



RÉPONSE DU
CONSEIL SCIENTIFIQUE
DE L'ÉTANG DE BERRE SUITE
À LA SAISINE DU GIPREB SUR :

**“ l'évaluation et
les perspectives
d'amélioration
de l'étang de Berre ”**



**Conseil
Scientifique**
de l'étang de Berre



RÉPONSE DU CONSEIL SCIENTIFIQUE
DE L'ÉTANG DE BERRE SUITE
À LA SAISINE DU GIPREB SUR :

“ l'évaluation et les perspectives d'amélioration de l'étang de Berre ”

Le 30 juin 2023

Avant-propos : dans ce document, nous traiterons les questions pour l'étang de Berre en considérant le Grand étang et l'étang de Vaine uniquement. Sera donc exclu de la discussion l'étang du Bolmon pour lequel des forçages différents sont à l'œuvre.

1) Sur la base des données, suivis et études sur le fonctionnement de l'écosystème, l'évolution des différents compartiments montre-t-elle une évolution positive dans l'étang depuis 2005 ?

Les données disponibles sur la physicochimie et composition chimique de la colonne d'eau et de plusieurs compartiments biologiques (macrofaune benthique et macrophytes) dans l'étang de Berre collectées par l'Observatoire du GIPREB dans le cadre du suivi écologique de l'étang de Berre ainsi que des suivis pour la DCE sur la période 2006-2022 ont été examinés pour cet exercice. Ponctuellement les données obtenues dans le cadre de programmes de recherche annexes ont aussi été utilisées de manière complémentaire sur des périodes plus restreintes (suivis physicochimiques, observations satellitaires). Malgré une très forte variabilité temporelle (intra et inter annuelle), caractéristique des lagunes méditerranéennes, les tendances peuvent se résumer ainsi :

- pour le compartiment “eau”, les concentrations en nutriments (NO_3^- , NO_2^- , N total et P total) et en oxygène dissous dans les eaux de l'étang

ainsi que la transparence de l'eau (estimée à partir de la profondeur de disparition du disque de Secchi) ne montrent pas de tendance positive (diminution pour les nutriments, augmentation pour l'oxygène et transparence de l'eau) sur la période 2005-2022. Seules les matières en suspension, les concentrations en Chlorophylle a et les concentrations en NH_4^+ , présentent une tendance à la diminution sur la période 2006-2022. Il est aussi observé une légère tendance à l'augmentation des concentrations en PO_4^{3-} au cours du temps.

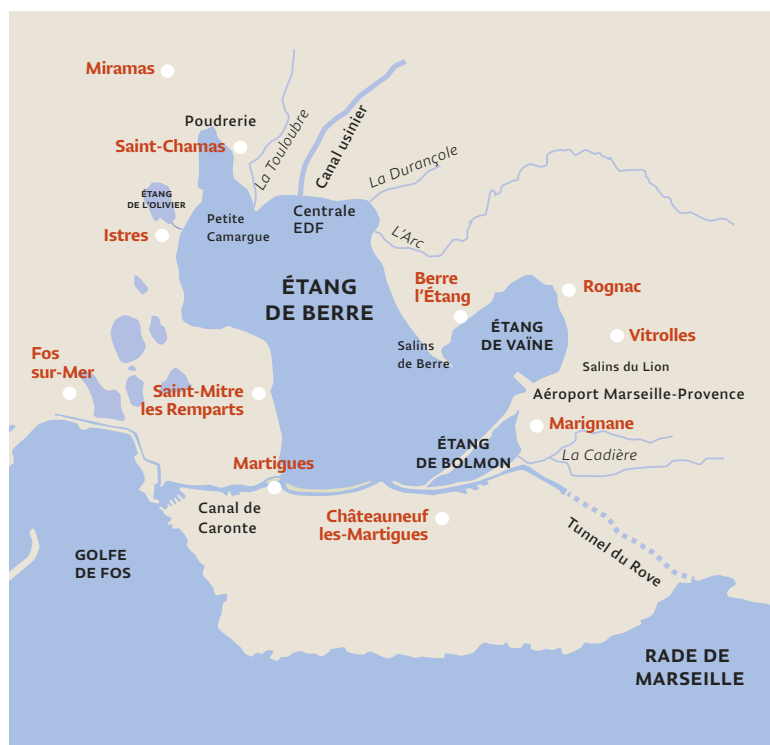
Les suivis DCE entre le Grand étang et l'étang de Vaine indiquent que les concentrations mesurées en azote inorganique dissous, PO_4^{3-} , N total et P total permettent de classer en très bon/bon état la masse d'eau, bien que ponctuellement des déclassements ont pu être observés (ex : classement en état médiocre sur l'azote inorganique dissous dans l'étang de Vaine). Malgré la diminution des concentrations en chlorophylle a, le compartiment phytoplancton fluctue entre un état bon et moyen. Les dernières évaluations de l'état chimique de l'eau (2018), vis-à-vis des substances prioritaires de la DCE, indique un bon état.

Les suivis à haute-résolution temporelle des concentrations en oxygène sur la période 2015-2022 indiquent que les phénomènes de désoxygénation sont très présents dans l'étang de Berre. Ils s'observent en moyenne plus de 40 % (hypoxie) et 25 % (anoxie) du temps à l'échelle annuelle, et jusqu'à 75 % (hypoxie) et 50 % (anoxie) durant la période estivale, dans la zone profonde de l'étang.

- pour le compartiment "macrofaune benthique", aucune évolution de l'abondance et la richesse spécifique depuis 2005 n'a été observée. Les peuplements sont majoritairement dégradés avec des densités faibles (zones littorales) et très faibles (zones profondes) et des richesses spécifiques qui, selon les grilles d'évaluation DCE, oscillent entre des états "moyen" (sur un site au sud du Grand étang, pris en compte dans le suivi DCE, le dernier suivi datant de 2015) et entre "médiocre" à "mauvais" sur les 13 stations suivies mensuellement ou biannuellement par le GIPREB.

- pour le compartiment "macrophyte", les peuplements de l'étang de Berre sont essentiellement composés, depuis 2006, d'espèces opportunistes nitrophiles et euryhalines caractéristiques d'un écosystème lagunaire eutrophisé. Les surfaces colonisées par les herbiers de zostères montrent une progression depuis 2006 (maximum : 17.9 ha), progression qui s'est interrompue puis inversée en 2018 (7.2 ha), avant de reprendre en 2019, pour atteindre en 2022 des valeurs maximales jamais observées depuis 2005 (25.2 ha). Malgré cela, ce compartiment reste classé dans un état "médiocre" par les suivis DCE.

Ainsi, il apparaît que l'écosystème de l'étang de Berre, bien que présentant certains critères physicochimiques et phytoplanctonique de la masse d'eau en amélioration, se maintient dans un état écologique dégradé du fait des compartiments macrophyte et macrofaune qui restent dans un état médiocre et moyen,



respectivement, et sans évolution positive ou négative marquée depuis 2005. L'absence d'évolution positive de ces compartiments est expliquée par le maintien des conditions d'eutrophisation, la récurrence des phénomènes de désoxygénation et la faible transparence de l'eau. La relative stabilité écologique de l'étang de Berre à l'échelle pluri-annuelle, masque en réalité un système fortement dynamique et bien connecté à la variabilité des forçages externes naturels et anthropiques à l'échelle saisonnière/annuelle. Cette connexion pouvant le faire fluctuer, selon l'évolution des forçages hydroclimatiques, entre un état pire (ex : 2018) ou meilleur (ex : 2022).

2) La trajectoire actuelle de l'écosystème laisse-t-elle envisager l'atteinte du bon état au titre de la DCE en 2027 ?

Si depuis 2021 le bon état est majoritairement atteint pour des indicateurs de la qualité chimique, physico-chimique et

phytoplanctonique, cet état reste médiocre et moyen pour les macrophytes et la macrofaune benthique, respectivement. Aucune tendance n'a pu être observée pour la macrofaune benthique, et même si les surfaces occupées par les herbiers de zostères montrent une nette progression depuis 2018, les surfaces actuellement atteintes (25.2 ha en 2022) et potentiellement atteignables en 2027 suivant des projections optimistes (entre 150 et 800 ha selon les modèles d'extrapolations possibles, Figure 1) restent très inférieures à l'objectif DCE (c'est à dire 1500 ha). **Ainsi, l'absence d'amélioration continue de l'état écologique de l'étang de Berre au cours des 17 dernières années montre que, sans limitations des forçages responsables de l'état de dégradation des compartiments « macrophyte » et « macrofaune benthique », la probabilité d'atteindre le bon état écologique en 2027 (soit dans 4 ans !) paraît très faible.**

3) Sur la base des évolutions de l'écosystème depuis la mise en place des modalités de rejets de 2005, est-ce qu'une nouvelle réduction des rejets effectifs de la centrale hydroélectrique serait bénéfique pour l'amélioration de l'étang de Berre, c'est-à-dire le développement des compartiments en mauvais état écologique ?

Les compartiments n'ayant pas atteint le bon état écologique DCE en 2022 sont les macrophytes et les peuplements de la macrofaune benthique. Les facteurs empêchant leur évolution vers des états de bonne qualité sont les conditions d'eutrophisation générées par les apports excessifs en nutriments (notamment en période printanière) qui vont favoriser la production d'algues opportunistes et surtout la récurrence des phénomènes de désoxygénation générés par (I) la stratification de la colonne d'eau, (II) la faible transparence de l'eau (due aux apports en matières en suspension et à la forte productivité phytoplanctonique et (III)

Evolution de la surface couverte par les Zosteres dans l'étang de Berre (ha)

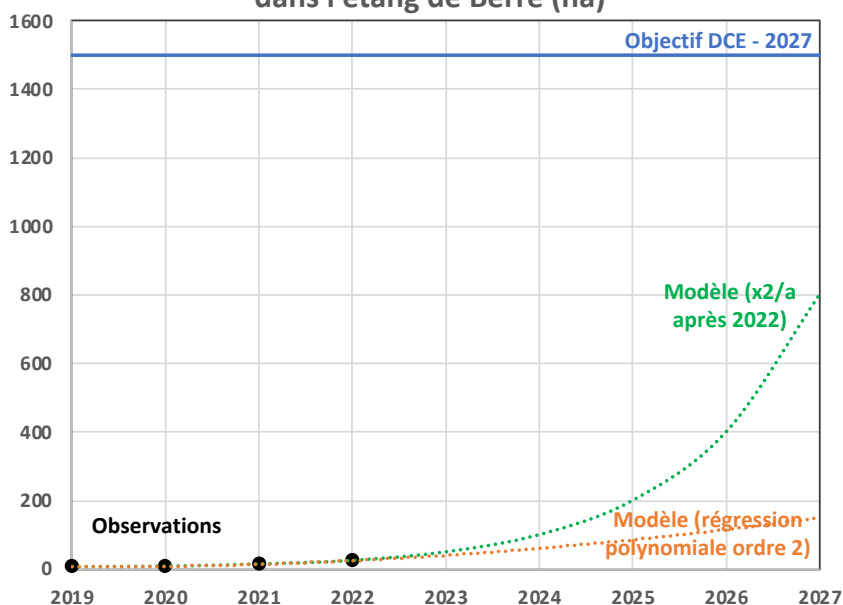


Figure 1 : évolution temporelle de la surface couverte par les herbiers de zostère dans l'étang de Berre mesurée entre depuis 2019 et prédiction de leur évolution selon deux scénarios optimistes. L'objectif seuil DCE est aussi reporté.

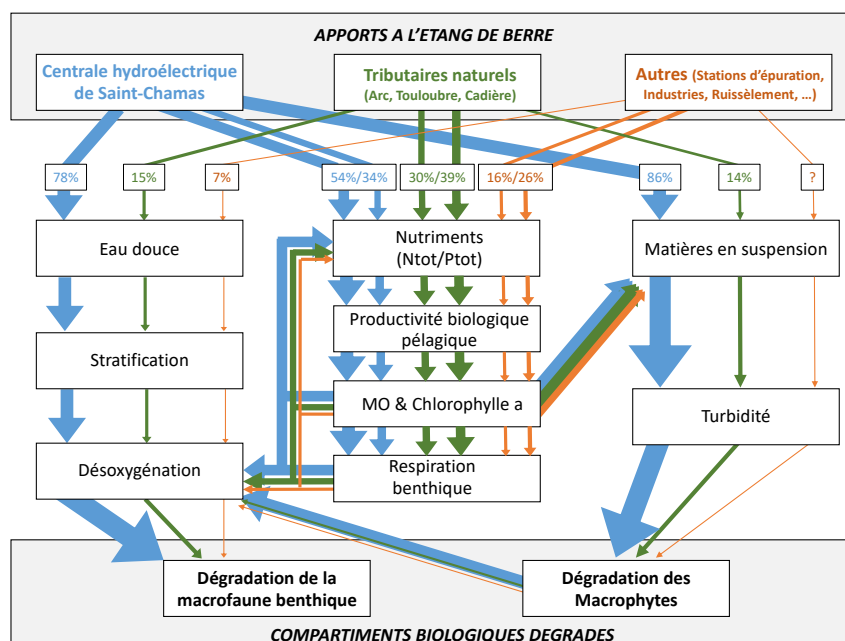


Figure 2 : Représentation schématique des relations entre les apports en eau douce, nutriments et matières en suspension et la dégradation des compartiments biologiques Macrofaune benthique et Macrophytes dans l'étang de Berre. Les contributions relatives moyennes des apports hydroélectriques, des tributaires naturels et autres contributeurs pour la période 2006-2022 sont reportées et leur contributions relatives sont représentées de manière proportionnelle à la taille des flèches. Les proportions respectives de la respiration benthique et pélagique dans le recyclage des nutriments et de la productivité pélagique sur les matières en suspension ont été considérés identiques aux autres forçages impliqués.

la respiration benthique pour la décomposition aérobie de la matière organique. Ces facteurs sont interconnectés et majoritairement conditionnés par les apports du bassin versant en 1) eau douce, 2) nutriments, et 3) matières en suspension selon les processus schématisés dans la Figure 2. Ainsi, seuls les facteurs permettant la diminution de ces apports permettraient une amélioration de l'état écologique des écosystèmes dégradés de l'étang de Berre. Les contributions relatives de la centrale hydroélectrique de Saint-Chamas étant largement dominantes sur les apports en eau douce (78 %), en azote total (53 %), en matière en suspension (88 %) et importantes pour les apports de P total (33 %), **la diminution des rejets en eau, limons et nutriments par la centrale hydroélectrique apparaît comme le moyen le plus direct, le plus accessible, et le plus efficace pour améliorer à court terme l'état écologique des compartiments dégradés de l'écosystème de**

l'étang de Berre. C'est même le seul levier sur lequel les acteurs locaux peuvent facilement agir (les précipitations, la température, l'intensité et la direction des vents n'étant pas contrôlables).

Les données de l'Observatoire du GIPREB pour l'année 2022 démontrent clairement cette conclusion. En effet, l'année 2022 correspond à l'année où les rejets d'eau douce de la centrale hydroélectrique ont été les plus faibles depuis 2005 (358 hm³ en 2022 contre 951 hm³ en moyenne sur la période 2005-2021, soit 62 % de diminution relative) en lien avec des contraintes sur la ressource en eau et la sécheresse exceptionnelle de l'année 2022. En comparaison aux moyennes annuelles de 2005-2021, cette diminution des rejets en eau douce en 2022 a entraîné une réduction significative des autres apports de la centrale hydroélectrique : matière en suspension (-68 %),

N total (-63 %) et P total (-63 %), et, a généré une diminution significative des apports totaux à l'étang de Berre, tous affluents confondus, en eau douce (-56 %), matières en suspension (-69 %), N total (-53 %) et en P total (-29 %).

Les mesures effectuées sur l'étang par l'observatoire du GIPREB montrent que l'année 2022 correspond aussi à l'année où les conditions environnementales ont été les meilleures sur de nombreux paramètres pour la période 2005-2022 :

- i) les plus faibles concentrations moyennes en matières en suspension en surface < 4 m (diminution moyenne de -54 % en 2022 en comparaison à la période 2005-2021) ;
- ii) la meilleure transparence des eaux (augmentation de +63 % de la profondeur moyenne de disparition du disque de Secchi passant de 2.6 m sur la période 2005-2021 à 4.3 m en 2022) ;
- iii) les plus faibles concentrations moyennes en Chlorophylle *a* dans les eaux de surface <4 m (-22 % en 2022 en comparaison à la période 2005-2021) ;
- iv) les plus faibles concentrations moyennes en nutriments azotés NO_3^- (-43 %), NO_2^- (-15 %), NH_4^+ (-21 %) et Ntot (-11 %) sur l'année 2022 en comparaison à la période 2005-2021 dans les eaux de surface <4 m ;
- v) les plus fortes salinités dans les eaux de surface <4 m (+17 % en moyenne en 2022 en comparaison à la période 2005-2021), avec des valeurs dépassant 27 en été et 30 en automne, ayant entraîné les plus faibles différences de salinité moyenne sur l'année entre la surface et le fond (différences de salinité entre le fond et surface deux fois inférieures en 2022 en comparaison à la période 2005-2021) et donc des intensités de stratification les plus faibles depuis 2005 ;
- vi) les meilleures conditions d'oxygénation des eaux profondes >5 m (augmentation de +36 % des concentrations moyennes en oxygène en 2022 en comparaison à la période 2005-2021).

Les mesures haute résolution temporelle 2015-2022 confirment aussi ces tendances avec l'observation en 2022 des meilleures conditions d'oxygénation dans la zone profonde de l'étang en période estivale (concentration moyenne en oxygène de 98 μM durant l'été 2022, contre 45 μM sur la période 2015-2021) qui ont entraîné les plus faibles occurrences des phénomènes de désoxygénation depuis la mise en place du suivi haute résolution en 2015 (48 %/35 % du temps en hypoxie/anoxie en 2022 contre 71 %/52 % en moyenne sur la période 2015-2021).

Seules les concentrations en nutriments phosphorés, PO_4^{3-} et P total, présentent en 2022 des concentrations moyennes supérieures (+30 % et +8 %, respectivement) aux concentrations moyennes mesurées sur la période 2005-2021. Cette particularité est probablement à mettre en lien avec le caractère limitant du P dans la productivité de l'écosystème de l'étang de Berre et la plus faible productivité de l'écosystème en 2022 en lien avec la diminution des concentrations en N. L'écosystème de l'étang de Berre semblerait donc tendre vers un nouvel équilibre stœchiométrique avec une contribution relative moins limitante en P (par rapport à N). C'est probablement cette tendance qui est responsable de l'augmentation des concentrations en PO_4^{3-} au cours de la période 2005-2022.

L'inertie des compartiments de la macrofaune benthique et des macrophytes ne permet probablement pas de répondre à l'échelle d'une année à ces conditions plus favorables. Cependant des signes indicateurs de réponses positives de ces compartiments ont été observés en 2022 :

- présence d'espèces de la macrofaune benthique toute l'année dans la zone profonde de l'étang ainsi qu'une augmentation continue de la richesse spécifique sur les littoraux et en zone profonde ;

- modification des peuplements de macrophytes avec la diminution des Gracilaires au profit des *Ceramium*, espèces plus halines ;
- augmentation de la surface recouverte par des herbiers de zostères (maximum jamais observé depuis 1990).

Les meilleures conditions physicochimiques et biologiques de 2022 sont d'autant plus remarquables et importantes à souligner qu'elles ont été observées alors que les conditions météorologiques étaient plus défavorables qu'au moment de la crise de malaïgue de 2018 : températures plus élevées en 2022 qu'en 2018 sur la période estivale et fréquence des vents forts (>10 m/s, reconnus comme permettant le brassage de la colonne d'eau) équivalente à plus faible en 2022 en comparaison à 2018. Ceci **met en évidence la meilleure résistance de l'écosystème de l'étang de Berre aux phénomènes de malaïgue lorsque les conditions de stratification, de pénétration de la lumière et d'eutrophisation sont meilleures.**

Ces observations supportent donc le rôle dominant des apports de la centrale hydroélectrique, en tant que contributeur principal en eau douce, MES et nutriments, (I) dans le contrôle des conditions physicochimiques dans l'étang de Berre et dans le maintien d'un état dégradé des compartiments biologiques macrofaune benthique et macrophytes, et (II) dans la plus faible résistance de l'écosystème de l'étang de Berre à des variations "extrêmes" des forçages météorologiques. La réduction de ces rejets contribuerait donc à une amélioration de l'état écologique de l'écosystème de l'étang de Berre et à une augmentation de sa résistance aux forçages climatiques attendues.



Zostères naines.

4) Dans le cas où une nouvelle réduction et/ou de nouvelles modalités de rejets apparaîtraient favorables au fonctionnement de l'étang, est-ce que le protocole de réduction envisagé, et notamment la saisonnalité et les objectifs définis pour l'évaluation des effets sur le milieu sont pertinents ?

Le conseil scientifique juge le protocole de réduction/modalité de rejets proposé assez peu ambitieux. En effet, les seuils de rejets proposés sont similaires aux niveaux de rejets moyens effectués par la centrale hydroélectrique sur la période 2005-2021 : rejets annuels liquides limités à 900 hm³ alors qu'ils sont de 951 hm³ en moyenne sur la période 2005-2021 (proposition d'une diminution relative d'environ 5 %) ; rejets annuels solides limités à 45000 t alors qu'ils sont de 47718 t en moyenne sur la période

2005-2021 (proposition d'une diminution relative d'environ 5 %). Ces seuils sont aussi moins contraignants sur la salinité (respect d'une salinité supérieure à 15 pour 95 % des valeurs et respect d'une salinité supérieure à 20 pour 70 % des valeurs).

Le seul point qui apparaît positif et novateur est la contrainte sur la période de rejets, limitant les rejets pendant la période estivale étendue (1^{er} avril – 30 septembre). Cet aspect nous semble prioritaire du fait du délai démontré entre la temporalité des rejets et la mise en place de la stratification dans la zone profonde de l'étang (env. 2.5 mois) et permettant donc de limiter au mieux les phénomènes de stratification pendant l'été, période la plus favorable pour les phénomènes de désoxygénation. Cependant, la possibilité de rejets estivaux lorsque la salinité de surface (0-5 m) est supérieure à 25 est controversée. Dans les faits, si cette condition permettrait de limiter les rejets au printemps (avril-juin – salinité en surface généralement < 25) et donc de limiter les phénomènes de stratification dans la zone profonde en été, elle pourrait occasionner des rejets pendant la période de juillet-septembre et favoriser localement les phénomènes de stratification dans d'autres parties de l'étang, et favoriser la survenue de blooms algaux estivaux, associés à l'apport soudain de nitrates, nutriments limitant dans l'étang en été. **Le conseil scientifique pense qu'un arrêt complet des rejets hydroélectriques pendant la période estivale étendue serait plus pertinent.**

Le protocole de suivi de l'efficacité et les objectifs visés est ambitieux et pertinent car il englobe des facteurs forçants directs (transparence/lumière, oxygène) pour les macrophytes/macrofaune, compartiments n'ayant pas atteint le bon état écologique. **La clause permettant de modifier le protocole de réduction/modalités de rejets si ces objectifs n'étaient pas atteints nous semble aussi essentielle.**



Centrale EDF de St Chamas

Quels sont les points de vigilance ? Quelles propositions d'amélioration le conseil scientifique peut-il proposer tant sur le volet réduction que sur le suivi ou les objectifs ?

Le conseil scientifique souhaite apporter trois points de vigilance et des propositions sur les protocoles de rejets/suivis et objectifs :

- 1) concernant le protocole de suivi.
la mesure à haute résolution temporelle des concentrations en oxygène dans la couche 0-5 m génère de nombreuses contraintes associées aux salissures (*fouling*) des sondes autonomes qui impliquent aussi la mesure de la salinité *in situ* et de la pression barométrique en parallèle. La fréquence de suivi de deux mois est clairement trop faible pour espérer obtenir des données de qualité. Les options seraient l'utilisation de sondes autonomes à nettoyage intégré (effort financier) ou d'augmenter la fréquence d'intervention sur site pour l'entretien des sondes, à hauteur d'une intervention toutes les deux semaines en été et d'une intervention par mois en hiver (effort humain).

- 2) concernant l'objectif sur l'oxygénation et l'absence complète d'anoxie et 95 % du temps en normoxie dans les zones < 5 m.

Cet objectif est très ambitieux, probablement non atteignable, concernant les anoxies. En effet, les phénomènes de désoxygénation dans l'étang de Berre s'initient dans le bas de la colonne d'eau en zone profonde et se propagent ensuite aux zones moins profondes du fait du déplacement de la masse d'eau profonde désoxygénée sous l'effet de forçages externes physiques (vent, pression barométrique, marée). Ainsi des phénomènes ponctuels d'anoxie peuvent s'observer dans les zones moins profondes, euphotiques et habituellement bien brassées. L'absence complète d'anoxie dans l'étang de Berre ne saurait donc être atteinte que dans un système ne présentant pas de phénomène d'anoxie en zone profonde. Sur la période 2015-2022, les conditions d'anoxie sont présentes durant 23 % du temps en zone profonde (8.5 m) et durant 5% du temps entre 3.5 et 6 m de profondeur. Sur la même période, les conditions normoxiques sont présentes à hauteur de 80 % du temps entre 3.5 et 6 m de profondeur. Dans un milieu côtier tel que l'étang de Berre, probablement qu'un critère moins restrictif sur l'anoxie et incluant une notion de durée serait plus adapté (ex : anoxie inférieure à 3 % du temps et absence d'anoxie d'une durée supérieure à 12 h).

- 3) concernant les objectifs visés.

Il est probablement aussi important d'étudier la dynamique du système avec une tendance positive sur les premières années du suivi (ex : 3-4 ans). L'atteinte immédiate des objectifs n'est probablement pas possible dans un milieu aussi dynamique et inertiel que l'étang de Berre.

La recherche d'un équilibre optimal entre les exigences du milieu aquatique et le maintien d'une production d'énergie décarbonée par une approche expérimentale itérative de la question des réductions d'apports d'eau douce durancienne dans la gamme de rejets comprise entre 900 et 600 hm³ par an, constitue-t-elle une voie pertinente ?

Comme dit précédemment, les seuils de rejets proposés sont peu ambitieux car très proches des rejets actuels. Il existe probablement un juste équilibre à trouver entre les apports récents, 950 hm³ d'eau douce en moyenne par an (pour lesquels aucune amélioration marquée de l'écosystème n'est apparue au cours des 17 dernières années et n'ayant toujours pas permis l'atteinte du bon état écologique de l'ensemble des compartiments biologiques suivis), et les apports observés en 2022, 358 hm³ d'eau douce (pour lesquels une réponse positive immédiate des conditions physicochimiques, une meilleure résistance au phénomène de maïgüe, et des tendances positives pour les compartiments biologiques ont été observées). En se plaçant uniquement du point de vue de l'état écologique de l'écosystème de l'étang de Berre, les observations de 2022 tendraient à positionner un seuil maximal des rejets autour de 350 hm³ comme un très bon objectif. Cependant cet objectif n'est probablement pas optimal considérant la

capacité de résilience de l'écosystème et les besoins et contraintes associés à la production hydroélectrique. Le conseil scientifique préconise donc 1) d'abaisser de manière raisonnable mais significative les seuils de rejets d'eau douce (et de limon) en soustrayant aux volumes annuels moyens rejetés sur la période 2005-2022 (environ 950 hm³), les volumes moyens rejetés entre le 1^{er} avril et 30 septembre sur la même période (soit environ 250 hm³), ce qui porterait à une limitation sur les rejets en eau à 700 hm³/a. et 2) d'interdire tout rejet sur la période estivale étendue (1^{er} avril - 30 septembre). Ce protocole pourrait être proposé pour une période de 3-4 ans, à l'issue de laquelle un nouveau bilan serait fait afin d'évaluer si ces seuils et modalités de rejets s'accompagnent d'une dynamique positive sur les compartiments biologiques.

En parallèle, des travaux de recherche sur les couplages existant entre les apports d'eau douce, les MES et les nutriments sur la stratification, la désoxygénation, l'eutrophisation et la transparence de l'eau ainsi que sur l'évaluation des flux admissibles devraient être encouragées et idéalement accompagnées. Parallèlement, l'utilisation des outils de la modélisation permettant de tester différents scénarios de rejet entre 0 (dérivation totale), 300, 500, 700 (notre préconisation) et 950 hm³/a serait pertinente.



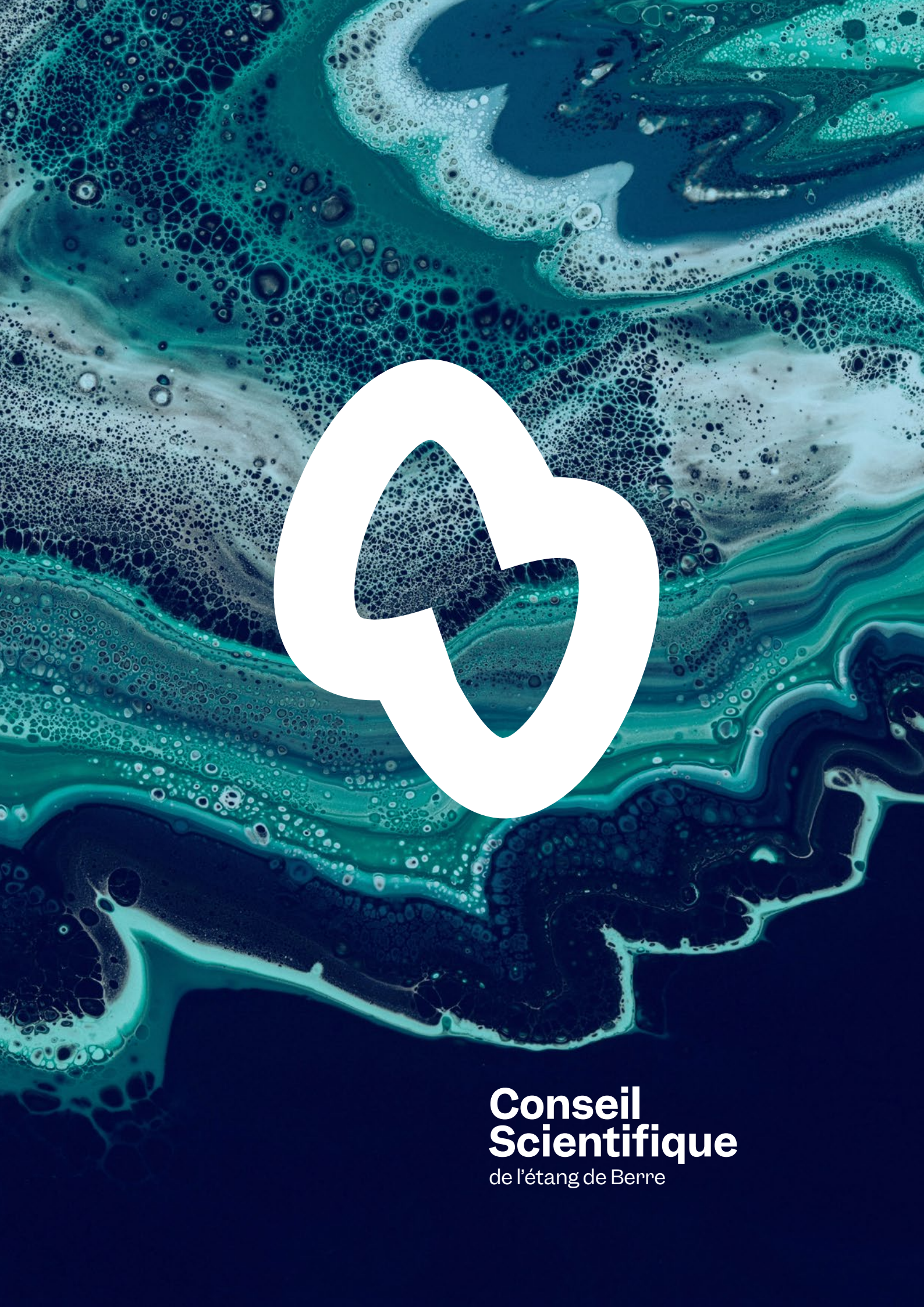
Le 30 juin 2023

Le Conseil Scientifique de l'étang de Berre

Sylvain Rigaud (Président)
 Catherine Fernandez
 Annie Fiandrino
 Christelle Gramagla
 Gérald Grégori
 Delphine Nicolas
 Julie Olivero
 Eve Truilhé-Marengo
 Marc Verlaque

Avec la participation des experts:

David Doxaran
 Christian Grenz
 David Nérini



**Conseil
Scientifique**
de l'étang de Berre