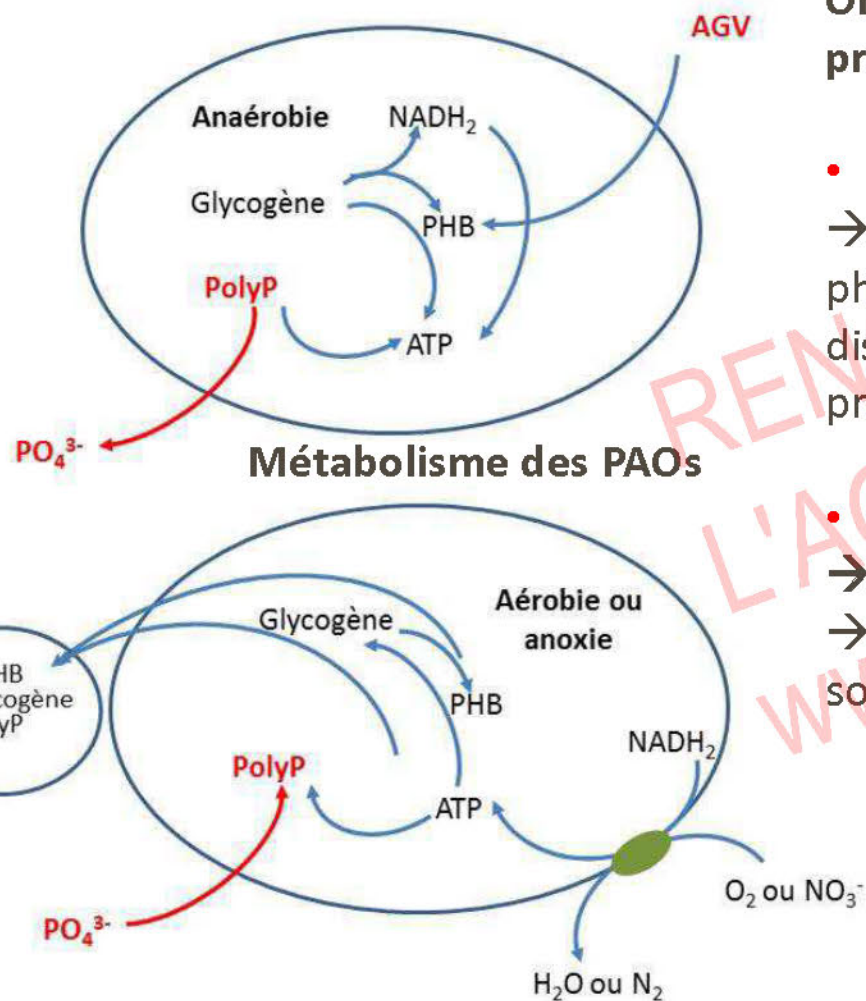
Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Principe

“Enhanced biological phosphorus removal” (EBPR) by Polyphosphate-accumulating organisms (PAO)”

On s’intéresse dans le process à deux formes de phosphore majoritairement présente dans les boues:

- **Forme organique intracellulaire** (contenue dans les PAO)
→ Phosphore accumulé par des PAO, qu’elles peuvent rejeter sous forme de phosphate en conditions de digestion anaérobie lorsque qu’elles ont a leur disposition des AGV qui sont produits par des bactéries acidogènes en présence de formes de carbone facilement assimilables
- **Forme minérale insoluble**
→ Phosphate de calcium, phosphate de magnésium, phosphate de fer
→ Mise en condition de pH faible (grâce à la fermentation des sucres) pour solubiliser ces formes en phosphates (**jusqu'à 50-70% de dissolution**)



Littérature source: Etienne Braak, Sarah Auby, Simon Piveteau, Felipe Guilayn & Marie-Line Daumer (2015) – Daumer – « Phosphorus recycling potential assessment by a biological test applied to wastewater sludge”, ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY, 2016

Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Matériel et méthodes

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X



$$\text{Sucre à ajouter (g)} = \frac{? * \% \text{MO}^{**} * V_{\text{boues}}}{\text{DCO}_{\text{sucre}}^{***}}$$

* Ratio of 0,5 à 2 g DCO / g OM

** OM = 70% * DM = 0,42% OM

*** DCO white sugar = 1,17 gO₂/g

→ ~ 7,16 g white sugar/L_{sludge} in M3 and M4

*Source literature: Etienne Braak, Sarah Auby, Simon Piveteau, Felipe Guilayn & Marie-Line Daumer (2015) – Daumer – « Phosphorus recycling potential assessment by a biological test applied to wastewater sludge », ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY, 2016

- ✓ 4 conditions différentes, mêmes paramètres physico-chimiques initiaux
- ✓ ≈ 0,6% MS / 35,5 g/kg TP contenu dans nos boues
- ✓ 250L de boues homogénéisées et brassées / Approvisionnement équitable dans 5 bacs de 50L boues
- ✓ Brassage doux dans chaque bac + couvercle pour limiter l'évaporation et les échanges air/eau

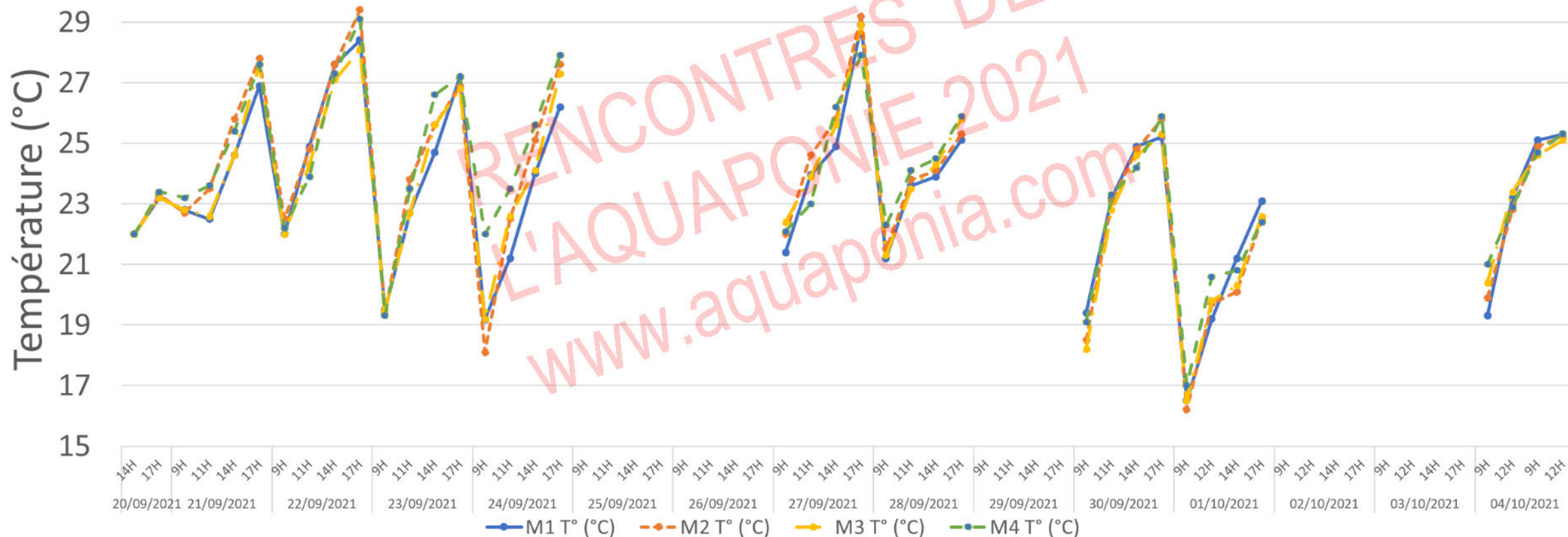
Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

Conclusion: température similaire dans l'ensemble des modalités, 24°C en moyenne en phase « diurne »

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

Temperature dynamics



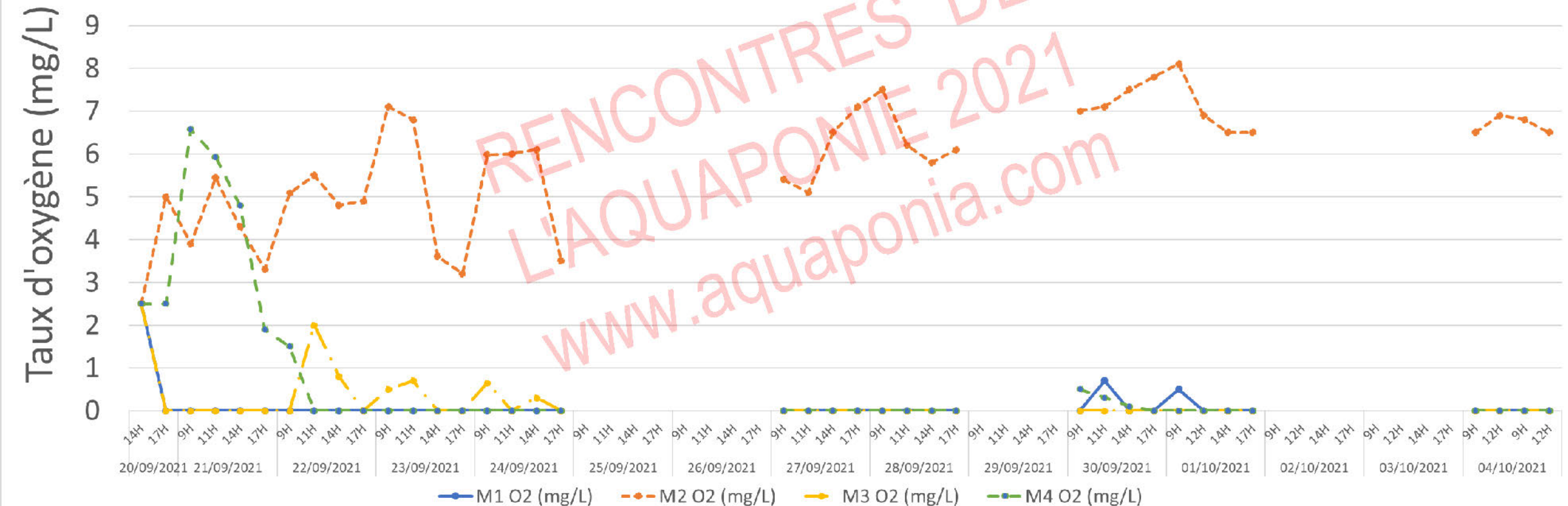
Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

Conclusion: comportement attendu des taux d'oxygène, tendance à fluctuer légèrement en anoxie/aérobie léger pour M1 et M3

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

Oxygen dynamics



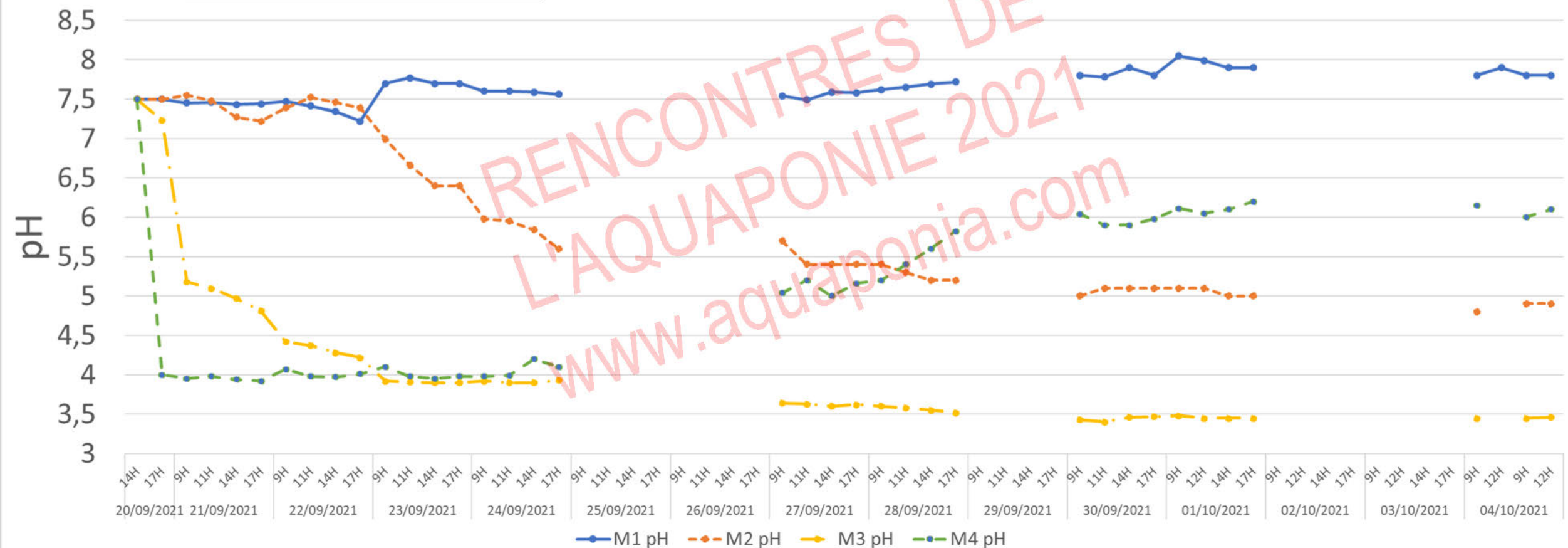
Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

Conclusion: baisse rapide du pH de la modalité M3 (sucre+anaérobie); bon fonctionnement de la bio-acidification

pH dynamics



Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

Conclusion: hausse de conductivité montre hausse globale de composés minéraux (N, P, K, Ca, Mg, S etc...)

EC dynamics

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X



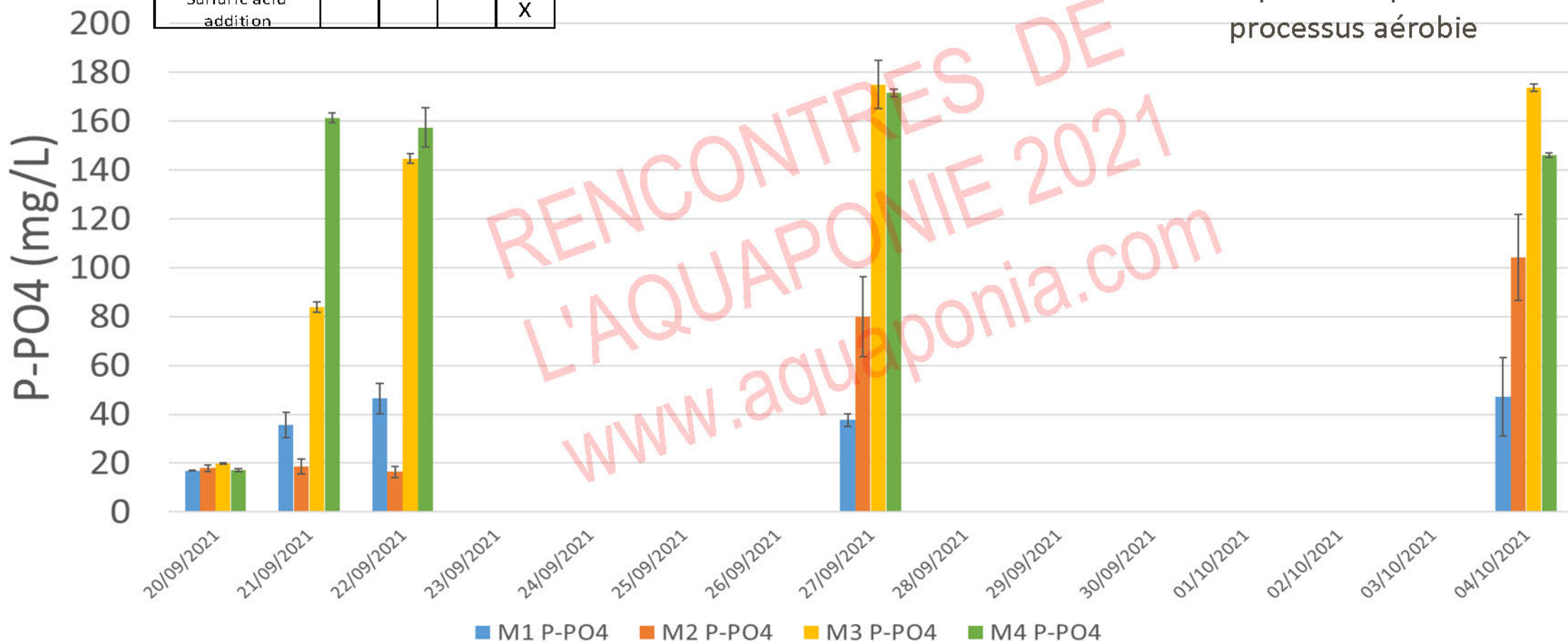
Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

P-PO₄³⁻ dynamics

Conclusion: les modalités M3 et M4 sont les plus efficaces, processus anaérobie + pH faible plus efficace que processus aérobie



Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

N-NO₃⁻ dynamics

Conclusion: la présence d'oxygène favorise la nitrification dans M2

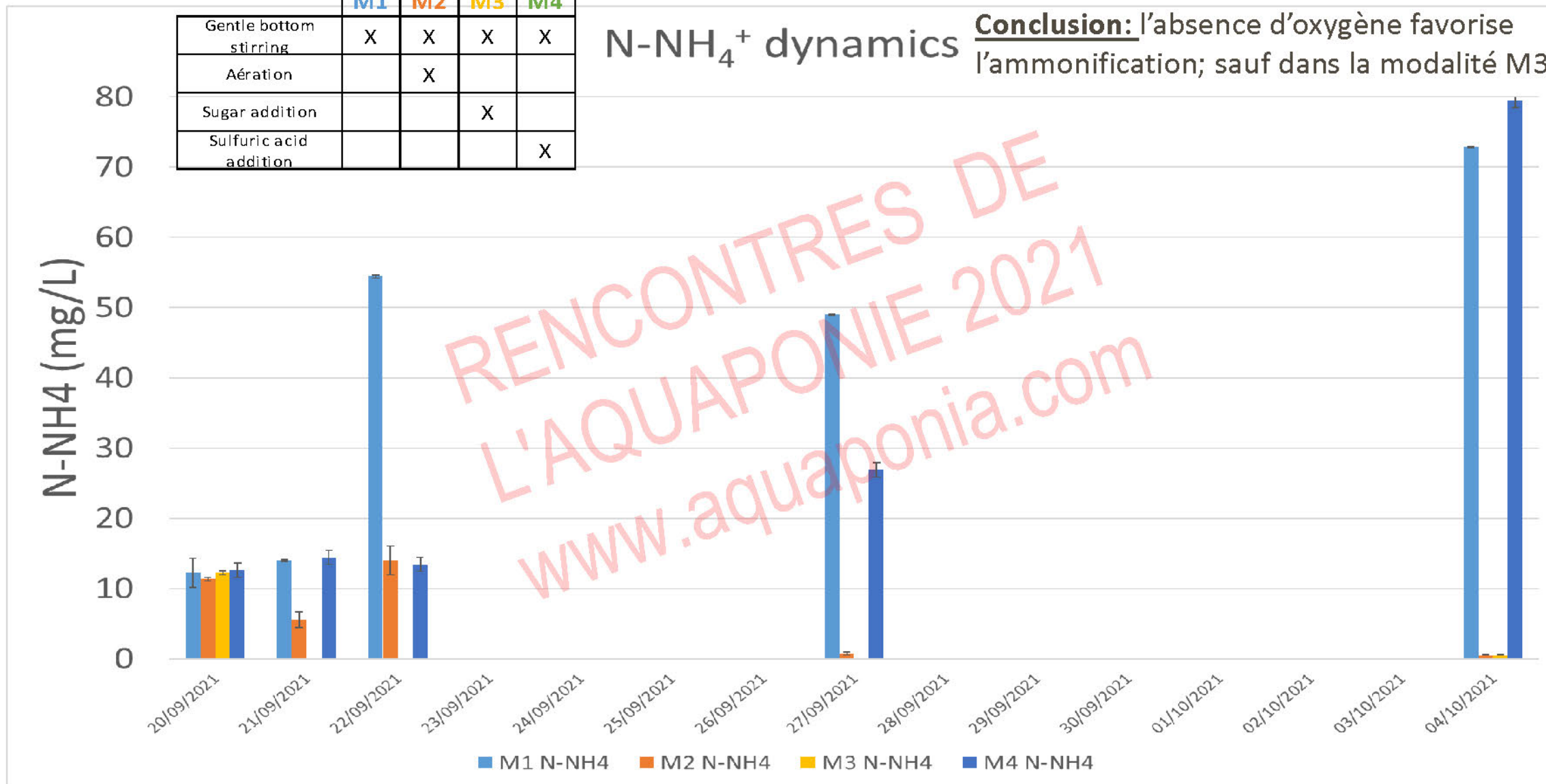


Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

N-NH₄⁺ dynamics **Conclusion:** l'absence d'oxygène favorise l'ammonification; sauf dans la modalité M3



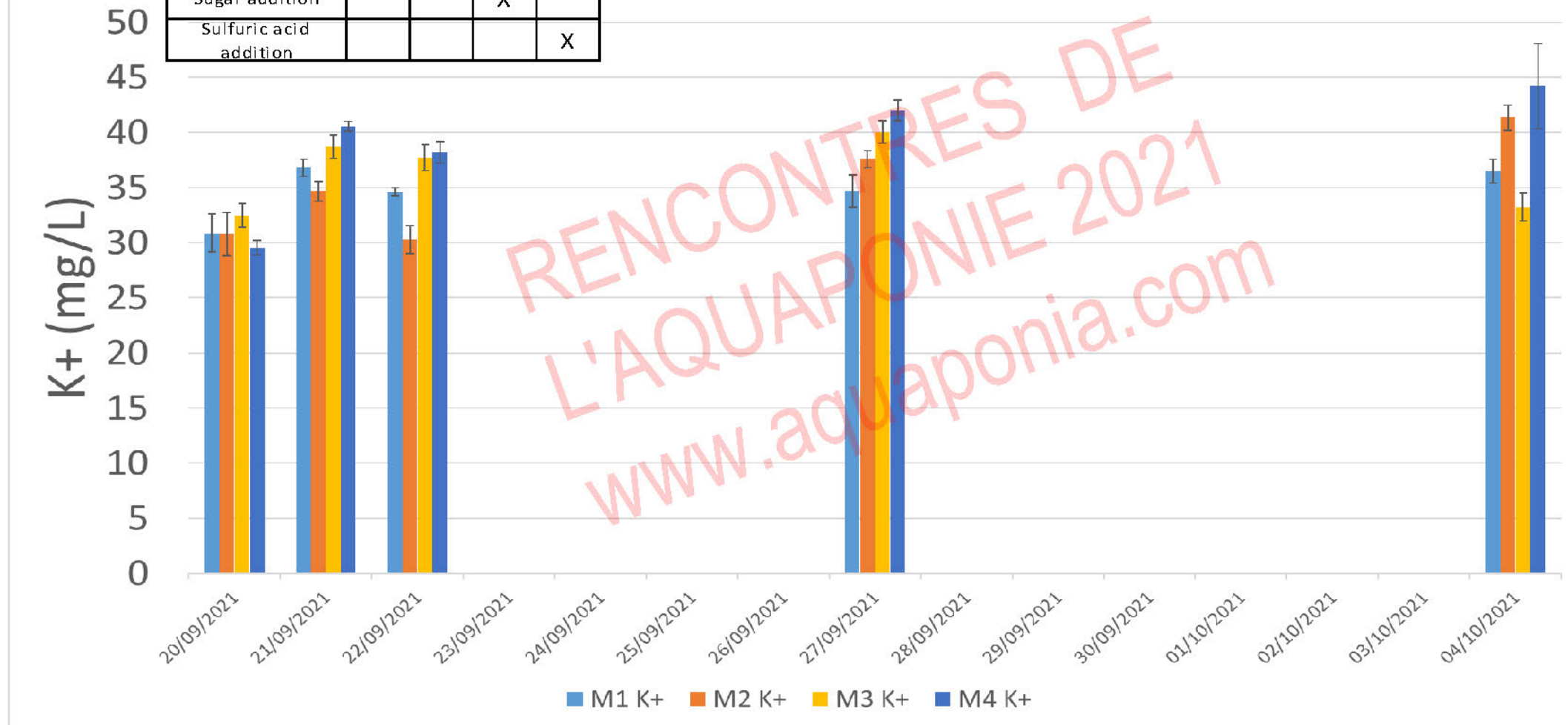
Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Matériel et méthodes

	M1	M2	M3	M4
Gentle bottom stirring	X	X	X	X
Aération		X		
Sugar addition			X	
Sulfuric acid addition				X

K⁺ dynamics

Conclusion: pas de potentiel important de rejet de potassium par les boues piscicoles avec la minéralisation

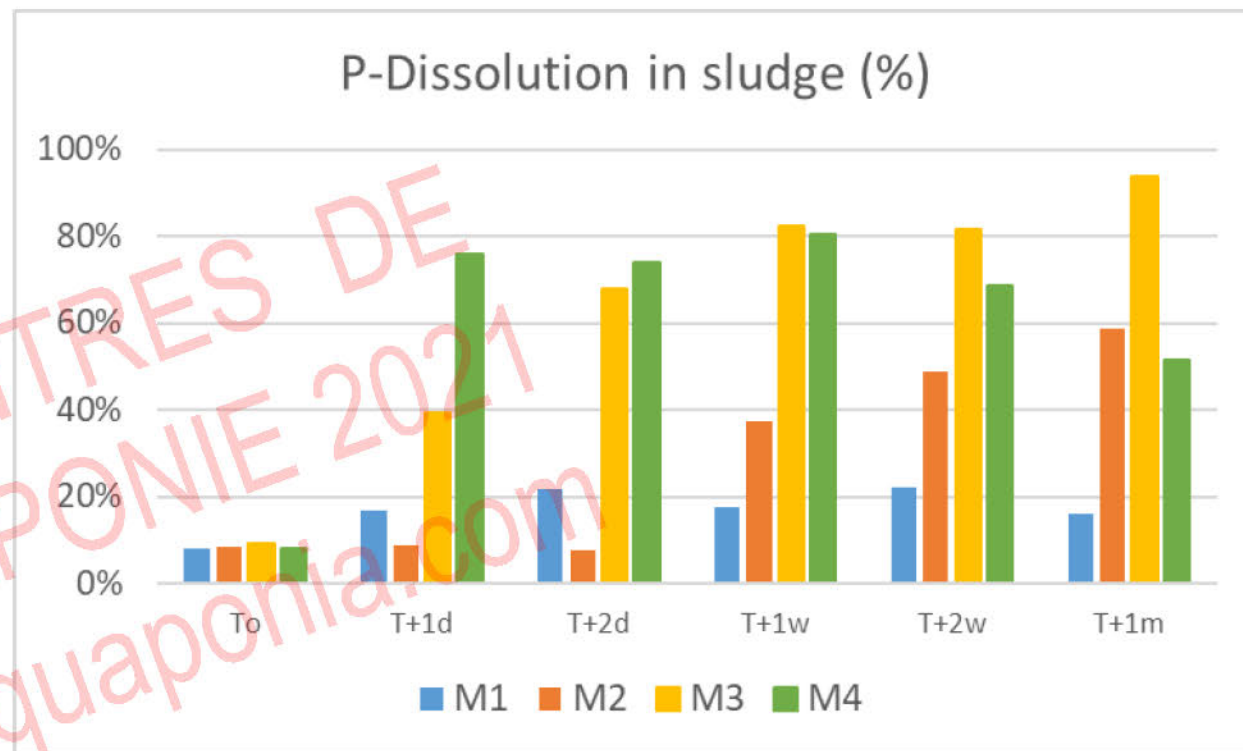


Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Résultats

	M1	M2	M3	M4
Brassage doux	x	x	x	x
Aération		x		
Acidification biologique			x	
Acidification chimique				x

	M1	M2	M3	M4
Rejet de N-NO3	-	+	-	-
Rejet de P-PO4	-	+	+	+
Rejet de TAN	+	-	-	+
Rejet de K+	-	-	-	-



Température moyenne 24°C,
évolution entre 16 et 29°C durant
la partie jour enregistrée

Minéraliser le phosphore organique pour le rendre disponible

Intérêt de la méthode?



Configuration du système lors des tests:

- ✓ **150 kg de poissons** (silures) / aliment 40% de protéines et 1% de P
- ✓ En moyenne **2kg par jour** d'aliment
- ✓ Rejet estimé de **9,8 g de P_{solide} + 6,7 g de P_{dissous}** (Papatryphon, 2005)
- ✓ Extraction de **80L de boues** 3 fois par semaine = 240L par semaine soit équivalent 34L par jour
- ✓ Concentration max atteinte dans la modalité «minéralisation par acidification biologique « M3 » = 170 mg de P-PO₄/L
→ **Soit en théorie 5,8 g/jour de P_{dissous}** apporté au système

Possibilité de multiplier la quantité de P-PO₄ par 1,9 par rapport à ce que fournissent les rejets des poissons

- Surface de production végétale éligible **sans procédé de minéralisation** : 110 m² // ~ Extraction de 60% N pour 100% P théorique
- Surface de production végétale éligible **avec procédé de minéralisation** : 210 m² // Extraction > 90 % N pour 100 % P théorique / meilleur résultat global de phytoépuration

La séparation des phases liquide / solide?

48H post-traitement



Boues brutes post prélèvement

	M1	M2	M3	M4
Gentle stirring	x	x	x	x
Aeration		x		
Sugar addition			x	
H ₂ SO ₄ addition				x

Un autre travail doit être mené sur l'utilisation de différents types de coagulants / flocculants (amidon, alginates, chitosan + cuivre) pour améliorer la séparation de phase



Boues coagulées (mélangées avec chitosan) + 10 min



Boues décantées +24 H



Boues coagulées + 24H



Boues décantées +48 H

Conclusion



La solubilisation du P en conditions anaérobies dépend de l'interaction de deux mécanismes:

- Le relargage du P intracellulaire des PAOs rendu possible par l'apport de nutriments en charge suffisante en anaérobie.
- L'acidification liée à la production d'AGVs qui permet de diminuer le pH et de solubiliser certains précipités (complexes minéraux phosphatés),

Optimisation possible:

- **Maintien du pH entre 4 et 5**, éviter de descendre en dessous
- Conditions de température plus élevées
- Assurer une **meilleure condition d'anaérobiose** pour éviter l'inversion du processus (en présence d'oxygène, les PAO accumulent le phosphore)
- **Mieux sédimenter les boues** obtenues après minéralisation

Perspectives:

- **Augmentation des taux de P dans les solutions aquaponique**, augmentation de la **surface végétale cultivable** pour une quantité d'aliment donnée, notamment pour les espèces de haut niveau trophique (aliment 40 à 50% protéines)
- **Evaluer les rejets de carbone et d'azote** sous forme de gaz?





Merci pour votre écoute

Avez-vous des questions?



Site internet du programme: <https://projetapiva.wordpress.com>



Partenaires:

