



Essai de bioremédiation des fonds de bassins en bassins expérimentaux

Saison 2021-2022

THILLIER Maëlle

JUILLET 2023



Le projet régional océanique des territoires pour la gestion durable des écosystèmes, PROTEGE, est un projet intégré qui vise à réduire la vulnérabilité des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en accroissant les capacités d'adaptation et la résilience. Il cible des activités de gestion, de conservation et d'utilisation durables de la diversité biologique et de ses éléments en y associant la ressource en eau. Il est financé par le 11^{ème} Fonds européen de développement (FED) au bénéfice des territoires de la Nouvelle-Calédonie, de la Polynésie française, de Pitcairn et de Wallis et Futuna.

L'objectif général du projet est de construire un développement durable et résilient des économies des pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) face au changement climatique en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables.

Le premier objectif spécifique vise à renforcer la durabilité, l'adaptation au changement climatique et l'autonomie des principales filières du secteur primaire. Il est décliné en deux thèmes :

- Thème 1 : la transition agro-écologique est opérée pour une agriculture, notamment biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité ; les ressources forestières sont gérées de manière intégrée et durable.
 - Thème 2 : les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture sont gérées de manière durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique.

Le second objectif spécifique veut renforcer la sécurité des services écosystémiques en préservant la ressource en eau et la biodiversité. Il se décline également en 2 thèmes :

- Thème 3 : l'eau est gérée de manière intégrée et adaptée au changement climatique
- Thème 4 : les espèces exotiques envahissantes sont gérées pour renforcer la protection, la résilience et la restauration des services écosystémiques et de la biodiversité terrestre.

La gestion du projet a été confiée à la Communauté du Pacifique (CPS) pour les thèmes 1, 2 et 3 et au programme régional océanique pour l'environnement (PROE) pour le thème 4, par le biais d'une convention de délégation signée le 26 octobre 2018 entre l'Union européenne, la CPS et le PROE. La mise en œuvre du projet est prévue sur 4 ans.

Ce rapport est cité comme suit :

Thillier M. (2023), Essai de bioremédiation des fonds de bassins en bassins expérimentaux

Rapport d'étude, Boulouparis, 20 pages

Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité de <nom de l'auteur/du partenaire> et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.

Partenaires

Cette étude est conduite par la Technopole de Nouvelle-Calédonie dans le cadre du projet Fond de bassin. Elle a été menée grâce à un co-financement du programme Européen PROTEGE et de la Technopole de Nouvelle-Calédonie

Table des matières

Contexte.....	6
Introduction	7
1. Méthode	7
1.1. Conduite d'élevage :.....	7
1.2. Analyses :	8
2. Résultats.....	10
2.1. Evolution du Sédiment :	10
2.2. Qualité de l'eau :.....	11
2.2.1. Eaux de rejet des flushs.....	11
2.2.2. Vidange finale :.....	12
2.3. Paramètres d'élevage :.....	12
2.4. Performances zootechniques :	13
Conclusion.....	14
Perspectives.....	15
Annexe 1 : Analyses physico-chimique des sédiments au cours de l'assec précédent l'élevage	16
Annexe 2 : Analyses physico-chimique des eaux de remplissage et de rejet du 1^{er} et 2^{ème} flush	17
Annexe 3 : Analyses physico-chimique des eaux de vidange des bassins en fin d'élevage	18
Annexe 4 : Paramètres d'élevage.....	19

Résumé exécutif

Titre de l'étude	Essai de bioremédiation des fonds de bassins en bassins expérimentaux
Auteurs	THILLIER Maëlle
Collaborateurs	SCHEMBRI Flavien et KOMOELI Simon
Editeurs	
Année d'édition du rapport	2023

Objectif	L'objectif de cette étude était d'évaluer le potentiel de bioremédiation de deux méthodes utilisant l'action de l'eau sur les fonds de bassins de crevettes.
Contexte	Ces dernières années de nombreuses fermes connaissent des chutes de rendement importants. L'un des facteurs mis en cause dans ce déclin est le vieillissement des fonds de bassin qui connaissent une acidification liée aux élevages successifs. En ce sens, le projet « Fond de bassin » a été initié à la demande des Provinces Sud et Nord, du groupement des fermes aquacoles et de l'ADECAL Technopole, dans le but d'améliorer les performances de production des bassins crevette, en évaluant différents leviers afin de rééquilibrer les paramètres physico-chimiques des sédiments. Dans le cadre de ce projet, différentes approches de remédiation des fonds de bassins sont testées. La première consiste à neutraliser l'acidité des sols par l'apport d'amendements calciques et la deuxième qui fait l'objet de la présente étude à évaluer différentes méthodes de bioremédiation des sols par action de l'eau via l'application de flushs ou la réalisation d'une jachère en eau.
Méthodologie	<ul style="list-style-type: none"> a) Analyses des sols avant élevage, après flush et après élevage b) Analyses des eaux en entrée et en sortie de flush c) Suivi des performances zootechniques des élevages d) Analyse des eaux de vidange au moment de la pêche

Résultats et conclusions	<p>La réalisation d'un flush semble permettre de diminuer l'acidité nette des sédiments avant remise en eau et l'élevage présente globalement de meilleures performances qu'un élevage réalisé sans flush.</p> <p>L'analyse des sédiments avant et après jachère en eau montre également une diminution de l'acidité nette des sédiments, cependant moins marquée que pour le flush.</p> <p>Les eaux de vidanges ne montrent pas de rejets importants de métaux, mais une légère augmentation du taux de manganèse et de nickel lors du 1^{er} flush.</p>		
Limites de l'étude	Suite à un défaut d'approvisionnement en post-larves, la deuxième partie de l'essai consistant à évaluer le bénéfice d'une jachère sur l'élevage suivant n'a pas pu être réalisé.		
Evolution	1	Date de la version	31/07/2023

Contexte

Premier exportateur agroalimentaire du pays, la filière crevette Calédonienne représente une production annuelle de 1500 tonnes pour un chiffre d'affaires d'1,9 millions de francs Pacifique. 18 fermes contribuent à sa production, ce qui représente une superficie d'élevage d'environ 640 ha, avec des rendements moyens de 2,4 T/ha. Ces dernières années de nombreuses fermes connaissent des chutes de rendement importants. L'un des facteurs mis en cause dans ce déclin est le vieillissement des fonds de bassin qui connaissent une acidification liée aux élevages successifs.

En ce sens, le projet « Fond de bassin » a été initié à la demande des Provinces Sud et Nord, du groupement des fermes aquacoles (GFA) et de l'ADECAL Technopole, dans le but d'améliorer les performances de production des bassins crevette, en évaluant différents leviers afin de rééquilibrer les paramètres physico-chimiques des sédiments.

En 2020, le programme Européen PROTEGE a permis d'initier des travaux en laboratoire, réalisés par l'entreprise AEL, visant à déterminer des leviers d'action, au moyen de mesures simples sur lesquelles les fermiers pourront s'appuyer. Ces travaux ont permis d'identifier un nouveau paramètre, l'acidité nette (AN), permettant d'évaluer le potentiel de génération d'acidité des sédiments¹.

Dans le cadre de ce projet, différentes approches de remédiation des fonds de bassins sont testées. La première consiste à neutraliser l'acidité des sols par l'apport d'amendements calciques et la deuxième à évaluer différentes méthodes de bioremédiation des sols, par action de l'eau ou de jachères.

Pour se faire, ce projet se découpe en deux grands axes, une partie en laboratoire et une partie en bassins expérimentaux :

- 1) Les travaux en laboratoire menés par AEL et Bluecham, visent à développer un outil permettant de réaliser par imagerie satellite une zonation des fonds de bassin, afin d'établir un plan d'échantillonnage. Après prélèvement les échantillons sont analysés afin d'évaluer le « risque acide » de ces sols. Un abaque en cours de développement devrait à terme permettre de neutraliser cette acidité par l'apport d'amendements calciques de façon localisée et raisonnée.
- 2) En bassins expérimentaux, la priorité a été donnée à la remédiation par effet de l'eau avec un traitement « flush » ce qui devrait permettre d'éliminer l'acidité relarguée à la mise en eau du bassin² et un traitement « jachère en eau » visant à rééquilibrer le bassin par un maintien en eau de ce dernier pendant la durée d'un élevage.

1 Rapport AEL phase 1b (septembre 2021)

2 Rapport AEL phase 1a (décembre 2020)

Introduction

Ce premier essai de bioremédiation en bassin expérimentaux a pour but d'évaluer le potentiel de bioremédiation de deux méthodes par action de l'eau sur les fonds de bassin crevette :

- i. **Le flush** : qui consiste à remettre en eau partiellement (1/3 de la hauteur) le bassin après l'assec, le maintenir en eau pendant 24h et le vidanger. Ce protocole est réalisé deux fois à 24h d'intervalle puis le bassin est mis en remplissage pour l'élevage. L'objectif étant d'éliminer l'acidité retenue dans le sol et les métaux potentiellement dissous, qui peuvent être létaux pour les post-larves à l'ensemencement.
- ii. **La jachère en eau** : Comme en agriculture, le principe est de réaliser une jachère en laissant le bassin en eau au repos afin que l'écosystème se remette à l'équilibre en éliminant naturellement les excès d'azote accumulés dans les sédiments. L'objectif est d'observer l'évolution géochimique du fond de bassin au cours d'une jachère et les impacts sur l'élevage suivant.

Si les résultats obtenus en bassins expérimentaux sont concluants, les méthodes évaluées ont vocation à être transférée à l'échelle de bassins commerciaux.

1. Méthode

Les essais de nature expérimentale ont été conduits au Centre Technique Aquacole.

1.1. Conduite d'élevage :

➤ Bassins :

- Neuf bassins permettant d'effectuer chaque traitement en triplicata.
- Deux bassins de 310 m² et un bassin de 1400 m² pour chaque traitement. L'arrivée d'eau est la même pour l'ensemble des bassins

Traitement	Bassin	Surface (m ²)
Témoin	B07	310
	B10	310
	G2	1340
Flush	B09	310
	B12	310
	G1	1340
Jachère	B08	310
	B11	310
	G3	1340

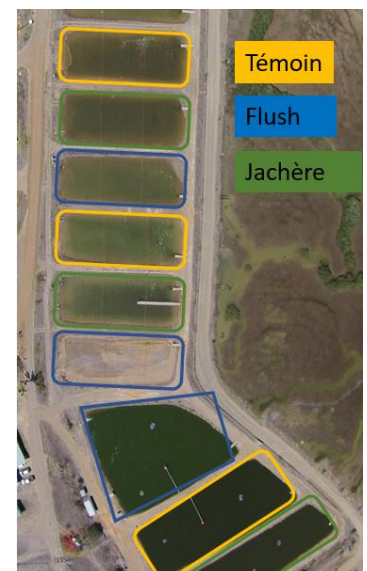


Image 1 : Plan des bassins expérimentaux avec les traitements respectifs

- **Assec** : Labour du bassin sur 10 cm de profondeur après prélèvement des échantillons de sol
- **Traitements** : *La répartition des traitements a été réalisée en commun accord avec le GFA et le laboratoire AEL après réception des analyses de sol à l'assec ne montrant pas de différences de sol entre les bassins.*
 - **Témoin** : Elevage classique (20 PLs/m²)
 - **Flush** : remplissage d'1/3 de la colonne d'eau du bassin avec maintien en eau pendant 24 heures avant vidange. Après 24h nouveau remplissage d'1/3 du bassin, maintien en eau 24h et vidange suivi du remplissage pour mise en élevage
 - **Jachère en eau** : maintien du bassin en eau avec un faible renouvellement, uniquement pour maintenir une salinité équivalente aux autres bassins.
- **Elevage (témoin et flush)** :
 - **Densité** : 20 Post-Larves/m²
 - **Aliments** : SICA émietté, rondelle et granulé G40
 - **Renouvellement d'eau** : évolutif de 2 à 25%/jour
 - **Oxygénation** : un aérateur de type paddle wheel pour chaque bassin (puissance 2 chevaux)
 - **Animaux** : éclosion de Mara pour l'ensemble des bassins en élevage
 - **Pêche** : lorsque les crevettes atteindront un poids moyen ~28-30g
 - **Suivi de croissance** : hebdomadaire sur 2 lots de 50 crevettes par bassin
 - **Suivi mortalité** : les crevettes mortes sont dénombrées tous les jours
 - **Évaluation de l'élevage** : croissance, survie, IC, rendement
 - **Paramètres suivis quotidiennement** : température, oxygène dissous (matin et soir)
 - **Paramètres suivis 3 fois par semaine** : alcalinité de l'eau, turbidité, salinité
- **Calendrier** :
 - **Date flushs** : 20/12/21 au 24/12/22
 - **Date mise en eau** : 26/12/22
 - **Date d'ensemencement** : 06/01/22
 - **Pêche** : 09/06/22 au 07/07/22

1.2. Analyses :

➤ Prélèvements

Afin de suivre les paramètres physico-chimiques du sol, 2 prélèvements de sédiments par bassin (en entrée et en sortie) ont été réalisés :

- ➔ Pendant l'assec
- ➔ Après le flush (*uniquement pour les bassins flushés*)
- ➔ Après la pêche.

Au total ce sont 42 prélèvements de sols qui ont été analysés. Pour chaque prélèvement, les paramètres suivants ont été analysés par le laboratoire AEL:

- pH
- Sulfate, phosphore et azote total
- Carbonate de calcium
- Acidité nette
- Métaux (uniquement pour les échantillons prélevés à l'assec)

Des prélèvements d'eau ont également été réalisés au cours des flushs et en fin d'élevage afin de surveiller le rejet potentiel d'éléments dissous en grande quantité.

- ➔ L'eau de remplissage du premier et deuxième flush
- ➔ 2 prélèvements d'eau en sortie de bassin ont été réalisés en milieu et fin de vidange de chaque bassin flushé
- ➔ 1 prélèvement en sortie de bassin lors de la vidange finale de l'ensemble des bassins

Au total ce sont 23 prélèvements qui ont été analysés. Pour chaque prélèvement les paramètres suivants ont été analysés :

- Métaux (Cobalt, Cuivre, Fer, Manganèse, Nickel, Zinc, Chrome (VI))
- Calcium, Magnésium, Potassium, Silicates, Ammonium, NTK, Azote total, Phosphore, carbone organique total

➤ **Schéma descriptif du protocole et des prélèvements réalisés :** (en marron prélèvements de sol, en bleu prélèvements d'eau)

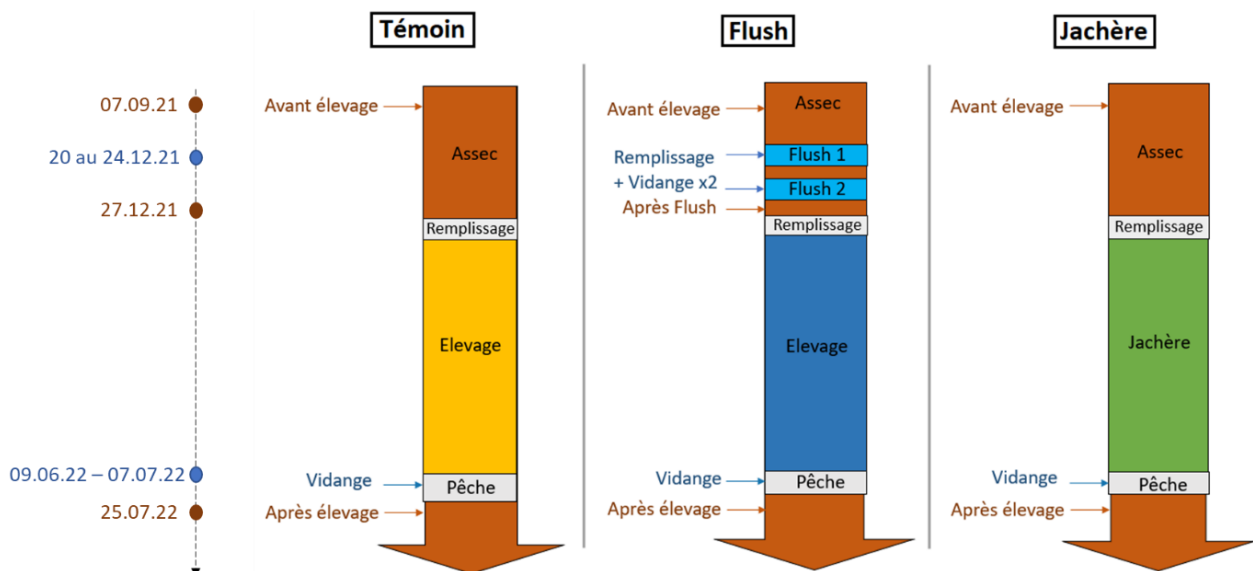


Fig 1 : Schéma du plan expérimental

2. Résultats

2.1. Evolution du Sédiment :

L'analyse des sédiments au cours de l'assec précédent l'élevage, présenté à l'annexe 1, a montré des teneurs en métaux comparables aux sédiments analysés dans la filière et présentés dans le rapport d'AEL de la phase 1a, avec cependant des taux plus élevés de Nickel. Les pH KCl des sédiments de l'ensemble des bassins sont compris entre 7,8 et 9 ce qui semble indiquer qu'ils ne nécessitent pas d'amendement si l'on se fie à cet unique paramètre, qui correspond à la méthode traditionnelle d'interprétation de la qualité des fonds de bassins.

Les analyses d'acidité nette sont ici exprimées hors capacité neutralisante, c'est-à-dire sans tenir compte de la présence de débris carbonatés présents dans les sédiments, pouvant ou non participer à la neutralisation de l'acidité selon la forme sous laquelle ils sont présents.

Tableau 1: Résultats d'analyses de l'acidité nette hors capacité neutralisante et des besoins en amendements calciques avant élevage, après flush et après élevage.

Traitement	Bassin	Echantillon	Acidité nette sans capacité neutralisante (mole H ⁺ /m ²)			Quantité de CaCO ₃ à ajouter (T CaCO ₃ /ha)		
			Avant élevage	Après Flush	Après élevage	Avant élevage	Après Flush	Après élevage
Témoin	B7	359	55	-	14	3	-	0,8
		360	44	-	11	2,4	-	0,6
	B10	347	29	-	29	1,6	-	1,6
		350	30	-	42	1,6	-	2,3
	G2	366	29	-	44	1,6	-	2,4
		370	40	-	38	2,2	-	2,1
Flush	B9	351	211	12	20	11,4	0,6	1,1
		354	20	11	26	1,1	0,6	1,4
	B12	336	0	12	21	0	0,6	1,1
		339	18	15	17	1	0,8	0,9
	G1	362	27	18	41	1,5	1	2,2
		365	18	13	13	1	0,7	0,7
Jachère	B8	356	24	-	14	1,3	-	0,8
		358	20	-	24	1,1	-	1,3
	B11	343	35	-	15	1,9	-	0,8
		344	22	-	14	1,2	-	0,8
	G3	372	37	-	53	2	-	2,9
		373	92	-	37	5	-	2

Les analyses d'acidité nette hors capacité neutralisante des sédiments prélevés au cours de l'assec précédent l'élevage présenté ci-dessus ont montré un besoin en carbonates allant de 0 à 11 T/ha. A noter qu'il n'y a que deux points extrêmes, l'un à 0 T/ha et l'autre à 11,4T/ha. Les autres points de prélèvement sont tous compris entre 1 et 5 T/ha.

Les analyses après flush montrent des acidités nettes sans capacité neutralisante comprises entre 11 et 18 moles H⁺/m², soit des besoins en carbonates de 0,6 à 1 T CaCO₃/ha. Ces résultats montrent une diminution moyenne globale d'environ -32% de l'acidité nette des bassins après les flushs. Ces résultats

mettent en évidence l'effet du flush, qui a permis d'éliminer en partie l'acidité retenue dans les sédiments.

En fin d'élevage, l'évolution de l'acidité nette des bassins fluctue au sein d'un même traitement mais tend de façon générale à diminuer pour l'ensemble des traitements. Ces fluctuations rendent difficiles l'interprétation des résultats. Toutefois il est possible d'observer qu'aucun traitement n'entraîne une forte hausse de l'acidité nette.

Si l'on observe les données de façon globales par traitement (tab. 2), l'acidité nette des bassins témoins diminue de -10%, celle des flushs de -8% et celle des jachères de -22%. Ces résultats laissent à penser qu'une jachère permet de réduire partiellement l'acidité des sédiments.

Tableau 2 : Evolution de l'acidité nette des sédiments après les flushs et après vidange finale des bassins

Traitement	Bassin	Echantillon	Acidité nette hors capacité neutralisante (mole H ⁺ /m ²)			Evolution acidité nette	
			Pendant assec	Après flush	Après élevage	Assec/post-flush	Assec/après élevage
Témoin	B7	359	55		14		-75%
		360	44		11		-75%
	B10	347	29		29		0%
		350	30		42		+40%
	G2	366	29		44		+51%
		370	40		38		-5%
Flush	B9	351	211	12	20	-	-91%
		354	20	11	26	-45%	+30%
	B12	336	0	12	21	-	-
		339	18	15	17	-17%	-6%
	G1	362	27	18	41	-33%	+51%
		365	18	13	13	-28%	-28%
Jachère	B8	356	24		14		-42%
		358	20		24		+20%
	B11	343	35		15		-57%
		344	22		14		-36%
	G3	372	37		53		+43%
		373	92		37		-60%

2.2. Qualité de l'eau :

2.2.1. Eaux de rejet des flushs

Les résultats d'analyses sont présentés en annexe 2. La comparaison des eaux de remplissage aux eaux de rejets en début et en fin de flushs ne présente pas de différence, à l'exception de quelques éléments métalliques de façon ponctuelle pouvant s'expliquer par la présence de matières en suspension et d'un nombre de prélèvements réduits.

Au cours de ces flushs, aucun rejet massif de métaux ou autre élément n'est observé. Ces résultats semblent indiquer que la réalisation d'un flush en début d'élevage ne devrait pas avoir d'impact environnemental important.

2.2.2. Vidange finale :

L'analyse des eaux de rejet lors de la vidange finale des bassins présentée en annexe 3 ne montre pas de rejets massifs de métaux, qu'il y ait eu un élevage ou une jachère. Les rejets des bassins G1 et G2 contiennent de l'ammonium, des silicates, de l'azote total, des phosphates et du carbone organique total en quantité plus importante. Ceci s'explique par une plus forte biomasse dans les bassins, entraînant une importante turbidité dans la colonne d'eau au moment de la pêche et donc la remise en suspension de nombreux éléments.

2.3. Paramètres d'élevage :

Les élevages ont débuté en saison chaude (janvier 2023) et se sont terminés en saison fraîche (juin 2023), avec une durée moyenne de 169 jours. La température moyenne relevée dans les bassins a été de 27,9°C. La température maximale relevée, en début de cycle, a été de 34,7°C et la minimale, en fin de cycle, de 20,3°C. Les amplitudes journalières moyennes ont été de 2,3 ±1,1 °C. Aucune chute importante de température (supérieure à 5°C en moins d'une semaine) n'a été relevée pour l'ensemble des traitements.

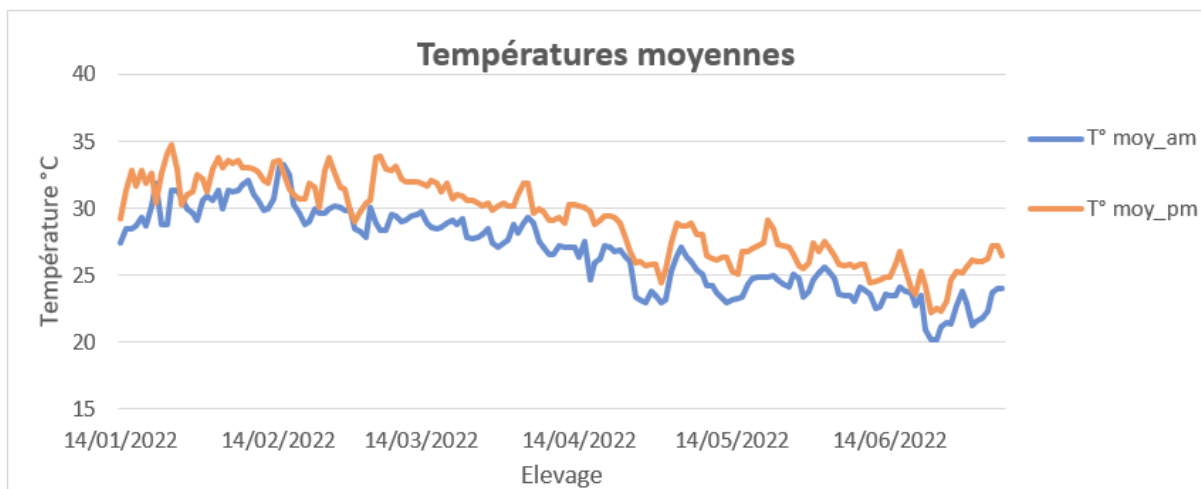


Fig 2 : Courbe de température moyenne de l'ensemble des bassins

Les oxygènes dissous relevés (annexe 4), se sont maintenus au-dessus de 4ppm tout au long de l'expérimentation et ne dépassent pas 12ppm en fin de journée. Ils sont en général au plus bas en début de journée, d'où l'importance des aérateurs en cours de nuit. L'ensemble des bassins a suivi une évolution comparable de ce paramètre tout au long du cycle d'élevage.

Les paramètres salinité et dureté carbonatée sont également présentés en annexe 4 et sont très comparables pour l'ensemble des traitements.

Deux fortes baisses de salinité liées à d'importants épisodes pluvieux ont été observées pour l'ensemble des traitements. La première de J3 à J31 passant de 28,7ppt à 15ppt et la deuxième de J77 à J94 passant de 34 ppt à 26,3 ppt.

La valeur de secchi (fig. 4) des bassins en jachère est restée relativement stable autour de 100 tout au long de l'essai. Les bassins en élevage des traitements flushs et témoins ont des valeurs de secchi qui ont commencé à décroître graduellement de façon similaire à partir de J15, jusqu'à atteindre un secchi autour de 45 en fin d'élevage.

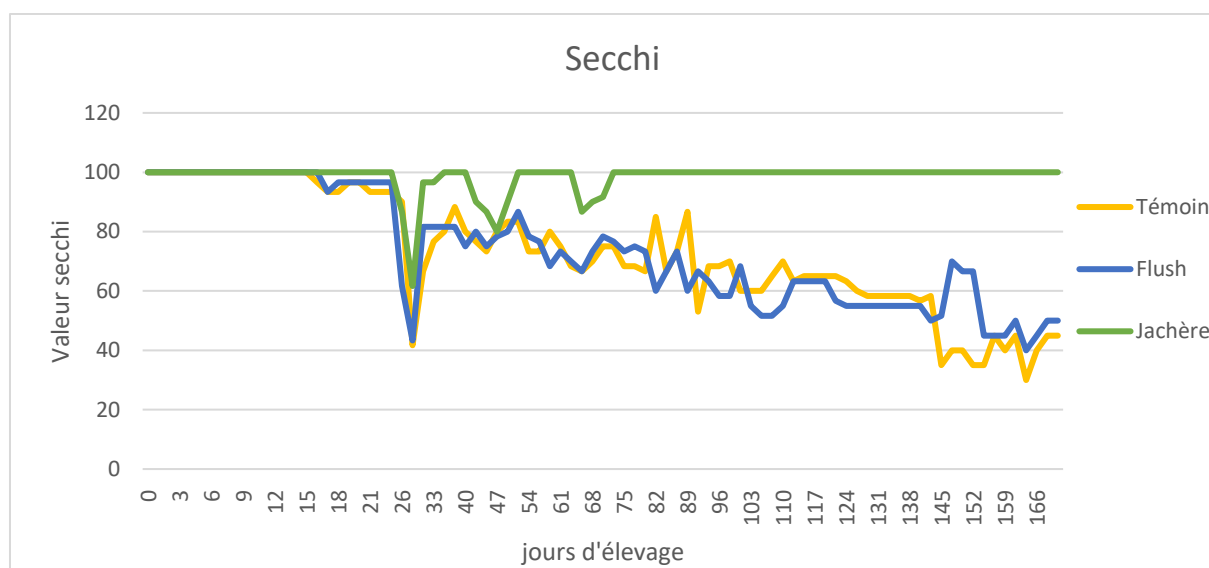


Fig 4 : Courbe de valeur de secchi moyen pour les trois traitements

2.4. Performances zootechniques :

Aucun épisode de mortalité n'a été observé au cours de l'élevage.

Les résultats d'élevage sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Résultats des performances zootechniques d'élevage en fonction des différents traitements

Traitement	Bassin	Surface (m ²)	Age (jours)	PM (g)	Croissance jour (g)	Survie (%)	Aliment total (g/m ²)	IC	Rendement (T/ha)
Témoin	B07	310	146	28.1	0.19	49.9	590	2.11	2.80
	B10	310	146	31.9	0.22	44.8	522	1.83	2.86
	G2	1340	173	23.4	0.14	77.3	678	1.87	3.70
Flush	B09	310	153	31.3	0.20	56.5	614	1.83	3.54
	B12	310	153	28.4	0.17	56.8	588	1.82	3.23
	G1	1340	174	27.4	0.16	68.7	695	1.81	3.85
Jachère	B08	310	158						
	B11	310	158						
	G3	1340	158						

La durée d'élevage et la superficie variant entre les « petits bassins » et les « grands bassins », il a été décidé de distinguer ces deux groupes pour le traitement des résultats zootechniques. Les résultats sont exprimés par la suite avec une moyenne pour les petits bassins et en donnée brute pour le grand bassin de chaque traitement.

Tableau 4 : Comparaison des performances des traitements témoins et flush

Bassin	Traitement	Age (jours)	Croissance jour (g)	Survie (%)	IC	Rendement (T/ha)
Petits bassins	Témoin	146	0.21	47.4	1.97	2.83
	Flush	153	0.19	56.7	1.83	3.38
	Témoin/flush		-10%	+20%	-7%	+19%
Grands bassins	Témoin	173	0.14	77.3	1.87	3.70
	Flush	174	0.16	68.7	1.81	3.85
	Témoin/flush		+14%	-11%	-3%	+4%

Avec des croissances légèrement inférieures aux petits bassins témoins, les bassins flushés présentent de meilleures survies (+20%), indice de conversion (-7%) et rendements (+19%).

Les grands bassins ont présenté pour les deux traitements de meilleures survies que les petits bassins et donc des taux de croissances inférieurs. Bien que la survie soit inférieure (-11%) pour le bassin flushé, tous les autres indicateurs montrent que ce bassin obtient de meilleures performances (croissance, IC et rendement) que le bassin témoin.

Que ce soit pour les « petits » ou les « grands » bassins, le traitement flush obtient de façon générale de meilleurs résultats que le traitement témoin.

Conclusion

Les analyses de sol en début d'élevage ont mis en évidence une acidité nette « moyenne » des fonds de bassins. Après le flush l'acidité nette des sols diminue fortement ce qui permet de valider l'effet du traitement. L'analyse des eaux de rejet ne permet pas de conclure au lessivage de potentiels métaux relargués dans ces conditions, mais permet néanmoins d'observer l'absence d'impact environnemental néfaste de cette pratique.

Dans l'ensemble les performances zootechniques semblent meilleures pour les bassins sur lesquels les flushs ont été réalisés. Les résultats obtenus en bassins (survie et rendement), tout comme ceux observés en laboratoire (phase 1a) démontrent l'intérêt d'effectuer un flush avant remise en eau, pour éliminer une partie de l'acidité des sédiments.

Le surcoût engendré par la mise en place de flushs avant élevage est variable en fonction de la configuration des fermes mais reste très négligeable. Le rendement supérieur permet de couvrir les frais supplémentaires engendrés par cette pratique.

L'analyse des sédiments avant et après jachère en eau semble entraîner une baisse de l'acidité nette des fonds de bassins. Cette diminution est moins marquée que pour l'analyse de sol post flush cependant il est possible que d'autres paramètres biotiques et abiotiques non mesurées aient pu également retrouver un équilibre au cours de cette jachère et donc avoir un effet plus durable. La réalisation d'un élevage classique après la jachère devrait permettre d'en valider l'intérêt et l'impact.

L'analyse des eaux de vidange de l'ensemble des traitements n'a pas mis en évidence le relargage de métaux dissous en quantités anormales pour les différents traitements. Seuls des éléments organiques (azote, phosphates, carbone organique, ...) ont été mesurés en plus grande quantité sur les bassins

présentant des survies autour de 70%, du fait que les crevettes remettent de la matière en suspension en grattant le fond de bassin.

Perspectives

La poursuite des travaux sur les fonds de bassins en laboratoire devrait permettre d'appliquer et valider la méthode d'amendements calciques à l'échelle pilote de bassins expérimentaux puis à plus grande échelle en bassins de production.

La réalisation d'un élevage post-jachère pourrait permettre d'évaluer l'impact du traitement sur les performances zootechniques d'élevage. D'autres essais de jachère productive pourraient également être menés avec par exemple l'ajout d'holothuries, d'huîtres ou de poissons en faible densité.

Annexe 1 : Analyses physico-chimique des sédiments au cours de l'assec précédent l'élevage

	Bassin	Ech.	MO (%)	CaCO3 (%)	Cu (mg/kg)	Co (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Azote total (mg/kg)	Phosph. total (mg/kg)	Sulfate total (mg/kg)	pH (KCl)
Témoin	B7	359	2,4	1,2	53,04	16,2	3,7	439	84,35	<1	10,89	460	454	5200	8,5
	B7	360	4,1	0,9	48,59	21,7	4,01	335	183	<1	10,62	1090	494	6690	8,3
	B10	347	2,3	9,5	36,08	23,64	3,31	256	216	<1	9,08	680	403	4600	8,9
	B10	350	3	4,4	40,57	23,89	3,22	350	222	<1	10,95	760	471	5750	8,8
	G2	366	3,6	2,3	23,59	14,4	2,72	216	97,75	<1	10,23	1160	803	11800	8,6
	G2	370	5,4	4,9	30,51	19,54	3,9	303	134	<1	13,05	1680	1030	22200	8,5
Flush	B9	351	2,9	4,8	39,58	23,73	3,23	302	246	<1	11,04	1080	651	14500	8,4
	B9	354	3,7	0,7	34,15	31,45	3,38	292	342	<1	9,59	320	300	6310	8,6
	B12	336	2,5	4,6	32,85	23,43	4,36	198	290	<1	9,27	720	354	1820	9
	B12	339	4,1	2,1	42,91	19,2	3,55	209	223	<1	12,14	1450	667	11300	8,6
	G1	362	5	2,3	27,76	16,98	3,3	125	131	<1	9,58	1350	765	7540	8,5
	G1	365	3,4	1,6	24,26	16,22	2,79	144	124	<1	8,45	1010	794	5810	8,8
Jachère	B8	356	3,8	2,1	43,63	23,77	3,87	240	254	<1	8,72	730	372	3880	8,6
	B8	358	4,1	0,5	48,57	19,42	3,4	260	197	<1	9,68	970	642	5310	7,8
	B11	343	3,3	2,5	37,99	28,57	3,67	295	320	<1	10,01	740	373	8160	8,7
	B11	344	2,7	1,6	38,51	35,99	3,8	377	431	<1	9,53	450	288	2010	8,9
	G3	372	3,4	1,1	31,93	15,96	3,69	274	107	<1	13,78	880	761	6710	8,5
	G3	373	4,6	1,6	39,45	17,21	3,32	261	113	<1	11,51	1200	812	12400	8,4

Annexe 2 : Analyses physico-chimique des eaux de remplissage et de rejet du 1^{er} et 2^{ème} flush

Echantillon	Bassin	Co (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)	Cr(VI) (µg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Si (mg/L)	Ammonium (µmol/L)	NTK (mgN/L)	NO ₂ - (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	Phosph. (µg/L)	COT (mg/L)
Eau remplissage 1er Flush	Réseau entrée	<0,027	<0,025	0,545	0,029	<0,022	<1,07	1,33	252	800	513	<2,5	0,05	3,0	<10	1,56	<50	10,43
Eau rejet 1er flush	G1 début	<0,027	<0,025	0,368	0,105	0,066	<1,07	1,38	296	832	534	<2,5	0,38	3,6	<10	1,06	<50	8,97
	G1 fin	<0,027	<0,025	0,399	0,086	0,025	<1,07	1,50	300	837	549	<2,5	0,17	3,6	<10	0,66	<50	9,78
	B12 Début	<0,027	<0,025	<0,059	0,039	0,03	<1,07	1,31	295	827	542	<2,5	0,32	4,0	<10	0,56	<50	9,27
	B12 fin	<0,027	<0,025	<0,059	0,043	0,026	<1,07	1,34	291	833	554	<2,5	0,15	4,1	<10	2,21	<50	5,76
	B9 début	<0,027	<0,025	<0,059	0,072	0,029	<1,07	1,35	289	838	552	<2,5	0,18	3,5	<10	0,34	<50	8,4
	B9 fin	<0,027	<0,025	<0,059	0,085	0,031	<1,07	1,48	293	834	550	<2,5	0,15	4,2	<10	0,61	<50	8,87
Eau remplissage 2ème Flush	Réseau entrée	<0,027	<0,025	0,102	<0,028	0,026	<1,07	1,09	278	878	598	<2,5	0,17	4,3	<10	0,30	<50	5,06
Eau rejet 2ème flush	G1 début	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<1,07	1,00	301	934	432	<2,5	0,28	4,8	<10	0,35	<50	5,55
	G1 fin	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<1,07	1,44	304	936	439	<2,5	0,10	5,4	<10	0,19	<50	8,25
	B12 Début	<0,027	<0,025	1,72	0,055	0,136	<1,07	1,20	295	911	432	<2,5	0,05	3,1	<10	0,25	<50	7,06
	B12 fin	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<1,07	1,13	291	915	434	<2,5	0,11	3,9	<10	0,26	<50	5,17
	B9 début	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<1,07	0,17	297	937	458	<2,5	0,19	4,7	<10	0,50	<50	6,64
	B9 fin	<0,027	<0,025	<0,059	0,039	<0,022	<1,07	0,37	300	944	462	<2,5	0,03	4,4	<10	0,29	<50	5,8

Annexe 3 : Analyses physico-chimique des eaux de vidange des bassins en fin d'élevage

Traitement	Bassin	Co (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)	Cr(VI) (µg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Si (mg/L)	Ammonium (µmol/L)	NTK (mgN/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Phosph. (µg/L)	COT (mg/L)
Témoign	B7	<0,027	0,38	<0,059	0,06	3,7	<1,07	0,29	390,7	1283	509,0	<1	1,109	3,0	<20	0,18	157	7,36
	B10	<0,027	0,03	<0,059	<0,028	2,0	<1,07	0,22	416,5	1309	537,5	<1	0,899	3,6	<20	0,46	54,1	5,99
	G2	0,17	0,06	2,72	0,60	5,3	<1,07	<0,05	415	1357	533,5	<1	15,150	11,0	<20	0,64	802	26,67
Flush	B9	<0,027	0,10	<0,059	<0,028	2,8	<1,07	<0,05	381,7	1271	488,2	<1	0,079	3,8	<20	0,22	61	5,8
	B12	0,296	0,05	1,39	2,10	7,7	<1,07	0,31	408,1	1334	522,5	<1	1,636	3,2	<20	0,18	<50	5,67
	G1	0,632	0,05	4,02	2,42	9,7	<1,07	<0,05	420,9	1370	528,5	<1	6,066	10,0	<20	0,65	576	20,97
Jachère	B8	0,06	0,05	0,765	0,47	4,3	<1,07	0,30	417,2	1357	523,0	<1	0,155	3,5	<20	0,69	<50	5,06
	B11	0,144	0,18	2,98	10,63	5,2	2,05	0,29	409	1328	525,0	<1	1,034	4,1	<20	0,44	<50	3,94
	G3	0,282	0,50	0,84	2,07	6,7	<1,07	<0,05	405,4	1302	515,5	<1	0,080	3,7	<20	0,42	51,4	5,61

Annexe 4 : Paramètres d'élevage

