

# Suivi environnemental relatif à l'exploitation d'une ferme pilote de pisciculture sur la commune de TOUHO

## Rapport annuel 2021

Novembre 2021

DEPARTEMENT: Environnement

Devis n°:A001.K.0085



Agence Nouméa 1Bis rue Berthelot, BP 3583, 98846 Nouméa Cedex  
Tél. (687) 28 34 80 Fax (687) 28 83 44 [secretariat@soproner.nc](mailto:secretariat@soproner.nc)

**GINGER**  
SOPRONER



PROTEGE



Financé par  
l'Union européenne



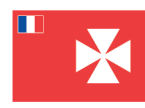
Pacific  
Community  
Communauté  
du Pacifique



GOUVERNEMENT DE LA  
NOUVELLE  
CALÉDONIE



POLYNÉSIE FRANÇAISE



WALLIS ET FUTUNA



ÎLES PITCAIRN

## ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Ind.	Date	Chef de projet	Ingénieur d'études	Description des mises à jour
1	13/07/2021	Antoine GILBERT	Tom HEINTZ/Stéphane GEORGET	Création du document
2	02/11/2021			Mise à jour données d'exploitation

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>7</b>
<b>I. LOCALISATION DU SITE D'ETUDE.....</b>	<b>8</b>
<b>II. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS &amp; ACTIVITES AQUACOLES EN MER.....</b>	<b>10</b>
<i>II.1. Installations pilote.....</i>	<i>10</i>
<i>II.2. Nouvelle zone – démonstrateur.....</i>	<i>11</i>
<b>III. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE.....</b>	<b>12</b>
<i>III.1. Volet qualité du sédiment.....</i>	<i>12</i>
<i>III.2. Volet qualité d'eau.....</i>	<i>12</i>
<b>IV. LOCALISATION DES STATIONS DE SUIVI DE L'ECOSYSTEME CORALLIEN ET PARAMETRES SUIVIS.....</b>	<b>14</b>
<i>IV.1. Suivi du substrat par LIT.....</i>	<i>14</i>
<i>IV.2. Suivi du peuplement ichtyologique.....</i>	<i>15</i>
<i>IV.3. Etat initial sur le lieu d'implantation de la nouvelle structure DEM.....</i>	<i>17</i>
<b>V. STRATEGIE D'ANALYSE DES DONNEES BIOLOGIQUES.....</b>	<b>18</b>
<i>V.1. Stations historiques suivies depuis 2014.....</i>	<i>18</i>
<i>V.2. Station du démonstrateur initiées en 2021.....</i>	<i>18</i>
<b>RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>19</b>
<b>I. BILAN DE L'ACTIVITE.....</b>	<b>20</b>
<b>II. SUIVI DU SUBSTRAT PAR LIT.....</b>	<b>22</b>
<i>II.1. stations historiques - substrats indicateurs.....</i>	<i>22</i>
<i>II.2. stations historiques - genres coralliens.....</i>	<i>23</i>
<i>II.3. Etat initial sur la station de suivi DEM.....</i>	<i>24</i>
<i>II.4. Etat initial sur le lieu d'implantation de la nouvelle structure DEM.....</i>	<i>26</i>
<b>III. SUIVI DES PEUPEMENTS ICTHYOLOGIQUES.....</b>	<b>28</b>
<i>III.1. Stations historiques - Evolutions temporelles totales.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2. Stations historiques - Evolutions temporelles par groupes.....</i>	<i>30</i>
<i>III.3. Suivi des peuplements ichtyologiques à l'intérieur et l'extérieur des cages.....</i>	<i>32</i>
<i>III.4. Etat initial - station DEM.....</i>	<i>34</i>
<b>IV. EVOLUTION DE LA QUALITE DU SEDIMENT.....</b>	<b>36</b>
<i>IV.1. Stations historiques – évolution temporelle.....</i>	<i>36</i>
<i>IV.2. Etat initial de la station DEM.....</i>	<i>38</i>
<b>V. EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU.....</b>	<b>40</b>
<i>V.1. Stratification des masses d'eau.....</i>	<i>40</i>
<i>V.2. Stations historiques –évolution temporelle.....</i>	<i>41</i>
<i>V.3. Etat initial de la station DEM.....</i>	<i>44</i>
<b>SYNTHESE, PERSPECTIVES &amp; CONCLUSIONS.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>48</b>

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des stations de suivi dans la zone d'étude .....	9
Figure 2 : Structure flottante et cages de grossissement (10) en place en 2019.....	10
Figure 3 : Illustration d'un suivi par LIT.....	14
Figure 4 : Radiales visitées sur la futur zone du Démonstrateur.....	17
Figure 5: Evolution mensuelle de la quantité de poissons, de la biomasse et de la masse d'aliments dans l'ensemble des cages de la ferme de Touho entre Septembre 2014 et Février 2021. ....	21
Figure 6 : Evolution de couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats par station entre 2014 et 2021 .....	22
Figure 7 : Evolution de couverture moyenne (% $\pm$ ET) des genres coralliens les plus présents par station entre 2014 et 2021 .....	24
Figure 8 : Couverture par type de substrat (haut) et par genre corallien (bas) en % (+/- ET) sur la station DEM en 2021	25
Figure 9 : Illustration des fonds marins sous l'emprise du projet de démonstrateur .....	26
Figure 10 : Variations temporelles de la densité, biomasses et richesse spécifique totales ( $\pm$ ET) entre Septembre 2014 et février 2021 par station.....	29
Figure 11 : Evolution de la densité de poissons herbivores sur les deux stations entre 2014 et 2021 .....	31
Figure 12 : Evolution de la densité de poissons herbivores sur les deux stations entre 2014 et 2021 .....	31
Figure 13 : Evolution de la richesse spécifique de poissons herbivores sur les deux stations entre 2014 et 2021 .....	32
Figure 14 : Evolution de la densité, biomasse et de la richesse spécifique à l'extérieur et dans les cages entre Septembre 2014 et Février 2021 .....	33
Figure 15 : Densité, biomasse, richesse spécifique totale et par groupe en 2021 sur les 3 stations.....	35
Figure 16 : Concentration en N, P, COT, C et Sulfides des sédiments sur les stations proche des cages (ST1, ST2, ST3 & ST4) ainsi que sur la station de référence (REF) entre 2014 et 2021 .....	37
Figure 17 : Concentration en N, P, COT, C et Sulfides des sédiments pour l'état initial des stations DEM1 et DEM2 en février 2021. Comparaison avec les stations proches des cages (ST2, ST3) ainsi que la station de référence (REF) .....	39
Figure 18 : Paramètres physico-chimique des strates bathymétriques des trois zones étudiées au cours de deux périodes météorologiques (13/01/2021 = fortes pluies / 23/01/2021 : temps sec) .....	40
Figure 19 : Concentration en ammonium, nitrates, azote total, phosphates, phosphore total et Chl a dans les eaux depuis Septembre 2017. La ligne jaune représente le premier seuil du CNRT et la ligne rouge, le deuxième seuil .....	42
Figure 20 : Concentration en ammonium, nitrates, azote total, phosphates, phosphore total et Chl a dans les eaux pour l'état initial de la zone DEM en Février 2021. Comparaison avec la zone REF et CAGES. La ligne jaune représente le premier seuil du CNRT et la ligne rouge, le deuxième seuil .....	45
Tableau 1 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Station) sur les valeurs de recouvrement transformées des différents substrats. ....	22
Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Station) sur les valeurs de recouvrement transformées des genres coralliens les plus présents. NS : Non significative, * : significative avec $p < 0,05$ , *** : hautement significative avec $p < 0,001$ .....	24
Tableau 3 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Station et Campagne) pour les densités, biomasses et richesses spécifiques de poissons. NS : Non significative, * : significative avec $p < 0,05$ , *** : hautement significative avec $p < 0,001$ .....	30
Tableau 4 : Valeur de référence sur la qualité fournies par le guide CNRT de Nouvelle Calédonie (Beliiff et al 2011) ...	43

# INTRODUCTION

Le suivi environnemental lié aux impacts potentiels de la ferme pilote du Centre Calédonien de Développement et Transfert en Aquaculture Marine (CCDTAM) a été initié en septembre 2014. Celui-ci s'attache à suivre les communautés récifales (poissons et habitats coralliens) et l'enrichissement potentiel du milieu (sédiments et eau) dans les champs proches des cages. La stratégie d'échantillonnage correspond à une analyse de type « BACI » (Before – After – Control – Impact d'après Underwood 1992). Aussi lors de chaque campagne depuis 2014, deux sites sont échantillonnés : l'un considéré sous l'influence directe des cages, l'autre considéré comme un site de référence. Ce rapport fait la synthèse des évolutions du milieu observées depuis 2014.

Enfin, ce rapport présente l'état initial du milieu marin à proximité d'une zone visée pour la mise en place d'un second lot de cages de dimension commerciale, nommé Démonstrateur. Le suivi initié combine comme pour le suivi réalisé depuis 2014 un état initial des communautés récifales (poissons et habitats coralliens) et de la qualité physico-chimique de l'eau et du sédiment associé à une description naturaliste des habitats sur la zone d'emprise du projet.

# MATERIEL ET METHODES

## I. LOCALISATION DU SITE D'ÉTUDE

---

Le site d'étude est situé sur la commune de Touho, sur la cote-Est de la Nouvelle-Calédonie (Figure 1). La zone d'implantation de l'élevage piscicole s'inscrit dans une zone classée au patrimoine mondial de l'UNESCO.

La géomorphologie récifale de la zone est particulière avec un récif barrière discontinu, le « Grand Récif de Mengalia » qui s'interrompt au niveau de la « Grande Passe de Touho » pour ne reprendre que 15 km plus au sud, en face de la commune de Poindimié.

Le complexe du récif barrière n'est donc pas présent dans le voisinage sud de la passe. Ainsi la zone littorale sud de Touho, est donc sous influence océanique forte. Elle reste toutefois protégée des houles par un récif frangeant au large platier.

Au fur et à mesure que l'on pénètre dans la passe, le récif frangeant est interrompu par un chenal pour laisser place à un grand complexe corallien lagunaire. Ce chenal naturel (dit « Tipwanèm ») d'une profondeur moyenne de 12 mètres conduit à la Baie de Touho où se situent par ailleurs les installations du bord de mer.

La zone des cages historiques est située sous le vent de ce complexe lagunaire (dit « Pwataanét ») et à 500 mètres de la marina de Touho (Figure 1). Une zone hors du voisinage immédiat des cages, située à 700 mètres sur cette même unité géomorphologique est utilisée comme zone de contrôle pour l'échantillonnage. Enfin, la nouvelle zone nommée Démonstrateur se situe entre les cages actuelles et la station de référence.



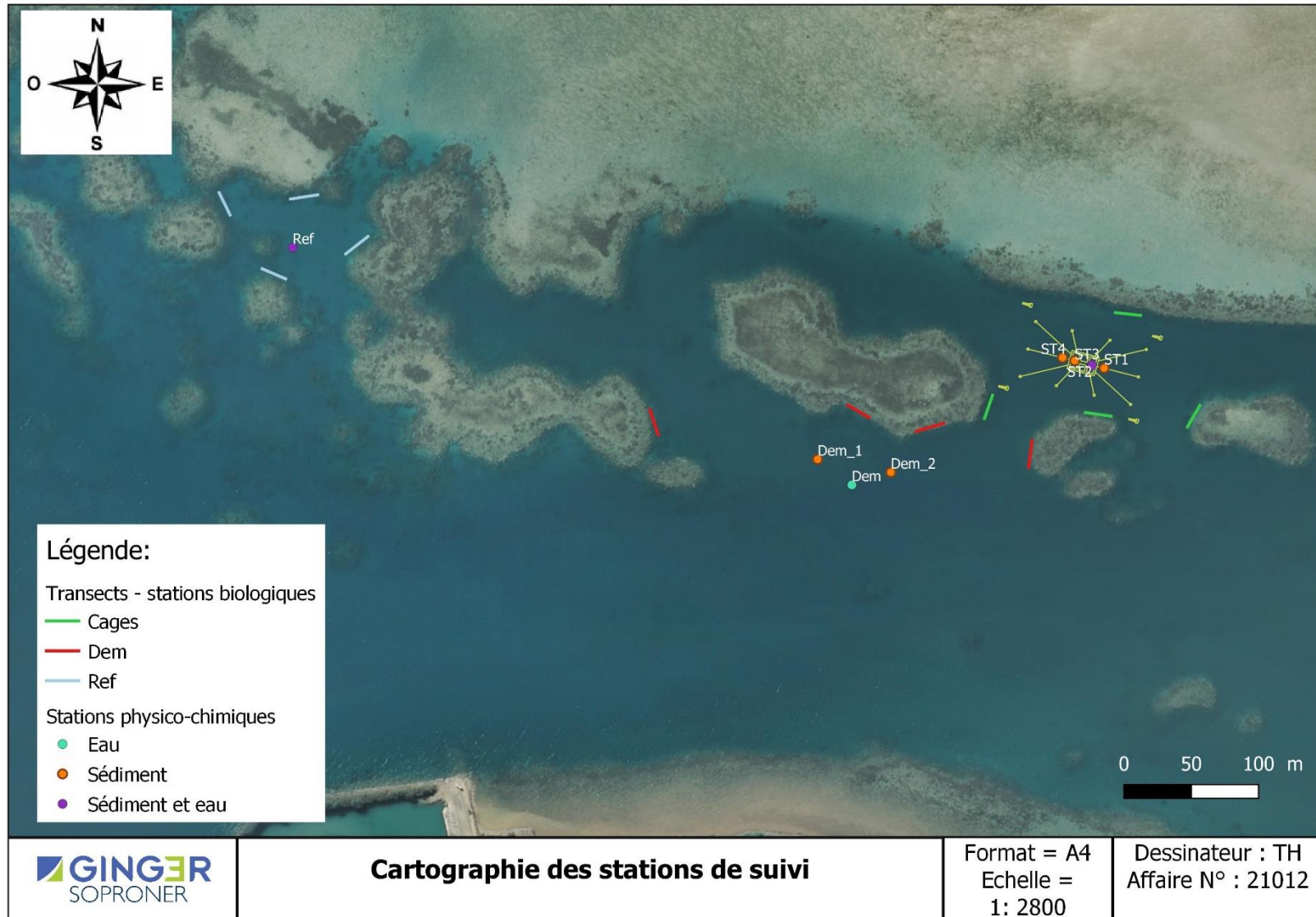


Figure 1 : Localisation des stations de suivi dans la zone d'étude

---

## II. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS & ACTIVITÉS AQUACOLES EN MER

---

---

### II.1. INSTALLATIONS PILOTE

---

La ferme pilote en cage en mer est prévue pour produire à terme une 10<sup>ème</sup> de tonnes de poissons par an. La structure flottante couvre depuis 2028 une emprise de 15\*34 mètres maintenue par 16 ancres écologiques.



**Figure 2 : Structure flottante et cages de grossissement (10) en place en 2019**

Cette structure peut accueillir 8 à 10 cages carrées de 4,80 m de côté pour une profondeur d'environ 5 mètres. Un filet de protection périphérique anti-prédateur complète la structure. Celui-ci est présent depuis la surface jusqu'au fond. Son maintien est assuré par des lests.

#### II.1.1. Espèce concernées

En 2020, trois espèces ont occupé les cages de la ferme aquacole :

- La Pouatte (*Lutjanus sebae*) ;
- Le picot rayé (*Siganus lineatus*) ;
- Le picot gris (*Siganus canaliculatus*).

### II.1.1.1. Activités liées à l'élevage

On rappelle qu'il a été décidé de n'utiliser aucun traitement antibiotique *in situ*. En outre, des traitements antiparasitaires réalisés sous contrôle vétérinaire par incorporation dans les aliments (*Praziquantel* par voie orale) et des supplémentations en vitamine C sont administrer ponctuellement. Des traitements au peroxyde d'hydrogène en balnéation, dont l'avantage est d'être non rémanent, seraient envisagés pour le traitement des infestations parasitaires.

Le bilan de l'activité (à la date de l'échantillonnage *in situ*) sera dressé à travers un bilan des principaux facteurs de production. Il sera présenté dans la partie résultats. L'activité est régulièrement suivie à travers :

- le suivi quotidien de d'aliment distribué et de la température à 3 mètres ;
- une inspection quotidienne des filets d'élevages et du filet anti-prédateurs nécessaire pour effectuer le suivi de la mortalité dans la cage ;
- et le suivi mensuel de la croissance par la réalisation d'échantillonnage de poids moyen pour chaque lot.

L'ensemble des informations étant enregistrées dans un logiciel spécialisé pour le suivi de ce type d'élevage et tenant lieu de registre d'élevage officiel.

---

## II.2. NOUVELLE ZONE – DÉMONSTRATEUR

---

Les cages du Démonstrateur seront dimensionnées pour une capacité de production de dimension commerciale. Aucune donnée chiffrée n'est à ce stade disponible.

## III. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE

---

---

### III.1. VOLET QUALITÉ DU SÉDIMENT

---

L'impact de l'activité aquacole des cages en mer est évalué à travers la qualité et l'évolution du compartiment sédimentaire. En effet, les activités piscicoles peuvent engendrer un changement des paramètres physico-chimiques des sédiments par sédimentation des rejets solides (Loya and Kramarsky-Winter 2003, Loya *et al.* 2004). Elles peuvent conduire à rejeter régulièrement dans le milieu des déchets métaboliques (mortalité de poissons, matières fécales ou pseudo-fécales et excréments) et des aliments non consommés. En général, les déchets solubles se retrouvent dans la colonne d'eau et les déchets organiques dans les sédiments.

La plus grande partie des déchets solides, qui se compose principalement de carbone organique et d'azote, se dépose sur le fond aux abords immédiats de la ferme. L'enrichissement organique de l'écosystème benthique peut provoquer un accroissement de la consommation d'oxygène par les sédiments et les rendre anoxiques tout en produisant des sulfides.

Cette étude propose un suivi ciblé de certains paramètres indicateurs dans les sédiments. La méthodologie d'analyse réalisée par le laboratoire AEL à Nouméa a été spécifiquement développée pour les niveaux de concentration à l'état de trace dans les milieux lagunaires tropicaux.

Aussi pour chaque échantillon, les paramètres suivants sont analysés :

- les concentrations en sulfides dans les sédiments ;
- les concentrations en carbone organique total et carbone total dans les sédiments ;
- et les concentrations en sel nutritif (N et P) dans les sédiments ;

En l'absence d'une connaissance de la dynamique hydro-sédimentaire, seul le champ proche restreint des cages est étudié, associé à un prélèvement de référence. La carte présentée à la Figure 1 illustre la localisation des stations échantillonnées.

Ainsi, entre 2014 et 2019, quatre prélèvements localisés dans les champs proches des cages (deux à l'intérieur et deux sur les extrémités) (Zone CAGES, points ST1 à ST4) et un prélèvement au niveau du fond sédimentaire de l'arrière récif corallien lagunaire (Zone REF) ont été réalisés annuellement (Figure 1).

En 2021, deux prélèvements ont été réalisés sous les cages (ST2 et ST3), deux prélèvements sur la zone démonstrateur (DEM1 et DEM2) ainsi qu'un prélèvement en référence (REF).

### III.2. VOLET QUALITÉ D'EAU

---

Pour faire suite à la volonté de l'ADECAL de se rapprocher des standards de l'ASC (Aquaculture Stewardship Council - <https://www.asc-aqua.org/>) en matière de politique environnementale pour ses activités, un suivi de la qualité des eaux de mer a été initié depuis 2017.

Ce suivi consiste à la réalisation d'un prélèvement d'eau ponctuel en référence et dans les cages à chaque campagne. En 2021, un prélèvement a été ajouté sur la zone du Démonstrateur (Figure 1).

Conformément à l'ASC, les paramètres suivants sont analysés :

- la chlorophylle a (Chla) ;
- l'azote et le phosphore total ;

- et les nitrates, ammonium et orthophosphates.

Les prélèvements sont réalisés juste avant le départ pour Nouméa, stockés en glacière réfrigérée puis envoyés au laboratoire sous 24h.

Le laboratoire AEL (<http://www.ael-environnement.nc/>) a réalisé les analyses hormis en Septembre 2017 où le laboratoire Calédonien Lab'eau a réalisé les analyses de Chl a et le laboratoire métropolitain Eurofins, accrédité COFRAC, a réalisé les autres analyses.

Les résultats des analyses sont présentés et caractérisés en comparaison aux valeurs de référence du guide CNRT Calédonien.

En plus des prélèvements, un profil de paramètres physiques a été opéré en 2021 à l'aide d'une sonde multi-paramètres YSI (oxygène dissous, salinité, turbidité et température). La sonde a été déployée deux fois à 40 jours d'intervalle et dans deux conditions météorologiques bien distinctes : le 13 janvier 2021 au cours d'une période de fortes pluies et le 23 février 2021 par temps sec.

Les analyses et la comparaison des masses d'eau ont été faites graphiquement et de manière qualitative.

---

## IV. LOCALISATION DES STATIONS DE SUIVI DE L'ÉCOSYSTÈME CORALLIEN ET PARAMÈTRES SUIVIS

---

La stratégie d'échantillonnage de l'écosystème corallien suit la même logique que celle des sédiments avec un échantillonnage sur les récifs qui bordent la zone aquacole (Zone CAGES) et un échantillonnage dans une zone de référence (Zone REF). La carte présentée à la Figure 1 illustre la localisation des transects (4 par zone) des zones ou stations échantillonnées.

En 2021 le suivi des récifs qui bordent la zone du futur démonstrateur a été initié (Zone DEM - Figure 1)

L'échantillonnage de l'écosystème corallien est réalisé à travers le suivi de recouvrement corallien par LIT et le suivi des peuplements de poissons par transect couloir.

---

### IV.1. SUIVI DU SUBSTRAT PAR LIT

---

L'échantillonnage de la couverture corallienne et autres substrats est réalisé par la méthode du LIT (English *et al.*1997) sur 4 transects permanent de 20 m par zone. Ceux-ci sont disposés sur chacun des récifs bordant la zone d'implantation des cages et ceux bordant la zone de référence. Les transects seront marqués par des piquets (un piquet tous les 5 m) afin de pouvoir réaliser le suivi de l'évolution du site.



**Figure 3 : Illustration d'un suivi par LIT**

Les catégories échantillonnées sont celles préconisées par English *et al.*(1997) et permettent de caractériser quantitativement et qualitativement le substrat de la zone qui constitue l'habitat principal des communautés marines inféodées à ce milieu (poissons, invertébrés notamment).

Afin de compléter les résultats obtenus par la méthode du LIT, les colonies coralliennes ont été échantillonnées au niveau du genre pour évaluer la diversité corallienne dans la zone.

Enfin chaque transect est également échantillonné via une vidéo numérique à des fins de stockage.

## IV.2. SUIVI DU PEUPEMENT ICTHYOLOGIQUE

---

Deux suivis sont réalisés : celui des récifs bordant les cages et la zone de référence, ainsi que celui des structures en mer.

### IV.2.1. Sur les récifs

#### IV.2.1.1. Relevés in situ

Les 4 transects de chaque zone (Zone CAGES, Zone REF et Zone DEM) utilisés pour l'échantillonnage des habitats sont également utilisés pour l'échantillonnage des poissons.

Sur chaque transect d'une longueur de 20 m, les peuplements ichthyologiques ont été évalués par observation visuelle en plongée. La méthode de comptage mise en œuvre est l'échantillonnage par transect couloir (Hill and Wilkinson 2004) privilégié du fait des conditions de visibilité.

Lors de l'échantillonnage d'un transect, le plongeur ichthyologue progresse le long du transect et recense l'ensemble des poissons observés dans un couloir de 2,5m de chaque côté du ruban. Toutes les espèces de poissons observées sont prises en compte.

Pour chaque observation, le plongeur note (Figure 2) :

- l'espèce ;
- le nombre d'individus observés ;
- et la taille moyenne des individus (longueur à la fourche, en cm).

#### IV.2.1.2. Caractérisation et description des peuplements ichthyologiques

Les données collectées par observation visuelle en plongée permettent d'accéder à plusieurs descripteurs quantitatifs et qualitatifs des peuplements ichthyologiques observés. Cette partie décrit les modes de calcul de ces différents descripteurs, ainsi que la construction des variables qui seront utilisées pour la caractérisation puis l'analyse.

- Calcul des niveaux de densité, biomasse et richesse spécifique :

Pour chaque transect, les données collectées permettent de calculer les principaux paramètres décrivant les peuplements ichthyologiques : densité, biomasse, richesse spécifique.

Les densités (nombre de poissons/m<sup>2</sup>) et les biomasses (en g de poissons/m<sup>2</sup>) caractérisant chaque espèce ont été calculées selon les formules suivantes :

- La **densité**  $D$  d'une espèce est donnée par la formule :

$$D = \sum \frac{n_i}{L * l}$$

Où,

- $n_i$  est le nombre de poissons notés pour l'observation  $i$  (i.e. un ou plusieurs dans le cas d'un banc) ;
  - $L$  est la longueur du transect (20 m) ;
  - et  $l$  est la largeur du transect (5 m).
- La **biomasse**  $B$  d'une espèce est donnée par la formule :

$$B = \sum \frac{n_i * P_i}{L * l}$$

Où,

- $n_i$  est le nombre de poissons notés pour l'observation  $i$  (i.e. un ou plusieurs dans le cas d'un banc) ;
  - $L$  est la longueur du transect (20 m) ;
  - $l$  est la largeur du transect (5 m) ;
- $P_i$  est le poids des individus de l'observation  $i$ . Ce poids est calculé à partir de la taille observée  $T_i$  des individus, selon la formule longueur-poids suivante :  $P_i = a * (T_i)^b$

Où  $a$  et  $b$  sont deux coefficients morphométriques, dont les valeurs proviennent de Kulbicki *et al.*(2005).

- La **richesse spécifique** (notée RS, en nombre d'espèces/transect) est directement donnée par le nombre d'espèces différentes observées sur le transect.

Les formules précédentes permettent d'obtenir les niveaux généraux de densité, de biomasse et de richesse spécifique pour l'ensemble du peuplement observé sur un transect de comptage. Afin d'évaluer la structure écologique et fonctionnelle des peuplements échantillonnés, les analyses ont par ailleurs été réalisées selon différentes catégories de classement :

- la totalité des poissons ;
- le groupe trophique ;
- la famille des *Pomacentridae* (poissons demoiselles) ;
- et la famille des *Chaetodontidae* (poissons papillons).

#### IV.2.2. A l'intérieur et à l'extérieur des structures flottantes

##### IV.2.2.1. Relevés in situ

Le plongeur recense l'ensemble des poissons dans la surface totale des cages à deux profondeurs : 9 m et 5 m. Un deuxième comptage est effectué à l'extérieur des cages, dans un couloir de 5 m de largeur bordant le périmètre des cages, à ces deux mêmes profondeurs.

Les observations sont notées selon le protocole exposé ci-dessus.

##### IV.2.2.2. Description des peuplements ichtyologiques

Concernant les individus présents à l'intérieur et à l'extérieur du radeau qui délimite les cages, les formules restent identiques avec cependant une surface d'étude qui diffère des stations de récif pour les calculs de densités et biomasse :

- Surface d'étude à l'intérieur du radeau :  $15 \times 34 = 510 \text{ m}^2$
- Surface d'étude à l'extérieur du radeau :  $(15 \times 5 \times 2) + (34 \times 5 \times 2) + (5 \times 5 \times 4) = 590 \text{ m}^2$

Concernant l'analyse des peuplements à l'intérieur et à l'extérieur du radeau qui délimite les cages, la stratification des analyses sera réalisée par localisation géographique (extérieur, intérieur), toutes profondeurs confondues. Les variables calculées (densité, biomasse, richesse spécifique) au sein de chaque strate (extérieur vs. intérieur) sont donc la somme de ces variables pour chaque profondeur.



### IV.3. ETAT INITIAL SUR LE LIEU D'IMPLANTATION DE LA NOUVELLE STRUCTURE DEM

Une caractérisation de la zone d'emprise du futur démonstrateur a été réalisée à travers une description naturaliste basée sur la réalisation de deux radiales de 120 mètres parcourues en plongée (Figure 4).



Figure 4 : Radiales visitées sur la futur zone du Démonstrateur

Ces radiales sont parcourues suivant une direction Est-Ouest est offre une vision des habitats présents.

## V. STRATÉGIE D'ANALYSE DES DONNÉES BIOLOGIQUES

---

---

### V.1. STATIONS HISTORIQUES SUIVIES DEPUIS 2014

---

Pour chaque matrice étudiée (sédiments, eau, couverture benthique et peuplements ichtyologiques), une analyse de l'évolution temporelle par station (cages ou référence) est réalisée.

Des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs (station et campagne) ont été réalisées sur la couverture benthique et les peuplements ichtyologiques afin d'évaluer la significativité de chacun des facteurs individuellement mais également de l'interaction entre ces deux facteurs. Les données ont été transformées (racine carrée) afin de remplir les conditions de normalité des données et d'homogénéité des variances exigées pour ce type de test (Zar 1999).

Le facteur « station » correspond à l'analyse comparée des deux zones (cages vs référence) constituée chacune par 4 transects. Une évolution significative de ce facteur traduit une différence statistique (positive ou négative) de la variable étudiée entre les zones toutes campagnes confondues. Ces différences témoignent de différences spatiales.

Le facteur « campagne » correspond à l'analyse comparée entre les campagnes de terrain. Une évolution significative de ce facteur traduit une différence statistique (positive ou négative) de la variable étudiée entre les campagnes toutes zones confondues. Ces différences témoignent d'évolutions temporelles.

L'apparition d'une interaction « station x campagne » significative correspond donc à l'apparition d'une l'évolution (positive ou négative) d'au moins une station entre les campagnes. Cette interaction traduit donc la présence d'évolutions différentes dans le temps selon les zones. Dans le reste du document on utilisera le terme signal d'impact pour parler de l'interaction significative « station x campagne ».

Dans le cas différences significatives ( $p < 0,05$ ) notamment de l'interaction, un test post-hoc de Tuckey a été réalisé afin de déceler quelles campagnes sont à l'origine des différences observées.

Aussi dans le cadre de cette étude, une attention particulière est à porter lors de l'apparition d'une évolution significative négative dans la zone des cages alors qu'une évolution positive ou neutre est observée en référence puisqu'elle constitue à priori un signal d'impact potentiel de la ferme.

### V.2. STATION DU DEMONSTRATEUR INITIEES EN 2021

---

Pour chaque matrice étudiée (sédiments, eau, couverture benthique et peuplements ichtyologiques), une description graphique des principaux indicateurs est réalisée. Afin de placer cette nouvelle station dans son contexte environnant, les valeurs obtenues sont comparées à celles des deux stations historiques observées en 2021.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## I. BILAN DE L'ACTIVITE

---

---

Les évolutions en terme d'effectif, de biomasse et de quantité de nourriture apportée depuis Septembre 2014 sont présentés sur la Figure 5.

Depuis 2014, l'effectif de la ferme est monté en puissance pour atteindre un premier pic d'effectif début 2017 (~45 000 individus) suivi d'un pic de biomasse atteint fin 2017 du fait du temps de croissance des poissons. Depuis cette période, les baisses observées sont liées à une augmentation des ventes ainsi qu'une diminution des quantités de Pouattes alevinés.

Entre Septembre 2017 et Septembre 2018, environ 25 000 individus ont été sortis pour la vente (soit une biomasse d'environ 20 t).

En Janvier 2019, une mise en cage d'environ 25 000 individus a été réalisée : deux cages de Pouattes et deux cages de picots rayés. Elle a été suivie d'une vente progressive tout au long de l'année 2019.

Début 2020, un alevinage record de près de 50 000 individus de picots gris et rayés a été réalisé. L'effectif est resté stable puis a diminué au second semestre 2020 successivement à des ventes et certains évènements de mortalité. Cependant, la biomasse n'a que peu augmenté sur cette période. En effet, le poids de vente des picots étant nettement inférieur à celui des Pouattes, la biomasse finale en picots est considérablement inférieure à celle des Pouatte pour un ensemencement équivalent. La quantité de granulés à quant à elle fortement augmenté pour répondre à l'alevinage massif mais les essais de grossissement chez les picots montrent une prise alimentaire moins efficace que chez les Pouattes (comportement, aliment) (Leclerc *com. pers.*).

Les variations de biomasse et de quantité de granulés observées entre 2018 et 2020 confirment ces observations : la biomasse totale a été divisée par quatre et la quantité de granulés apportés n'a quant à elle été divisée que par deux.

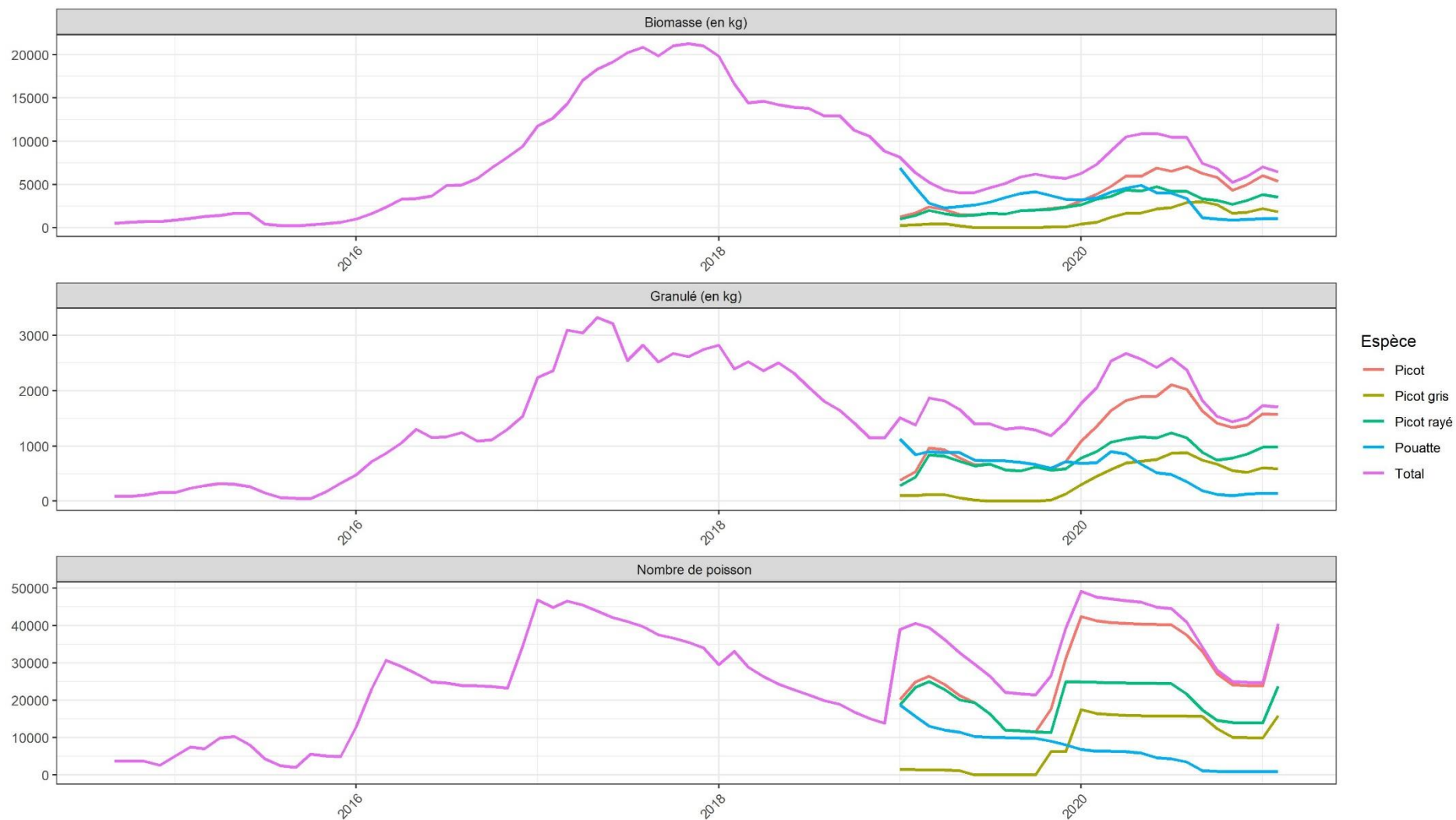


Figure 5: Evolution mensuelle de la quantité de poissons, de la biomasse et de la masse d'aliments dans l'ensemble des cages de la ferme de Touho entre Septembre 2014 et Février 2021.

## II. SUIVI DU SUBSTRAT PAR LIT

### II.1. STATIONS HISTORIQUES - SUBSTRATS INDICATEURS

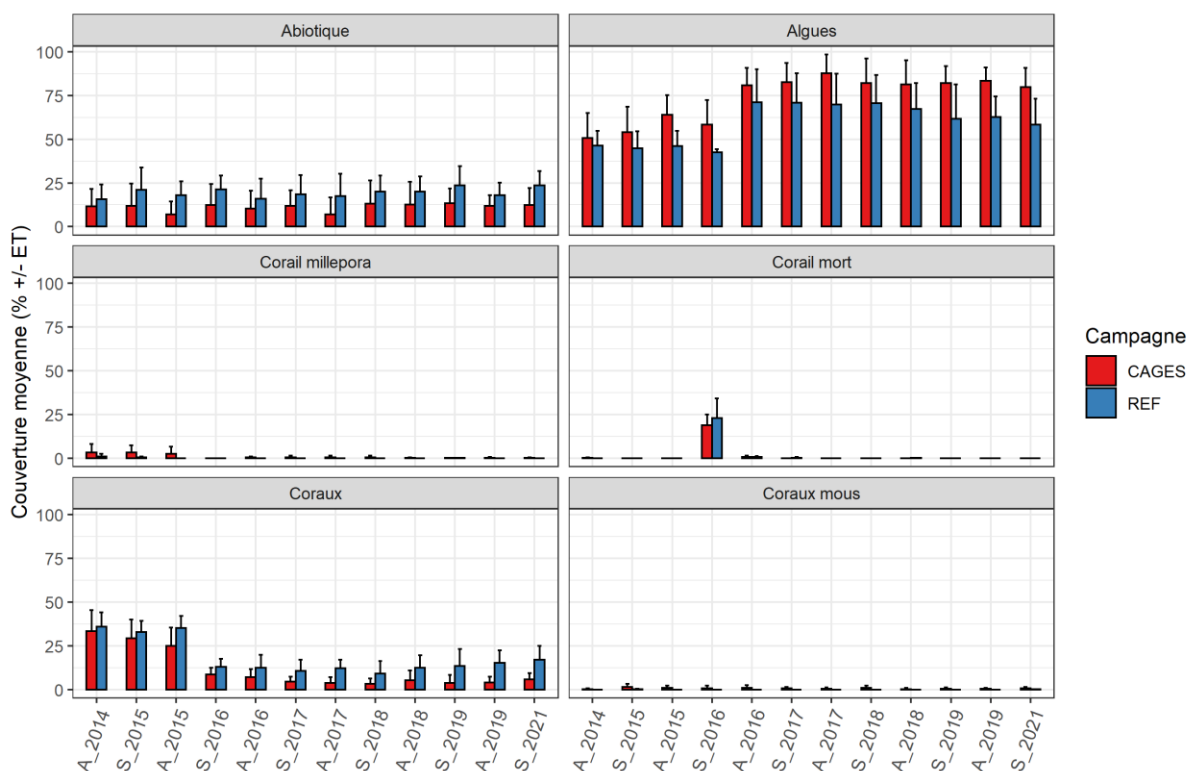
L'analyse statistique (ANOVA à deux facteurs Tableau 1) montre qu'il n'y a pas de signal d'impact lié à la ferme aquacole sur le substrat entre 2014 et 2021. Toutefois, des évolutions significatives entre campagnes sont observées toutes stations confondues (facteur Campagne significatif) et une différence entre stations est obtenue toutes campagnes confondues (facteur Station significatif).

**Tableau 1 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Station) sur les valeurs de recouvrement transformées des différents substrats.**

Facteur	Coraux scléactiniaires	Corail mort	Coraux mous	Algues	Abiotique
Campagne	***	***	NS	***	NS
Station	***	NS	***	***	***
Campagne × station	NS	NS	NS	NS	NS

NS: Non significatif; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001

Les évolutions de couverture des différents substrats par Station sont présentées sur la Figure 6.



**Figure 6 : Evolution de couverture moyenne (% ± ET<sup>1</sup>) des différents substrats par station entre 2014 et 2021**

<sup>1</sup> ET : Ecart type

### II.1.1. Coraux scléactiniaires

Globalement, la couverture corallienne a suivi la même tendance évolutive en zone de référence et en zone d'impact avec à chaque campagne une couverture légèrement supérieure en zone de référence. Cette couverture a oscillé entre 20 et 40% dans les deux zones entre 2014 et 2016 et elle a ensuite chuté lors de l'épisode de blanchissement corallien associé à un épisode de prédation par les acanthasters en 2016. Depuis 2018, elle reste stable dans les deux zones, oscillant autour de 5% autour des cages et de 10% en référence.

### II.1.2. Coraux morts récemment

Les coraux morts récemment sont quasiment absents des transects à chaque campagne sur chaque station sauf en Mars 2016 où une couverture proche de 5% est observée dans les deux zones à la suite de l'épisode de blanchissement. Depuis 2017, cette couverture est quasi-nulle dans chaque zone.

### II.1.3. Coraux mous

La couverture de coraux mous ne dépasse pas 3% à chaque campagne sur chaque station.

### II.1.4. Algues et substrat abiotique

La couverture de turf algaire présente globalement une évolution inversement proportionnelle à la couverture corallienne. Elle a oscillé entre 40 et 60% dans les deux zones jusque 2016 puis a augmenté pour être globalement comprise entre 60 et 80%. L'augmentation observée en 2016 dans les deux zones est liée à la forte mortalité corallienne observée suite au blanchissement, avec une colonisation des coraux morts par de la turf algaire.

La couverture de substrat abiotique (vase et sable) est proche de 10% sur les cages et de 20% sur la référence depuis 2014.

---

## II.2. STATIONS HISTORIQUES - GENRES CORALLIENS

---

Le rapport de Septembre 2014 avait montré la dominance du genre *Acropora* sur les deux sites (SOPRONER 2014). Celle-ci est complétée par le genre *Montipora* et les genres *Porites* et *Pavona* dans une moindre mesure.

Les évolutions de couverture des différents genres coralliens par Station sont présentées sur la Figure 7.

L'étude de l'évolution de couverture des genres montre que la diminution de couverture corallienne observée en Septembre 2016 est principalement liée aux *Acropora* (dans les deux zones) et aux *Montipora* (en référence uniquement).

La présence d'une interaction significative dans l'ANOVA fait apparaître un signal d'impact sur les *Acropora*, avec une diminution de couverture plus prononcée en 2016 autour des cages qu'en référence (Figure 7). Ce même signal d'impact est observé pour le genre *Montipora* dont la couverture a fortement diminué en zone de référence alors qu'elle est restée faible et stable autour des cages.

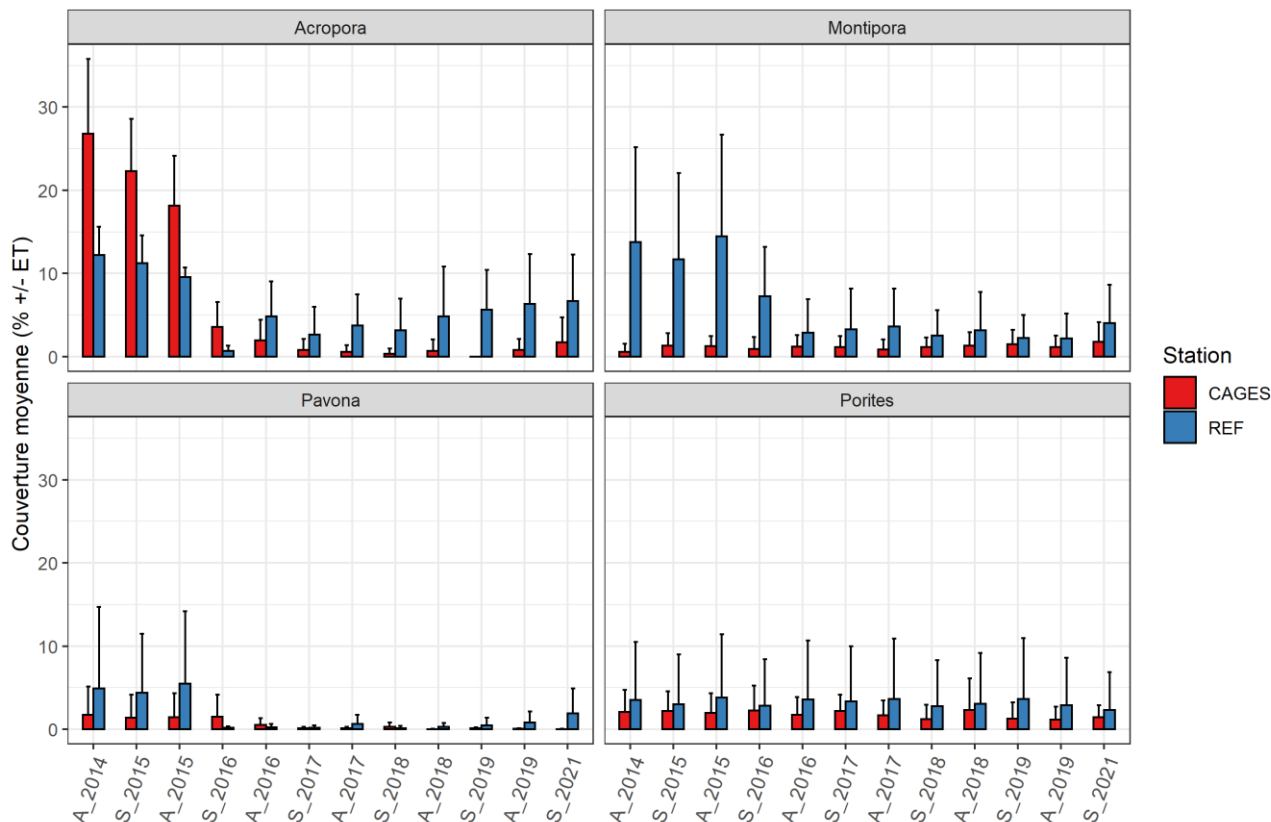
Globalement et depuis 2017, aucune évolution majeure de couverture n'est observée sur les genres *Montipora*, *Porites* et *Pavona* dont la couverture est restée inférieure à 5%. La légère reprise de

couverture corallienne observée en référence depuis 2017 est liée principalement aux coraux du genre *Acropora*.

**Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Station) sur les valeurs de recouvrement transformées des genres coralliens les plus présents. NS : Non significative, \* : significative avec  $p < 0,05$ , \*\*\* : hautement significative avec  $p < 0,001$**

Facteur	Acropora	Montipora	Porites	Pavona
Campagne	***	*	NS	NS
Station	NS	***	NS	NS
Campagne × station	***	*	NS	NS

NS: Non significatif; \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0,001$



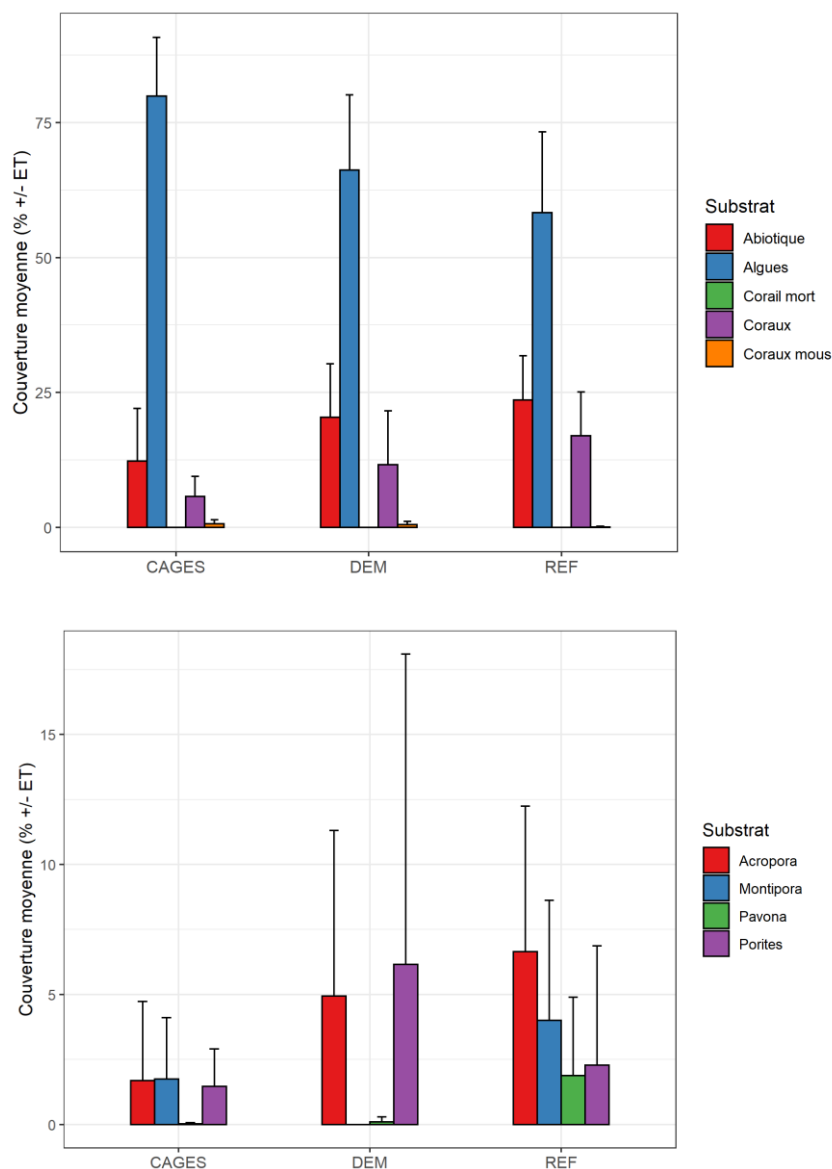
**Figure 7 : Evolution de couverture moyenne (% ± ET) des genres coralliens les plus présents par station entre 2014 et 2021**

### II.3. ETAT INITIAL SUR LA STATION DE SUIVI DEM

La station DEM, installée en 2021, est principalement composée de turf algaire recouvrant du substrat abiotique (dalle, débris, coraux morts anciennement) avec une couverture supérieure à 65% (Figure 8). En moyenne, le reste du substrat se répartit entre les coraux sclérectiniens (11%) et le substrat abiotique totalement composé de vase.

Parmi les coraux, la station est dominée par des *Porites* branchus (environ 11%) et des *Acropora* également branchus (5% environ). Les autres genres sont peu représentés.





**Figure 8 : Couverture par type de substrat (haut) et par genre corallien (bas) en % (+/- ET) sur la station DEM en 2021**

Ainsi, la station DEM présente globalement des caractéristiques proches des stations historiques CAGES et REF. En termes de couverture corallienne, elle se situe entre celles mesurées sur ces deux stations en 2021. Le genre *Porites* est plus présent sur la station DEM que sur les deux autres stations alors que les *Pavona* et *Montipora* sont absents ou peu présents sur la station.

## II.4. ETAT INITIAL SUR LE LIEU D'IMPLANTATION DE LA NOUVELLE STRUCTURE DEM

Une caractérisation de la zone d'emprise du futur démonstrateur a été réalisée à travers une description naturaliste basée sur la réalisation de deux radiales de 120 mètres parcourues en plongée.

Ces radiales sont parcourues suivant une direction Est-Ouest et offrent une vision des habitats présents. La profondeur est située autour de 10-11 mètres et le substrat dominé par des fonds meubles, sableux sur la partie Est et qui deviennent plus vaseux vers l'Ouest, au fur et à mesure que l'on s'écarte de l'influence hydrodynamique du chenal d'entrée de la zone des cages.

Ainsi au début des transects le fond est constitué de sable assez fin et très peu meuble. Aucun récif corallien, vivant ou mort n'est observé. Ce fond plat est essentiellement occupé par des crustacés aveugles, les *Callianasses* qui construisent et vivent dans des terriers avec des tumulis coniques qui permettent l'évacuation des sédiments utilisés. Les terriers aux nombreuses ramifications complexes sont creusés sous 1,50 à 2 mètres sous les sédiments (Figure 9). Ces callianasses vivent en petits groupes pouvant atteindre 10 individus au mètre carré. Sur un hectare, la transformation des sédiments par les callianasses peut atteindre des dizaines de tonnes sur une année (Laboute *com. pers.*). Ces transformations sont probablement indispensables à ces biotopes et contribuent à leur bonne santé. Tout autour de ces callianasses, on observe d'autres terriers de poissons (Famille des *Gobiidae*) vivants avec des crevettes commensales ou autres crabes. Les poissons restent rares au-dessus de ces fonds. Seules deux Astérides sont observées : *Nardoa gomophia*.

Sur la partie terminale des transects, le fond est toujours sédimentaire, mais nettement plus vaseux qu'au début du transect. On y trouve encore de nombreux terriers de callianasses, de *Gobiidae* et autres crabes et crevettes. On notera la présence de quelques Astéries : *Nardoa gomophia*.



Dominance des fonds sablo-vaseux avec terriers à callianasses



Illustration gorgones au sommet des blocs coralliens morts

### Figure 9 : Illustration des fonds marins sous l'emprise du projet de démonstrateur

Il est à noter que lors des investigations le long de la radiale la plus au Nord, une zone de gros blocs coralliens morts de 2 à 3 mètres cubes a été rencontrée. Ces blocs sont recouverts d'alcyonaires du genre *Sarcophyton* sur les parties les plus basses et de grandes gorgones du genre *Melithaea* (Figure 9) sur les sommets avec aussi diverses algues. Tout autour de ces blocs on note la présence de quelques poissons : *Thalassoma lunare*, *Chrysiptera rollandi*, *Pterocaesio pisang*, *Lutjanus fulviflamma* et sans doute beaucoup d'autres non visibles du fait d'une visibilité réduite lors des investigations (1,50 m de visibilité).

Ainsi la zone inspectée est dominée par les substrats meubles sableux et vaseux sans sensibilité environnementale notable. La présence de blocs coralliens morts observé sur une des deux radiales constitue une oasis de biodiversité qui permet le recrutement et l'agrégation de quelques poissons

et plusieurs invertébrés marins. Si la sensibilité de cette zone est plus importante, ce « haut fond » constitue possiblement une entrave à la mise en place des ancrages en fonction de la configuration des installations. Les investigations réalisées ne permettent toutefois pas de confirmer le caractère unique de cette anomalie. La réalisation d'investigations complémentaires à travers un levé bathymétrique permettrait de confirmer la présence éventuelle d'autres hauts fonds sur la zone.

### III. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES

---

---

#### III.1. STATIONS HISTORIQUES - ÉVOLUTIONS TEMPORELLES TOTALES

---

Les graphiques d'évolutions de densités, biomasses et richesse spécifiques de poissons par zone entre Septembre 2014 et Février 2021 sont présentées sur la Figure 10.

Les résultats de l'ANOVA correspondantes sont présentés dans le Tableau 3.

Les niveaux de densité totale mesurés sur les récifs autour des cages et en référence ont évolué en dents de scie sur les stations entre 1,3 et 6,5 indiv/m<sup>2</sup> depuis Septembre 2014 et ne montrent pas de signal d'impact lié à l'activité de la ferme aquacole (interaction « zone x campagne » non significative). Les campagnes précédentes ont montré une forte variabilité au sein des deux stations, illustrée par de grandes barres d'écart types, liées souvent au recrutement ponctuel de petits *Pomacentridae*, ou à la présence ponctuelle de bancs de fusillers. En 2021, la densité observée autour des cages est dans la gamme des densités des campagnes précédentes alors que celle en référence se situe dans la tranche basse de cette gamme.

Concernant la biomasse totale, un signal d'impact, lié à des tendances d'évolutions différentes entre zones, est détecté (interaction « zone x campagne » significative). Nos rapports précédents (SOPRONER 2016) avaient montré une stabilité de la biomasse en Référence, comparée à certaines variations autour des cages liées à la présence ponctuelle de gros bancs de fusillers. Depuis Septembre 2017, la biomasse suit une tendance stable sur chaque station avec toutefois une augmentation autour des cages en 2021 liée à l'observation d'un requin pointe blanche augmentant nécessairement la biomasse sur un transect.

La richesse spécifique totale ne montre pas de signal d'impact lié à la ferme aquacole entre Septembre 2014 et Février 2021 (interaction « zone x campagne » non significative). Globalement, le nombre d'espèces est supérieur autour des cages comparé à la référence sur toute la période (facteur zone significatif). En 2021, la richesse spécifique est la plus faible en référence de toute la série de données. En comparaison à 2019 où elle était maximale, cette diminution est liée principalement aux Carnivores et Herbivores dont le nombre d'espèces a diminué.

Ainsi, l'étude statistique des densités, biomasses et richesse spécifiques globales indiquent l'absence de signaux d'impacts négatifs liés à l'activité de la ferme aquacole.

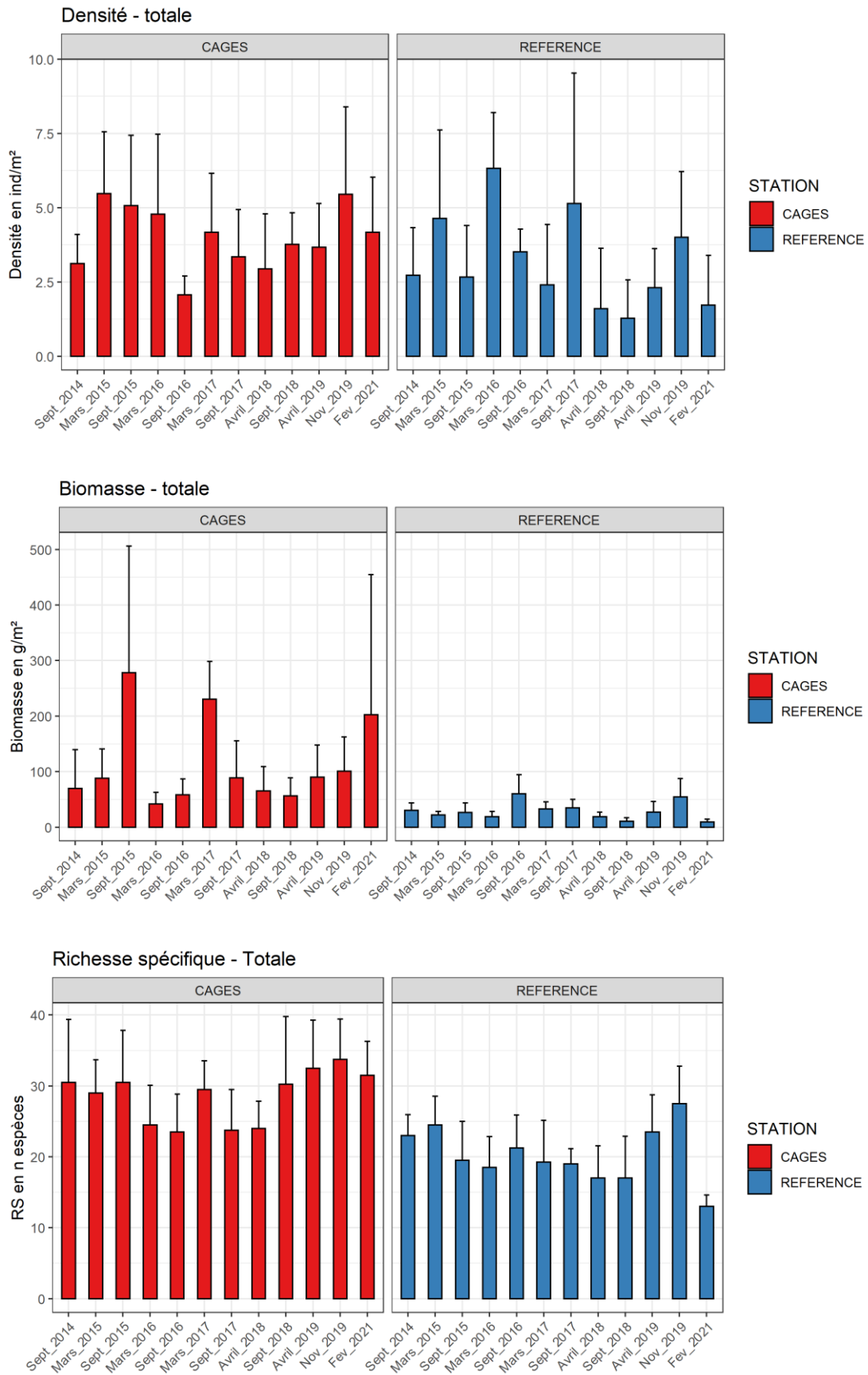


Figure 10 : Variations temporelles de la densité, biomasses et richesse spécifique totales ( $\pm$  ET) entre Septembre 2014 et février 2021 par station.

**Tableau 3 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Station et Campagne) pour les densités, biomasses et richesses spécifiques de poissons. NS : Non significative, \* : significative avec  $p < 0,05$ , \*\*\* : hautement significative avec  $p < 0,001$**

Paramètre	Variable	Effet Campagne	Effet Station	Intéraction Station x Campagne
		Significativité	Significativité	Significativité
Densité	Totale	* $p < 0,05$	* $p < 0,05$	NS
	Piscivore	NS	NS	NS
	Carnivore	*** $p < 0,001$	*** $p < 0,001$	NS
	Herbivore	*** $p < 0,001$	** $p < 0,01$	* $p < 0,05$
	Planctonophage	* $p < 0,05$	* $p < 0,05$	NS
	POMACENTRIDAE	* $p < 0,05$	NS	NS
	CHAETODONTIDAE	NS	NS	NS
Biomasse	Totale	* $p < 0,05$	*** $p < 0,001$	* $p < 0,05$
	Piscivore	NS	*** $p < 0,001$	NS
	Carnivore	NS	*** $p < 0,001$	NS
	Herbivore	** $p < 0,01$	** $p < 0,01$	NS
	Planctonophage	*** $p < 0,001$	*** $p < 0,001$	*** $p < 0,001$
	POMACENTRIDAE	** $p < 0,01$	** $p < 0,01$	NS
	CHAETODONTIDAE	** $p < 0,01$	** $p < 0,01$	NS
Richesse spécifique	Totale	** $p < 0,01$	*** $p < 0,001$	NS
	Piscivore	NS	NS	NS
	Carnivore	** $p < 0,01$	*** $p < 0,001$	NS
	Herbivore	*** $p < 0,001$	*** $p < 0,001$	* $p < 0,05$
	Planctonophage	NS	*** $p < 0,001$	NS
	POMACENTRIDAE	*** $p < 0,001$	NS	NS
	CHAETODONTIDAE	NS	NS	NS

## III.2. STATIONS HISTORIQUES - EVOLUTIONS TEMPORELLES PAR GROUPES

### III.2.1. Densités

Parmi les variables étudiées en densité (Tableau 3), seules les densités de poissons herbivores montrent un signal d'impact potentiel découlant d'une interaction « zone x campagne » significative. L'analyse graphique des densités ne laisse pas apparaître de tendance évolutive pouvant caractériser un impact lié à la présence des cages (Figure 11). Cette interaction semble davantage liée à une forte baisse de densité en référence entre 2019 et 2021 alors qu'elle a peu évolué autour des cages. En 2021, aucun poisson perroquet n'a été observé en référence (genres *Scarus*, *Chlorurus*) alors que 7 espèces étaient présentes en 2019.

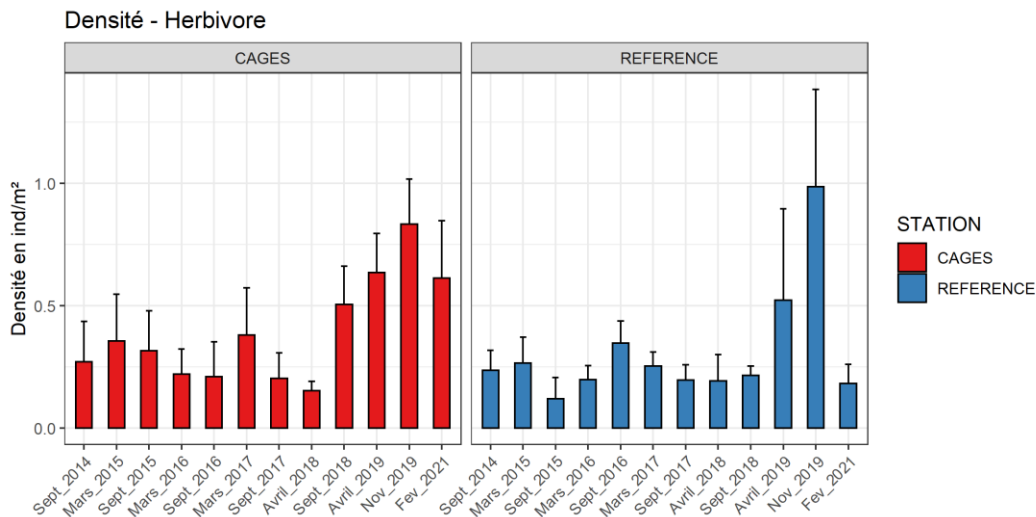


Figure 11 : Evolution de la densité de poissons herbivores sur les deux stations entre 2014 et 2021

### III.2.2. Biomasse

Parmi les variables étudiées en biomasse (Tableau 3), seules les biomasses d'espèces totales et planctonophages présentent un signal d'impact potentiel (interaction « zone x campagne » significative).

L'examen des graphiques montre un pic de biomasse en Septembre 2015 et Mars 2017 autour des cages comparée aux autres campagnes (Figure 13) pour la biomasse totale et de planctonophages. Les rapports précédents ont montré que ces pics étaient liés à la présence ponctuelle de bancs de fusillers de grande taille. En 2021, on rappelle que le pic de biomasse observé autour des cages était principalement lié à la présence d'un requin pointe blanche.

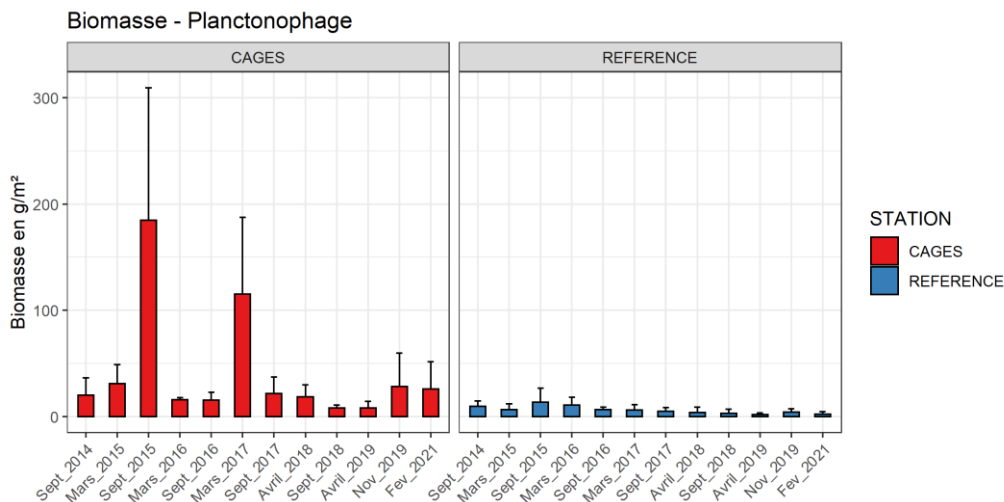


Figure 12 : Evolution de la densité de poissons herbivores sur les deux stations entre 2014 et 2021

Ainsi, aucune de ces tendances ne reflète un impact négatif lié à la présence de la ferme aquacole.

### III.2.3. Richesse spécifique (RS)

Parmi les variables étudiées en richesse spécifique (RS) (Tableau 3), aucun groupe d'espèces ne présente de signal d'impact à l'exception des poissons herbivores (Figure 13). Cette interaction semble liée à la forte baisse de diversité observée entre 2019 et 2021 en référence alors qu'elle est

restée stable autour des cages. Comme précisé auparavant, cette baisse est fortement liée à la disparition de poissons perroquets (7 espèces) mais également des genres *Ctenochaetus* et *Stegastes*.

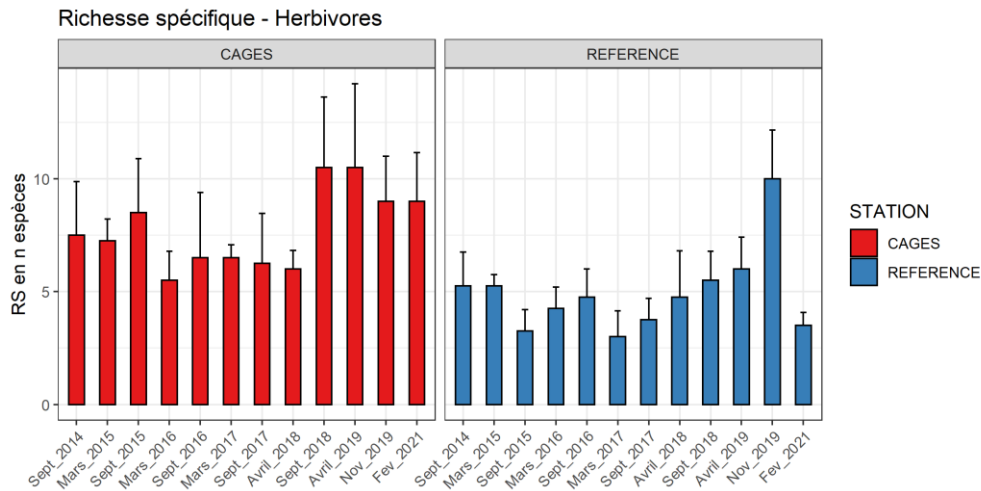


Figure 13 : Evolution de la richesse spécifique de poissons herbivores sur les deux stations entre 2014 et 2021

### III.3. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES À L'INTÉRIEUR ET L'EXTÉRIEUR DES CAGES

Les niveaux de densité sont restés faibles chaque campagne, excepté à certaines campagnes où des bancs de poissons mobiles ont été observés. En 2021, les densités ont été particulièrement faibles à l'intérieur et à l'extérieur des cages.

Concernant la biomasse et la richesse spécifique, les observations réalisées en 2021 à l'extérieur et à l'intérieur des cages sont dans la gamme de ce qui a été observé les années précédentes.

Globalement, les densités, biomasses et richesses spécifiques sous les filets et à l'extérieur des radeaux montrent des variations essentiellement liées à des bancs de poissons très mobiles ou à quelques poissons de belle taille. En moyenne, les valeurs de densité, biomasse et richesse spécifique obtenues restent du même ordre de grandeur que celles observées sur les récifs entourant les cages ou en référence.



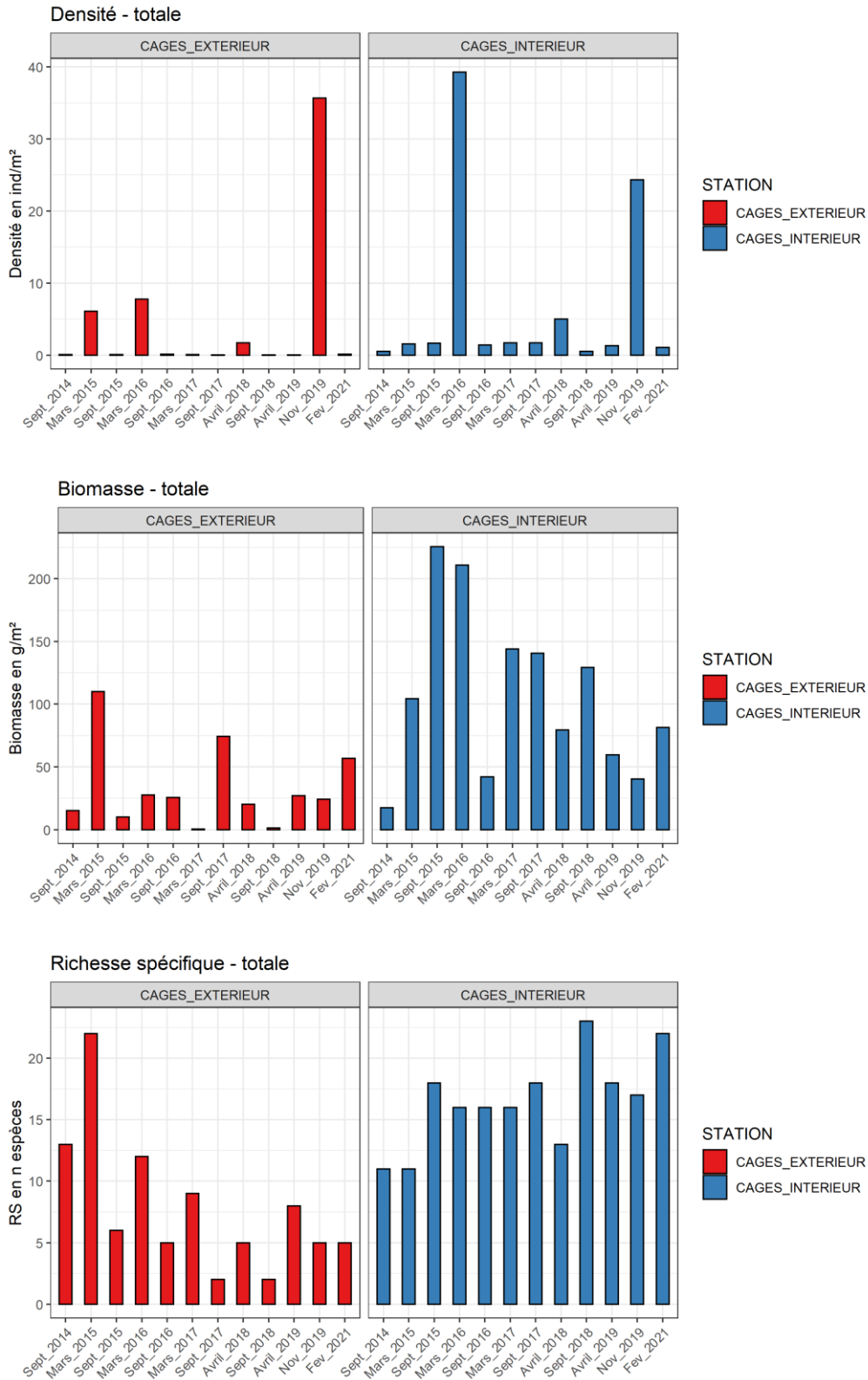


Figure 14 : Evolution de la densité, biomasse et de la richesse spécifique à l'extérieur et dans les cages entre Septembre 2014 et Février 2021

---

### III.4. ETAT INITIAL - STATION DEM

---

En 2021, la station DEM présente une densité totale de poissons (3,3 indiv/m<sup>2</sup>) située entre celle des stations CAGES et REFERENCE (Figure 15). Comme les stations CAGES et REFERENCE, la station DEM est dominée par des planctonophage de la famille des *Pomacentridae*.

La biomasse de la station DEM se situe également entre celle des deux stations de suivi historiques. On rappelle qu'en 2021, la biomasse de la station CAGES est historiquement élevée par la présence d'un requin pointe blanche sur un transect.

Enfin, la richesse spécifique de la station DEM suit cette même tendance et se situe entre les valeurs obtenues sur CAGES et REFERENCE.

Ainsi, tout comme le substrat, cette nouvelle station de suivi présente des caractéristiques similaires en termes de communautés et caractéristiques ichtyologiques à celles des deux autres stations historiques.

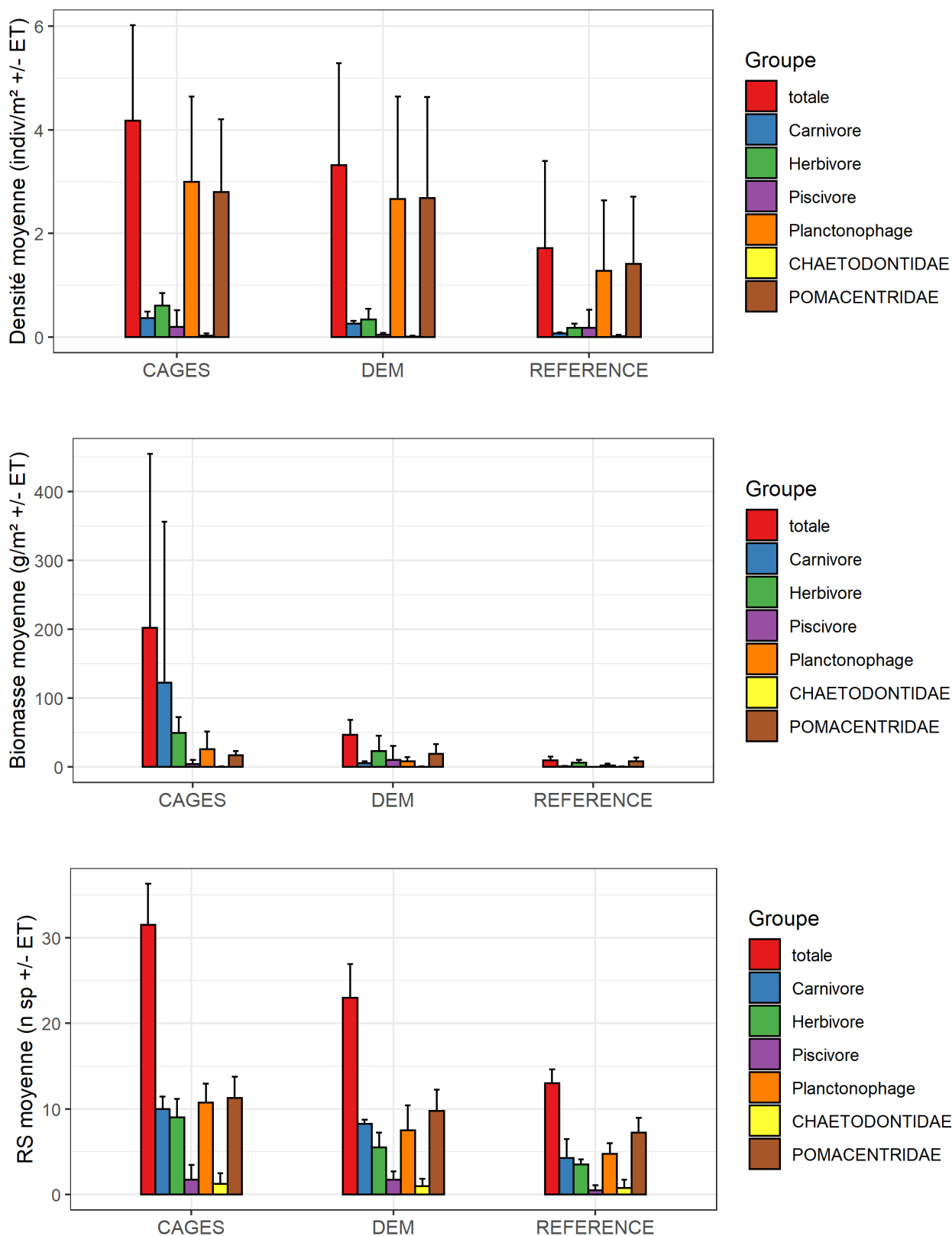


Figure 15 : Densité, biomasse, richesse spécifique totale et par groupe en 2021 sur les 3 stations

## IV. EVOLUTION DE LA QUALITÉ DU SÉDIMENT

---

---

### IV.1. STATIONS HISTORIQUES – EVOLUTION TEMPORELLE

---

Les résultats sur les sédiments sont détaillés sur la Figure 16.

Le niveau de carbone total est proche de 10 % chaque année sur les stations depuis 2014. On observe un niveau de carbone organique total inférieur à 0,5% sur l'ensemble des stations depuis 2014 avec toutefois des anomalies en 2017 sur deux points sous les cages (3,5% environ) et en référence (1,25% environ). Ces anomalies identifiées en 2017 restent ponctuelles et n'ont pas été confirmées depuis. Globalement et hormis pour ces anomalies de faible amplitude, le niveau de concentration en carbone organique reste très en deçà de celles mesurées par Dalto *et al.*(2006) dans la Baie de Sainte Marie sous influence d'effluents urbains (0,53%-1,17%).

La concentration d'azote total présente des valeurs faibles sur les stations, comprises généralement entre 200 et 600 mg/kg chaque année (soit 0,02 et 0,06%<sup>2</sup>) hormis en 2017 où des valeurs anormalement élevées ont été relevées aussi bien en référence que sous les cages (proches de 1000 mg/kg soit 0,1%). Ces dépassements ne sont pas confirmés les années suivantes, bien qu'une faible augmentation soit observée en 2021 pour les trois stations échantillonnées. Les valeurs restent à chaque campagne en deçà des valeurs obtenues sur des stations de baie du grand Nouméa (0,12%-0,2% d'après Grenz *et al.*, 2003). Les dépassements ponctuels sont également inférieurs aux valeurs mesurées dans la Baie de Sainte Marie sous influence des effluents urbains (0,07%-0,15% d'après Dalto *et al.*, 2006).

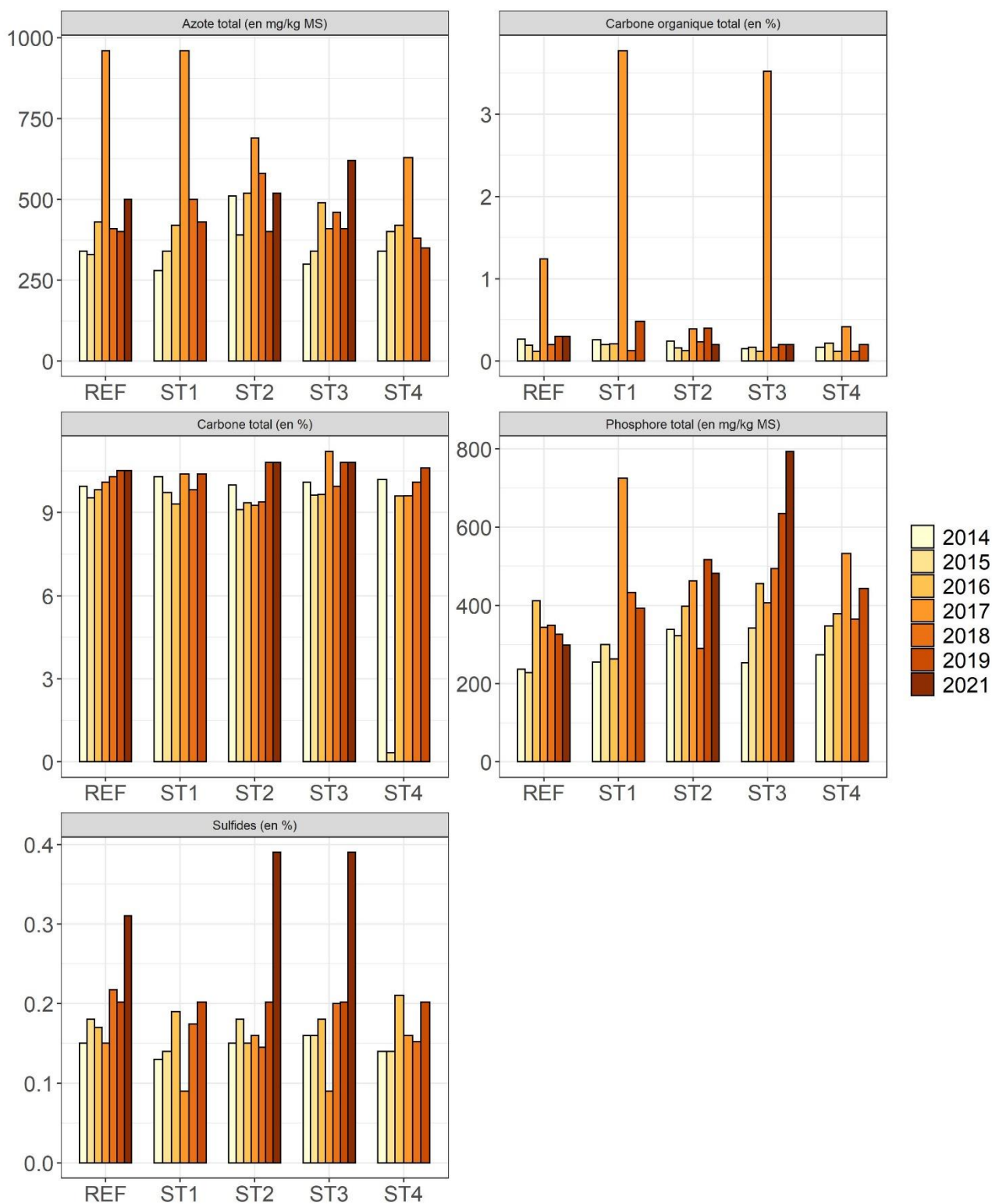
Les concentrations en phosphore restent globalement stables et comprises entre 200 et 500 mg/kg chaque année sur la totalité des stations hormis pour quelques anomalies ponctuelles, notamment ST1 en 2017 (725 mg/kg), ST3 en 2019 (635 mg/kg) et ST3 en 2021 (793 mg/kg).

Enfin, les concentrations en sulfides restent proches ou inférieures à 0,2% sur chaque station jusqu'en 2019. En 2021, une augmentation du pourcentage de sulfides au-delà de 0,3% est observée pour les trois stations échantillonnées, référence incluse.

Ainsi, les sédiments prélevés dans la zone des cages présentent des niveaux de concentration en carbone, éléments nutritifs et Sulfides généralement du même ordre de grandeur que ceux prélevés sur la zone de référence. Les concentrations de P et Sulfides devront toutefois être surveillées lors de la prochaine campagne pour confirmer les légères anomalies observées en 2021.

---

<sup>2</sup> 1%=1/100 et 1 ppm=1/1000000=1 mg/kg d'où 1 mg/kg=0,0001%



**Figure 16 : Concentration en N, P, COT, C et Sulfides des sédiments sur les stations proche des cages (ST1, ST2, ST3 & ST4) ainsi que sur la station de référence (REF) entre 2014 et 2021**

---

## IV.2. ETAT INITIAL DE LA STATION DEM

---

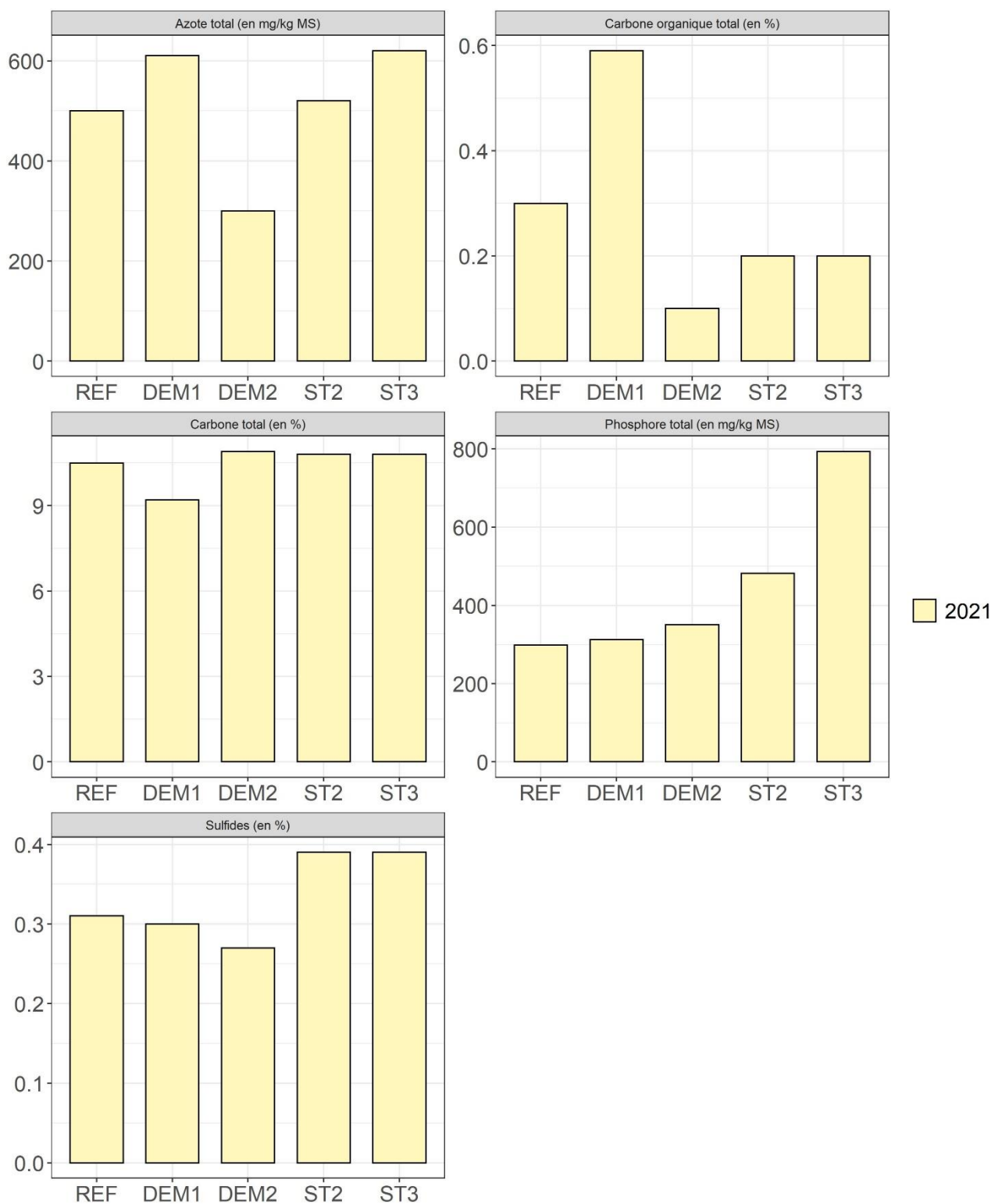
Les stations DEM1 et DEM2 présentent un pourcentage de carbone total similaire à la station de référence et aux stations ST2 et ST3 (entre 9 et 11%) (Figure 17).

Pour les sulfides, les pourcentages n'excèdent pas 0,3% pour DEM1 et DEM2 et sont inférieurs aux pourcentages des autres stations en 2021.

Les concentrations en phosphore total de DEM1 et DEM2 sont similaires à celle de REF (~300 mg/kg), et inférieures à ST2 et ST3 pour lesquelles des concentrations relativement élevées sont observées en 2021, en particulier pour ST3, par rapport aux années précédentes.

La concentration en azote total de DEM1 (610 mg/kg) est proche des concentrations observées sur les stations REF, ST2 et ST3, et supérieure à celle de DEM2 (300 mg/kg).

Enfin, le pourcentage de carbone organique total de DEM1 (0,59%) est supérieur à celui de DEM2 (0,1%) et des autres stations dont les concentrations sont proches ou inférieures à 0,2%.



**Figure 17 : Concentration en N, P, COT, C et Sulfides des sédiments pour l'état initial des stations DEM1 et DEM2 en février 2021. Comparaison avec les stations proches des cages (ST2, ST3) ainsi que la station de référence (REF)**

## V. EVOLUTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

### V.1. STRATIFICATION DES MASSES D'EAU

Les profils d'eau sur chaque station sont représentés sur la Figure 18.

En période sèche (23/02/2021), la colonne d'eau n'est pas stratifiée et les trois zones possèdent des paramètres quasiment identiques.

En période de fortes pluies (13/01/2021), une stratification de la colonne d'eau est observée pour les trois zones avec un adoucissement des eaux proches de la surface. Une différence plus marquée entre les eaux du fond et les eaux de surface est observée pour la zone des cages, ce qui suggère un brassage moins marqué des eaux superficielles.

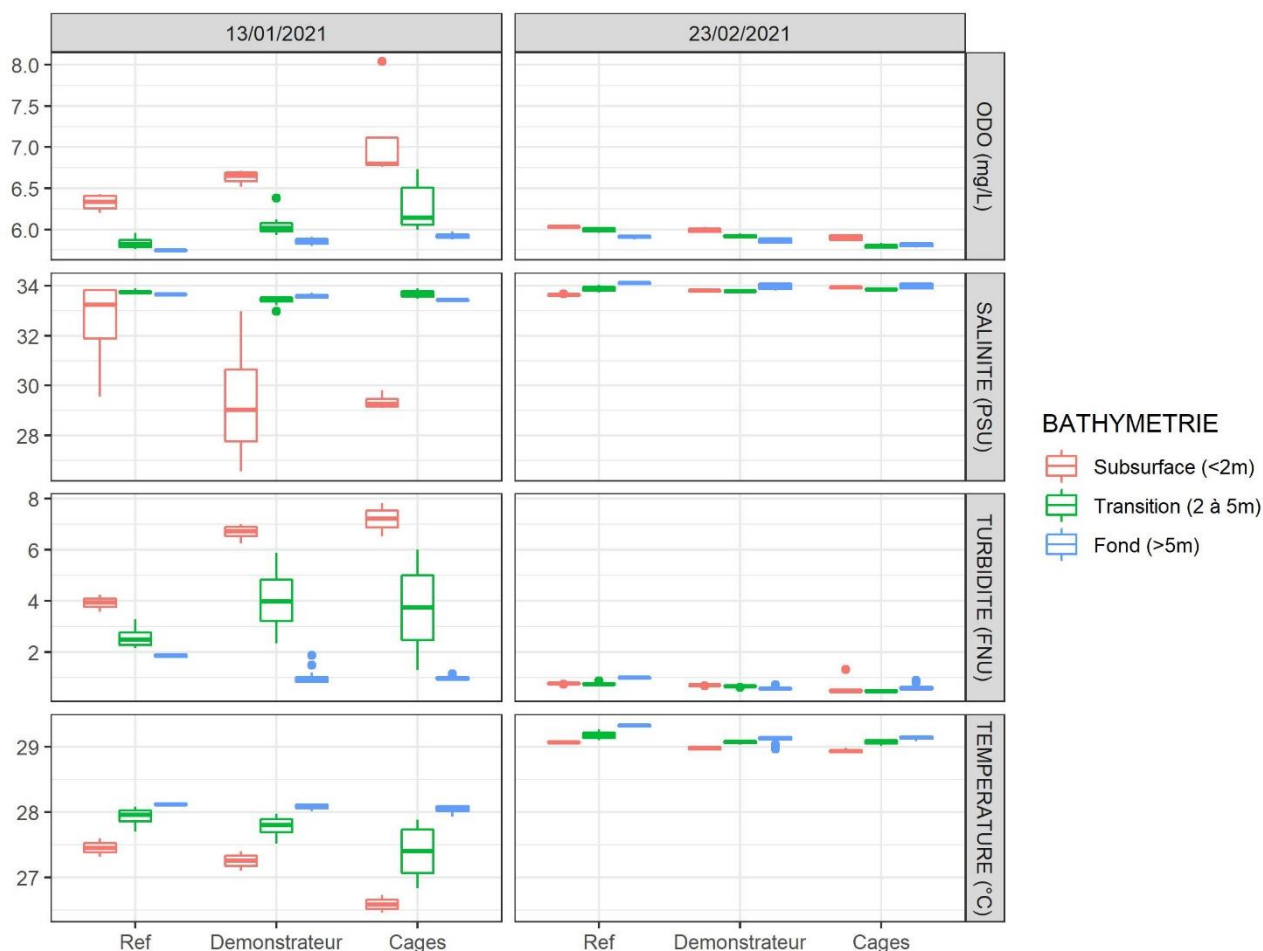


Figure 18 : Paramètres physico-chimique des strates bathymétriques des trois zones étudiées au cours de deux périodes météorologiques (13/01/2021 = fortes pluies / 23/01/2021 : temps sec)



## V.2. STATIONS HISTORIQUES –EVOLUTION TEMPORELLE

---

Les résultats des campagnes de suivi de l'eau (Figure 19) sont présentés en comparaison aux valeurs guides du CNRT (Tableau 4). Les nitrates n'ont pas pu être analysés en Novembre 2019 suite à un problème technique. Globalement, les tendances suivantes sont observées :

- la gamme de concentration pour chaque paramètre mesuré dans la zone des cages est du même ordre de grandeur que celle mesurée dans la zone de référence ;
- la concentration en ammonium reflète ponctuellement une eau de mauvaise qualité selon le guide CNRT entre 2017 et 2019 ;
- l'azote total dont la qualité est moyenne depuis avril 2018 sur les deux zones, a dépassé le seuil de mauvaise qualité sur la zone des cages en février 2021.

Si la fréquence d'échantillonnage annuelle n'offre qu'une vision ponctuelle de la qualité de l'eau au moment du prélèvement, les six campagnes de mesures disponibles depuis Septembre 2017 offrent un aperçu de la qualité de l'eau dans la zone. Ces premières données montrent que les niveaux de concentration mesurés dans la zone des cages sont du même ordre de grandeur que ceux de la zone de référence. Des dépassements sont toutefois observés ponctuellement pour l'ammonium sur les deux zones, et pour l'azote en 2021 dans la zone des cages mais ces dépassements restent faibles.

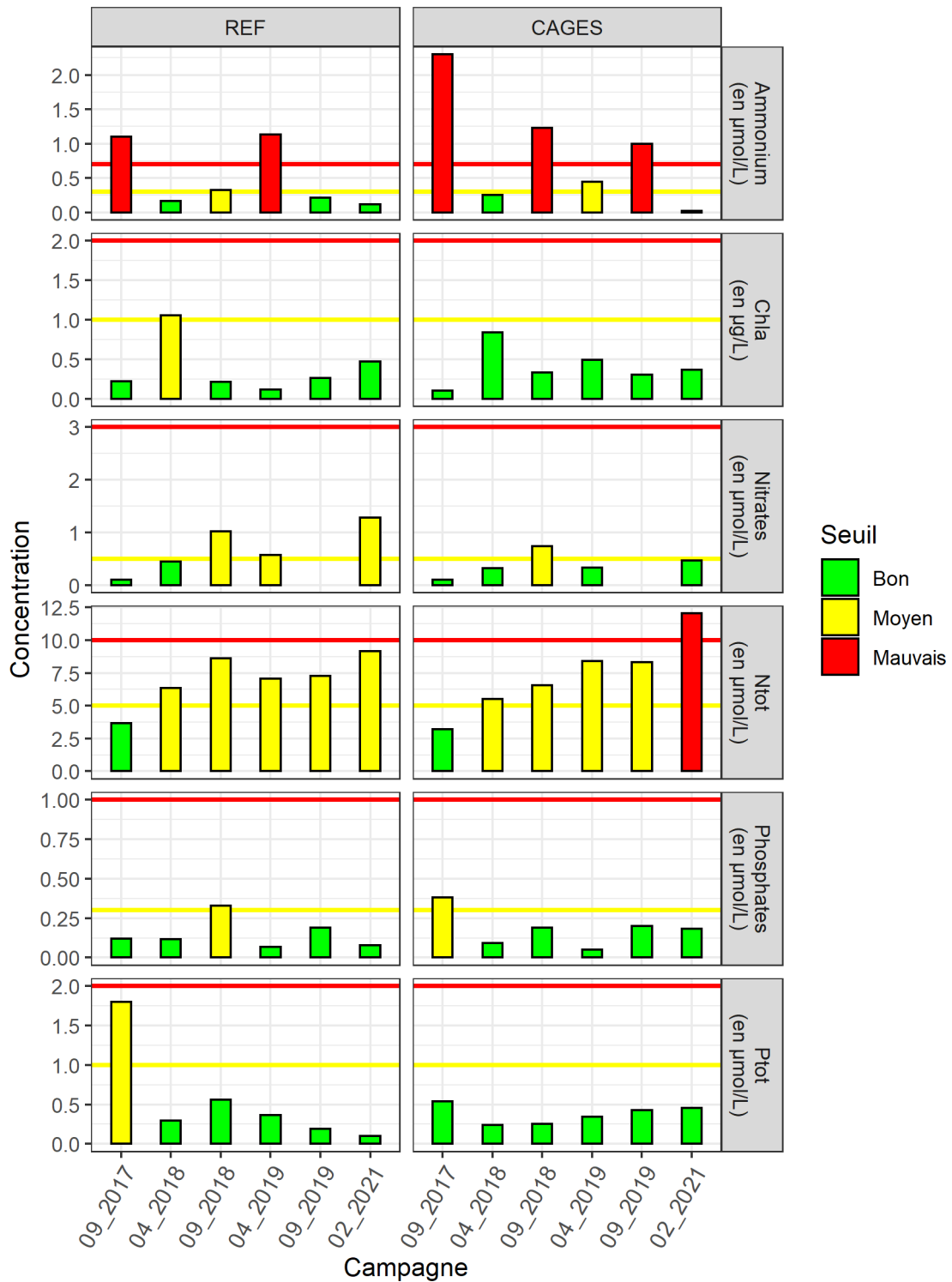


Figure 19 : Concentration en ammonium, nitrates, azote total, phosphates, phosphore total et Chl a dans les eaux depuis Septembre 2017. La ligne jaune représente le premier seuil du CNRT et la ligne rouge, le deuxième seuil

**Tableau 4 : Valeur de référence sur la qualité fournies par le guide CNRT de Nouvelle Calédonie (Beliaff et al 2011)**

CHLOROPHYLLE A (µg/L)	Bon	Moyen	mauvais
Fond de baie, littoral	[0.2 – 1.5[	[1.5 – 5.0[	≥ 5.0
Lagon en milieu côtier	[0.1 – 1.0[	[1.0 – 2.0[	≥ 2.0
Proche récif barrière	< 0.3	Upwelling, bloom [0.3 – 0.5[	≥ 0.5

Tableau 22: valeurs de référence pour les concentrations en azote total dans l'eau

	Bon	Moyen	mauvais
Fond de baie, littoral	< 20	[20 – 50[	≥ 50
Lagon en milieu côtier	< 5	[5 -10[	≥ 10
Proche récif barrière	< 1.5	[1.5 – 3[	≥ 3

Tableau 23: valeurs de référence pour les concentrations en phosphore total dans l'eau

	Bon	Moyen	mauvais
Fond de baie, littoral	< 3	[3 – 6[	≥ 6
Lagon en milieu côtier	< 1	[1 – 2[	≥ 2
Proche récif barrière	< 0.5	[0.5 -1[	≥ 1

Tableau 18 : valeurs de référence pour les concentrations en NH4+ (d'après Arfi, comm. pers., 2010)

NH4 <sup>+</sup> (µmol/L)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu évoluant probablement vers l'eutrophisation
Fond de baie, littoral	< 0.5	[0.5 – 1.0[	> 1.0
Lagon en milieu côtier	< 0.3	[0.3 – 0.7[	> 0.7
Proche récif barrière	< 0.2	[0.2 – 0.5[	> 0.5

Tableau 19 : valeurs de référence pour les concentrations en NO3 (d'après Arfi, comm. pers., 2010)

NO <sub>3</sub> (µmol/L)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu évoluant probablement vers l'eutrophisation
Fond de baie, littoral	< 0.2	[0.2 – 20[	> 20
Lagon en milieu côtier	< 0.5	[0.5 – 3.0[	> 3.0
Proche récif barrière	< 0.1	[0.1 – 0.7[	> 0.7

Tableau 20 : valeurs de référence pour les concentrations en orthophosphate (d'après Arfi, comm. pers., 2010)

ORTHOPHOSPHATES (µmol/L)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu évoluant probablement vers l'eutrophisation
Fond de baie, littoral	< 0.5	[0.5 – 2.0[	> 2.0
Lagon en milieu côtier	< 0.3	[0.3 – 1.0[	> 1.0
Proche récif barrière	< 0.1	[0.1 – 0.2[	> 0.2

Tableau 21 : valeurs de référence pour les concentrations en oxygène dissous

OXYGENE DISSOUS	Bon	Médiocre	Mauvais
Concentrations en oxygène dissous (mg/L)	≥ 5	[2 – 5[	< 2

---

### V.3. ETAT INITIAL DE LA STATION DEM

---

Les concentrations mesurées sur la zone DEM sont du même ordre de grandeur que la zone de référence, ainsi que la zone des cages, pour l'ensemble des paramètres étudiés (Figure 20).

D'après les seuils CNRT, les eaux de la zone DEM sont de bonne qualité pour l'ensemble des paramètres, à l'exception de l'azote total dont la concentration est à la limite du seuil de mauvaise qualité (9,63  $\mu\text{mol/L}$ ).

La concentration en Chla de la zone DEM (0,888  $\mu\text{g/L}$ ) est plus élevée que sur les autres zones et se situe à la limite du seuil de qualité moyenne (1,0  $\mu\text{g/L}$ ).

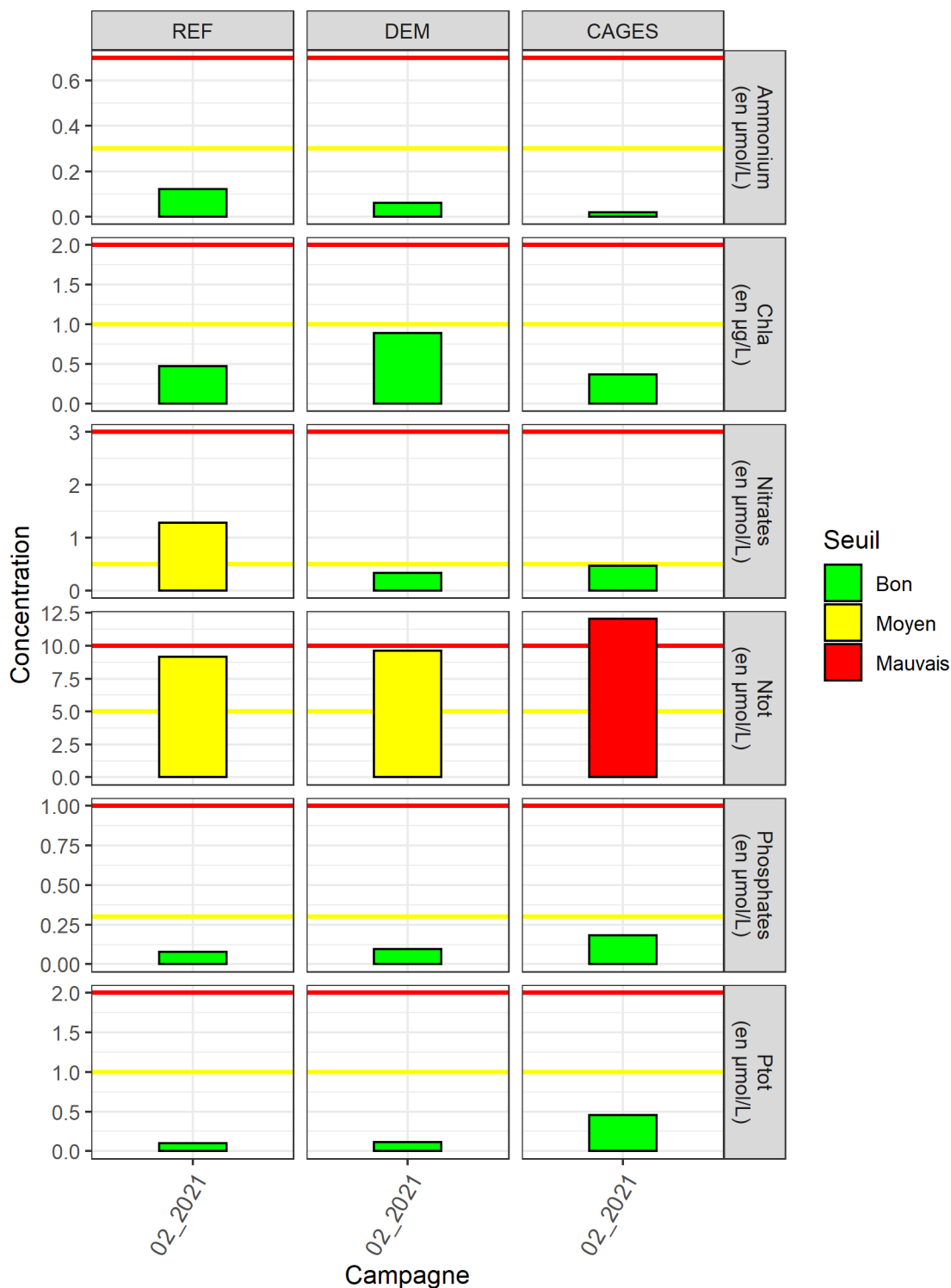


Figure 20 : Concentration en ammonium, nitrates, azote total, phosphates, phosphore total et Chl a dans les eaux pour l'état initial de la zone DEM en Février 2021. Comparaison avec la zone REF et CAGES. La ligne jaune représente le premier seuil du CNRT et la ligne rouge, le deuxième seuil

## **SYNTHESE, PERSPECTIVES & CONCLUSIONS**

Ce rapport illustre les résultats du suivi des substrats benthiques, des communautés de poissons, des colonies coralliennes, des sédiments et de la qualité de l'eau autour de la ferme aquacole de Touho depuis 2014. En 2021, une nouvelle zone a fait l'objet d'un état initial environnemental afin d'y implanter une seconde ferme aquacole.

Les résultats de la campagne de Février 2021 font apparaître les tendances suivantes :

- ✓ Une forte diminution de couverture corallienne avait été observée en Septembre 2016 aussi bien au niveau des cages, qu'en zone de référence suite à une combinaison de facteurs naturels (blanchissement corallien en 2016 et pullulation d'*Acanthasters*). Fin 2016, cette couverture corallienne était proche de 5% au niveau des cages et de 10% en référence. Depuis cette date, elle récupère très lentement en référence (17% en 2021) et n'évolue pas autour des cages. La nouvelle station DEM échantillonnée en 2021 présente des caractéristiques semblables aux deux stations historiques avec une couverture corallienne dans la gamme de ce qui observé sur ces deux autres stations.
- ✓ Des fluctuations de densités, biomasses et richesses spécifiques de poissons naturelles sur les récifs autour des cages et en référence ont été observées depuis 2014 mais aucun signal d'impact lié à la présence de l'activité aquacole n'a été détecté. Les fluctuations sont liées généralement à certains groupes de poissons dont le recrutement semble saisonnier (*Pomacentridae*) ou à d'autres espèces très mobiles observées ponctuellement (fusillers, requins pointes blanches). Comme pour le substrat, la nouvelle station implantée en 2021 présente des caractéristiques similaires à celles des stations « Cages » et « Référence » avec des densités, biomasses et diversités comprises entre celles des deux stations historiques.
- ✓ Un effet agrégatif (Effet DCP) des structures flottantes et de l'activité est avéré mais modéré puisque les densités, biomasses et richesse spécifique sous les filets et autour montrent des valeurs comparables à celles des stations de suivi sur les récifs (Cages et Référence), et ce depuis 2014.
- ✓ Les concentrations d'azote total, de carbone total, de carbone organique et de phosphore dans les sédiments sont restées stables et du même ordre de grandeur sur chaque station à chaque campagne depuis 2014, hormis en 2017 où des valeurs élevées ont été observées en COT et N, et en 2021 pour le phosphore sur ST3. Les dépassements de 2017 n'ont pas été confirmés les années suivantes et les concentrations mesurées autour des cages sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en zone de référence. En 2021, le pourcentage de sulfides des stations REF, ST2 et ST3 a augmenté (presque doublé pour ST2 et ST3), ce qui suggère une anomalie à l'échelle de la zone d'étude, référence incluse. Ainsi, le Phosphore et les Sulfides feront l'objet d'une attention particulière lors du prochain suivi.
- ✓ Depuis l'initiation du suivi des eaux en septembre 2017, les six campagnes de mesures réalisées montrent que les niveaux de concentration des paramètres eutrophisants mesurés dans la zone des cages sont du même ordre de grandeur que ceux de la zone de référence. Des dépassements des valeurs guides du CNRT sont toutefois observés ponctuellement pour l'ammonium sur les deux zones, et pour l'azote en 2021 dans la zone des cages sans pour autant identifier l'origine de cette anomalie. L'analyse des mesures de qualité d'eau *in situ* réalisé lors des profils CTD en situation contrastées (temps sec et temps de pluie) suggère que les forçages météorologiques induisent une stratification des masses d'eau différentes selon la zone considérée, avec la zone de cage plus directement soumises à l'influence des eaux douces du bassin versant.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



- Andréfouët S, Torres-Pulliza D (2004) Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie. IFRECOR Nouvelle-Calédonie, Nouméa
- Beliaff *et al*, (2011) Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle Calédonie. Zoneco, CNRT Nickel.
- Birkeland C, Lucas JS (1990) *Acanthaster planci*: major management problem of coral reefs. Boca Raton: CRC Press. 257 p.
- Dalto AG, Gremare A, Dinet A, Fichet D (2006) Muddy-bottom meiofauna responses to metal concentrations and organic enrichment in New Caledonia South-West Lagoon. *Estuar Coast Shelf Sci* 67:629–644
- English S, Wilkinson CR, Baker V (1997) Survey manual for tropical marine resources. Australian Institute of Marine Science, Townsville
- Grenz, C., Denis, L., Boucher, G., Chauvaud, L., Lavier, J., Fichez, R., Pringault, O (2003) Spatial variability in sediment oxygen consumption under winter conditions in a lagoonal system in New Caledonia (South Pacific). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 285 (286), 33-47.
- Hill J, Wilkinson C (2004) Methods for ecological monitoring of coral reefs. Version 1. AIMS. 117pp.
- Kulbicki M, Guillemot N, Amand M (2005) A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybium* 29(3): 235-252.
- Loya Y, Kramarsky-Winter E (2003) In situ eutrophication caused by fish farms in the northern Gulf of Eilat (Aqaba) is beneficial for its coral reefs: a critique. *Marine Ecology Progress Series* 261: 299–303
- Loya Y, Lubinevsky H, Rosenfeld M, Kramarsky-Winter E (2004) Nutrient enrichment caused by in situ fish farms at Eilat, Red Sea is detrimental to coral reproduction. *Marine Pollution Bulletin* 49, 344–353
- Moran PJ (1986) The *Acanthaster* phenomenon. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 24: 379–480.
- Osenberg CW, Schmitt RJ, Holbrook SJ, Abu-Saba KE, Flegal AR (1994) Detection of Environmental Impacts: Natural Variability, Effect Size, and Power Analysis. *Ecological Applications* 4(1) : 16-30
- SOPRONER (2014) Suivi environnemental relatif à l'exploitation d'une ferme aquacole pilote sur la commune de TOUHO. Rapport annuel 2014. 43pp.
- Underwood AJ (1992) Beyond BACI: the detection of environmental impact on populations in the real, but variable, world. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 161 145–178
- Zar JH (1999). *Biostatistical Analysis*, 4th Edition. Prentice Hall International, London.