

**Quel objectif écologique atteignable en 2027
pour l'étang de Berre ?**
(au titre de la Directive Cadre européenne sur L'Eau)

Volet 1 de la réponse à la saisine du Préfet coordonnateur de bassin

1. Contexte de la saisine

La saisine adressée au conseil scientifique le 26 mai 2016 par le Préfet coordonnateur de bassin indique que le Préfet souhaiterait « *pouvoir disposer d'un avis indépendant du conseil scientifique du comité de bassin pour m'éclairer sur les évolutions du milieu au regard des objectifs de la DCE. Une première analyse des résultats des suivis physiques et biologiques de l'étang de Berre au regard de ces objectifs serait donc sollicitée sur la base des documents transmis par la DREAL PACA* »

Le Conseil Scientifique a reçu un ensemble de documents produits par le Groupement d'Intérêt Public pour la Restauration de l'Etang de Berre (GIPREB) et Electricité de France (EdF), en particulier un rapport établi spécialement dans le cadre de cette saisine, qui fait le point sur la situation actuelle de l'Etang de Berre :

- la situation de l'Etang par rapport aux paramètres fixés par la DCE ;
- des paramètres supplémentaires explicatifs de la situation environnementale ;
- la mise en évidence d'une divergence entre GIPREB et EDF quant à la raison de la faible amélioration du milieu après 10 années de diminution des apports usiniers de Saint Chamas.

Ces rapports ont été présentés et discutés en séance par l'ensemble des membres du conseil scientifique.

Dans une première étape comme demandé par le Préfet, le conseil scientifique a examiné les documents fournis en vue :

- d'évaluer la situation environnementale de l'Etang par rapport aux objectifs de bon état fixés par la DCE et de la probabilité de les atteindre (§ 2) ;
- de prendre connaissance des positions tenues par le GIPREB et EdF quant aux raisons scientifiques de la situation actuelle, de les évaluer, et le cas échéant de suggérer des pistes de recherche indispensables à la prise de décision par l'Etat, en particulier concernant l'argumentaire devant être avancé pour défendre un objectif DCE moins contraignant (§ 3) ;
- de préparer le deuxième volet de la saisine (§ 3.5).

Ce qui suit constitue l'avis du conseil scientifique sur le premier volet de la saisine. Il a été établi à partir des informations transmises par le GIPREB et EdF sous la forme d'un rapport que les deux structures ont établi conjointement pour les besoins de cette saisine.

2. Synthèse de l'avis du conseil scientifique établi sur la base de l'examen du rapport commun GIPREB-EdF.

- ⇒ Les macrophytes apparaissent comme le principal descripteur déclassant, sur lequel il apparaît difficile de recouvrer le bon état écologique à l'horizon de dix ans. Les zostères étaient très présentes avant l'installation de la centrale de Saint-Chamas. Avec le taux de croissance observé, cohérent avec les données de la littérature, on ne voit pas comment atteindre en dix ans les 50% de surfaces potentielles colonisées correspondant à la limite du bon état écologique. Pour étayer l'argumentaire pour un objectif moins strict pour 2027, il sera nécessaire de compiler la bibliographie existante sur les expériences de réimplantation/recolonisation d'herbiers marins, pour pouvoir raisonner sur la dynamique de recolonisation (types et taux de croissance).
- ⇒ Concernant l'ichtyofaune, le suivi est récent et le descripteur est en cours de construction et de validation. La compilation des résultats de toutes les campagnes de pêche permettrait d'extraire des indicateurs d'évolution de l'étang.
- ⇒ Les informations qui permettraient de désigner une cause particulière de dégradation ne sont pas disponibles. Il semble qu'on ait affaire à un ensemble de causes, dont le poids respectif est difficile à évaluer. Les modèles actuels disponibles ne permettent pas une extrapolation des résultats jusqu'à 2027, en raison du caractère aléatoire du fonctionnement de l'hydrosystème.
- ⇒ Les données acquises dans le cadre de la surveillance DCE ne rendent pas nécessairement compte de l'ensemble du fonctionnement du système. Elle semble pointer les situations les plus négatives et de ce fait rend difficilement compte des améliorations qui peuvent être observées, notamment sur les zones littorales.
- ⇒ Concernant le phosphore, deux positions s'affrontent : le GIPREB demande la poursuite de la diminution des apports, notamment à partir de la centrale alors qu'EDF juge qu'il faut laisser s'épuiser l'important stock sédimentaire. Eclairer le débat par des arguments scientifiques est difficile car on connaît encore mal
- la dynamique interne du phosphore – notamment celle de sa fraction biodisponible dans les limons apportés - et nous n'avons qu'une vision statique et partielle de la situation. Demander un renforcement de la réduction des apports, au-delà de ce qui a été fait, sur le seul constat de problèmes non encore tous résolus, n'est scientifiquement pas fondé car les réponses sont longues ;
 - la part respective de la turbidité liée aux éléments minéraux, d'une part et de la turbidité due au matériel organique particulaire, d'autre part (algues unicellulaires, débris organiques...). Des analyses complémentaires sont indispensables pour porter un diagnostic, notamment de manière dynamique et mieux exploiter les données existantes. Au vu du rapport, on relève une tendance positive de la turbidité.

.../...

.../...

⇒ De manière plus générale, identifier les évolutions actuelles sur les indicateurs biologiques pour prévoir ensuite des tendances à 2027 suppose :

- de disposer de chroniques les plus longues possibles avec les données les plus récentes (en particulier les poissons et les invertébrés benthiques). Par exemple, la biologie trace-t-elle les variations de régime de fonctionnement de l'usine de Saint-Chamas ? La faible hydrologie naturelle de 1990, où la centrale a réduit son turbinage, a eu pour conséquence une restauration du benthos. Cette situation a conduit à des conclusions différentes entre le GIPREB et EdF (cette restauration n'a en effet pas été revue par la suite lors de certaines années de faibles apports par la centrale).
- de développer des interprétations plus statistiques et plus fonctionnelles des données (mise en relation des indicateurs biologiques avec les autres paramètres et descripteurs environnementaux).

⇒ On ne dispose actuellement que d'une vision statique et encore partielle de la situation. La dynamique interne du phosphore est curieusement encore très mal connue, alors qu'elle contrôle le fonctionnement du système. La connaître est indispensable pour évaluer le délai nécessaire à la restauration, indépendamment des actions qui pourront être conduites sur le bassin versant. Il convient donc de quantifier la désorption, à partir du sédiment, des formes de P biodisponibles – notamment la proportion en provenance de Saint-Chamas- qui viennent soutenir la production primaire, influent sur la turbidité et l'anoxie et, par conséquent, sur les capacités de recolonisation de l'étang par les communautés vivantes, notamment les zostères et aussi le macro-zoobenthos.

⇒ Le modèle existant développé par EdF, adapté aux prévisions à court terme, semble inadéquat pour des horizons temporels tels que l'échéance 2027 (ce qui se passe au fond est mal estimé et c'est déterminant pour le cycle de N et P). Pour aller plus loin, il faudrait développer des modèles, dans au moins deux directions :

- des modèles probabilistes pour tester des schémas de fonctionnement en utilisant les données et l'expertise actuellement disponibles ;
- des modèles mécanistes et notamment une modélisation hydrosédimentaire de l'étang pour pouvoir apprécier la concentration de matière particulaire et donc la productivité de celui-ci, une modélisation couplée aux flux biogéochimiques incluant la production primaire. Une modélisation sur les zones de restauration des zostères pourrait être utile pour suivre les recolonisations.

⇒ Pour argumenter un objectif moins strict avec des critères économiques, une synthèse des études économiques déjà réalisées et une comparaison avec des études menées sur d'autres lagunes côtières permettraient de rassembler des premiers éléments d'évaluation économiques des scénarios de restauration. Un diagnostic historique des usages et pratiques à l'origine de la situation actuelle et des attentes socio-économiques pouvant conforter ou contrarier les efforts de restauration serait utile. Il est indispensable de poser les bases de construction de ces scénarios (dérivation de la Durance, déphosphatation, implantation de zostères...) pour chiffrer, pour chacun d'eux, les coûts et bénéfices pour les activités et les usages de l'amélioration de l'état écologique de l'étang de Berre. Le périmètre spatial de ces scénarios est déterminant : le conseil scientifique suggère de commencer par se focaliser sur l'étang lui-même, tout en identifiant les élargissements pour tenir compte des effets distants de chacun des scénarios par la suite (par exemple, les effets pour la basse Durance du scénario de restitution des eaux en Durance).

3. Les paramètres DCE de l'évaluation de l'état écologique

L'objectif de la surveillance selon la DCE vise principalement à évaluer et cartographier l'état chimique et l'état biologique actuels de chaque étang côtier selon les modalités suivantes (Fig. 1) :

- état chimique "agrégé" à partir de 41 substances prioritaires et dangereuses prioritaires, avec une représentation en deux classes d'état chimique. Un seul contaminant au-dessus des normes conduit à un mauvais état chimique ;
- état biologique "agrégé" à partir des différents éléments de qualité, avec une représentation en cinq classes d'état. Un élément de qualité biologique inférieur à bon décline l'état (principe du "one out, all out") ;
- le bon état écologique d'une masse d'eau est défini comme étant le moins bon de ces deux états.

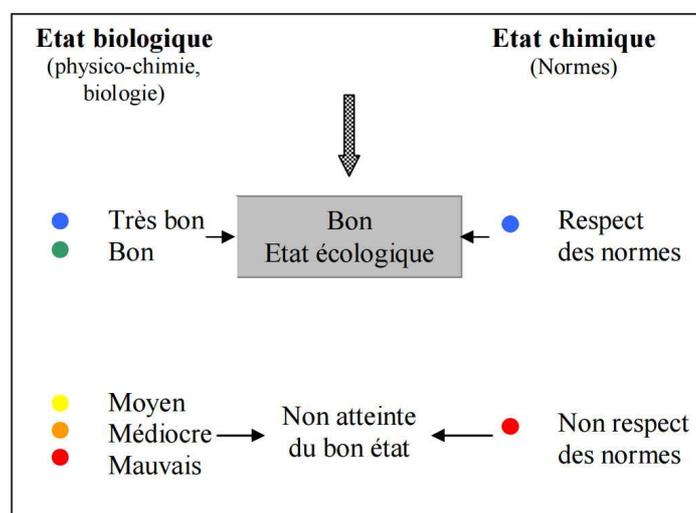


Figure 1 : Représentation schématique de la définition de la qualité d'une masse d'eau au titre de la DCE

3.1. Qualité chimique

Le bon état chimique doit être établi dans chaque masse d'eau, pour les 33 substances prioritaires figurant dans l'annexe X de la Directive et pour les 8 substances figurant dans l'annexe IX, issues de la liste I de la Directive "Substances dangereuses" (76/464/CEE). L'état chimique d'une masse d'eau est destiné à vérifier, sur le support eau, le respect des normes de qualité environnementale (NQE) fixées par la directive 2008/105/CE du Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2008. Cet état chimique ne comporte que deux classes, respect ou non-respect des NQE. Il s'exprime donc de manière binaire, par rapport à une valeur seuil, la NQE : on associe alors un code couleur au statut de chaque substance. Bleu pour le bon état et rouge pour le mauvais. Le bon état chimique est établi lorsque l'ensemble des NQE est respecté.

Les valeurs sur biote et sédiment sont transformées en valeurs sur l'eau, comparables aux valeurs réglementaires NQE actuelles. Avec les échantillonneurs intégrateurs qui ont été utilisés pour la surveillance on voit que les résultats sont bons (seul un pic d'endosulfan a été observé une fois).

3.2. Qualité biologique

3.2.1. Le Phytoplancton

Le phytoplancton regroupe les algues unicellulaires autotrophes et constitue le premier maillon du réseau trophique aquatique. Il figure parmi les éléments de qualité biologique retenus pour la classification de l'état biologique des masses d'eau côtière et de transition. Il est évalué à partir de trois paramètres : biomasse, abondance et composition selon les termes de la DCE, et complété par des paramètres d'appui tels que la physico-chimie (e.g. hydrologie, nutriments).

Selon les résultats fournis par EdF et le GIPREB dans les rapports, la composition spécifique est globalement plutôt stable et en bon état. Cela étant, l'apparition ou disparition d'espèces peuvent modifier la situation.

En ce qui concerne la biomasse, la communauté scientifique estime qu'elle est actuellement excessive, conduisant à une situation d'importante eutrophisation.

3.2.2. Les paramètres d'appui physicochimiques

- **Oxygène dissous**

Lors de la surveillance de ce paramètre, il a été constaté que des anoxies fréquentes en profondeur et en été se produisaient lorsqu'une stratification thermique et/ou saline se mettait en place accompagnée d'une forte demande benthique (liée à la dégradation de la MO stockée au fond). Ces anoxies peuvent remonter sur le plateau jusqu'à des profondeurs de 3-4 mètres. Il y a une divergence d'appréciation entre GIPREB et EdF concernant cette demande benthique : EdF pense qu'on a dépassé un point de non-retour et que l'anoxie sera très durable (délai long pour réduire l'anoxie). Le GIPREB a une position différente et pense qu'on peut agir sur cette demande.

Des mesures de suivi en continu de l'oxygène dissous semblent exister. Il serait important d'obtenir une communication et une interprétation de ces données.

- **Azote et phosphore**

Il a été démontré et accepté par tous que le P est le facteur limitant pour la croissance des végétaux dans l'étang. Les apports, les stocks et les échanges avec la mer seront discutés dans le deuxième volet de cet avis.

- **MES et turbidité**

Ces deux paramètres ont constitué un problème majeur depuis des années. L'apport de limons par la Durance présentait au moins un avantage : recouvrir les sédiments anciens les plus contaminés par les sédiments plus propres de la Durance (ce qui explique la décontamination de la page 89). Mais aussi des inconvénients : les rejets de la centrale apportent encore des limons et la pénétration lumineuse se fait difficilement. Cette turbidité importante est hétérogène spatialement (elle est le fait de la Durance, des autres affluents, de la remise en suspension du néphéloïde pendant les périodes de coup de vent, mais aussi de la production primaire).

3.2.3. Les Macrophytes

Dans les lagunes côtières, les peuplements des macrophytes sont essentiellement présents sur substrat meuble. Les macrophytes de substrat meuble peuvent être séparées en deux groupes dépendants de la qualité du milieu associé :

- Les espèces de référence : les phanérogames marines et algues polluo-sensibles, peuplements souvent fixés ;
- Les algues opportunistes, sous forme de peuplements dérivants. L'évolution vers des écosystèmes dégradés se traduit par une succession de communautés de macrophytes : les espèces de référence sont remplacées par des espèces opportunistes ou dérivantes, caractérisant alors une perte de la qualité du milieu. Le diagnostic des macrophytes (% de recouvrement par les espèces de référence, % de recouvrement végétal total et richesse spécifique) constitue donc un indicateur de l'état des masses d'eau de transition.

Pour les lagunes côtières, le descripteur fondé sur le pourcentage de recouvrement précise que, pour les macrophytes, on doit observer au minimum 50 % de recouvrement des zones de présence potentielle pour atteindre le bon état écologique.

- **Les zostères**

Les zostères rencontrent des difficultés pour s'installer et les expérimentations de transplantations se sont globalement soldées par des échecs (page 80), alors que des macrophytes opportunistes (ulves) profitent de la situation. Les zostères étaient largement présentes avant l'installation de la centrale EdF. Les cartographies de l'époque existent (page 228) et sont utiles, non pas en termes d'objectif, mais pour aider à définir un potentiel (surface possible : il en faudrait 50% pour attendre le bon état écologique). EdF estime ce potentiel à 3000 ha : il faudrait donc 1500 ha recolonisés pour atteindre le bon état. Or seuls quelques ha (4,4 ha) sont colonisés aujourd'hui.

A ce jour, on ne voit pas comment atteindre 50 % de surfaces potentielles colonisées dans les dix ans et ce, même si l'on dispose de quelques signes encourageants avec la recolonisation de 3,2 ha entre 2009 et 2014 (page 36). Le taux de croissance des herbiers, avec une multiplication des surfaces par 3,6 en 5 ans n'est pas analysé au regard des données disponibles de la littérature. Néanmoins, il semble assez cohérent et cela confirme qu'il sera quasiment impossible à atteindre en 10 ans, sauf à envisager des réimplantations massives et à favoriser fortement la reproduction naturelle, qui est toujours présente au sein de l'étang (page 80), ce qui constitue là encore un signal positif dans une optique de restauration du milieu.

- **Ulves et Ruppia**

Les ulves prolifèrent sur les plages. Il est montré qu'elles diminuent au profit des gracillaires (page 138). La tendance est à la diminution ou à la stabilisation. Elles témoignent plus de l'eutrophisation de l'étang et ne constituent pas un indicateur de l'état du compartiment végétal. Le milieu tend à s'améliorer en réponse à la diminution des apports en N et P, sans qu'on puisse connaître la durée du phénomène qui dépend du stock interne.

3.2.4. La macrofaune benthique de substrat meuble

En raison de la faible mobilité et la grande sensibilité de certaines espèces, la composition des communautés benthiques de substrat meuble fournit des informations aussi bien sur la situation présente que sur les événements passés ayant affecté la zone à plus ou moins long terme (de quelques semaines à quelques années). Plusieurs études ont ainsi mis en évidence des réponses relativement rapides de cette faune à différentes perturbations, qu'elles soient anthropiques ou naturelles. En milieu lagunaire, les particularités de ce type de milieu (faible hydrologie, faible profondeur, salinité, milieu plus ou moins fermé...) font qu'elles correspondent à la variabilité naturelle du milieu. L'utilisation des indices et paramètres des eaux côtières doit donc être adaptée. Ces indices sont associés à une analyse de la granulométrie et de la teneur en matière organique du sédiment, deux paramètres d'appui à l'interprétation des résultats.

Dans un système de transition salé/peu salé comme celui de l'Étang de Berre, les peuplements sont de fait moins diversifiés (écarts de salinité et de température importants). La répartition des taxons se fait selon ces deux facteurs auxquels s'ajoutent la profondeur (en lien avec les anoxies) et la dynamique des stratifications (vents, apports par la mer). Aujourd'hui en zones profondes le milieu est quasi-azoïque, ce qui est probablement lié aux effets de l'anoxie et à la présence d'une couche néphéloïde.

Le descripteur du macro-zoobenthos pour la DCE est le M-AMBI. L'indicateur est très souvent en état médiocre et mauvais. Les stations littorales semblent toutefois moins dégradées que les plus profondes (voir résultats pour sites centraux page 48 et sites littoraux page 50). Il semble que la situation s'améliore.

Toutefois l'analyse des résultats devrait être poursuivie, par exemple en recherchant les liens entre les modifications hydrodynamiques et les tendances avec les invertébrés (stations B3 et B6).

Remarque : une incohérence a été constatée dans le rapport commun. Berre est en état moyen (jaune) en page 42 en 2009 alors qu'on ne retrouve pas ce résultat en page 48 pour la même année.

On observe, ces dernières années, une réapparition des coques, à laquelle on ne peut associer de signification environnementale, car les coques sont introduites et les réapparitions très localisées. Du point de vue social, ceci déclenche des nouvelles pratiques qui viennent renforcer le besoin d'amélioration dans la qualité du milieu.

Enfin, les moules constituent un indicateur choisi pour suivre l'impact de la réduction des apports de EdF et leur modulation sur les changements de salinités. Les peuplements montrent une amélioration progressive.

3.2.5. L'ichtyofaune

Les milieux de transition assurent pour l'ichtyofaune de nombreuses fonctions écologiques (nurseries, alimentation...). Plusieurs études sur les peuplements piscicoles des eaux de transition méditerranéennes ont permis d'acquérir des données, mais il n'existe pas d'indicateur opérationnel à ce jour.

Le suivi est récent. Le descripteur est encore en cours de construction et de validation. Il conviendrait de rassembler les résultats de toutes les campagnes de pêche pour en extraire des indicateurs d'évolution de l'état de l'étang.

3.3. Conclusion sur l'état de l'Etang de Berre par rapport à la DCE

Le conseil scientifique estime que le principal paramètre déclassant de l'état écologique de l'étang de Berre concerne les zostères, avec peu d'espoir – si les conditions de référence sont inchangées - de reconquête du bon état écologique, tel qu'il est défini par la DCE, à l'horizon de 2027. Toutefois, une bibliographie plus poussée serait à faire, en particulier, pour mieux évaluer de la croissance surfacique des zostères en conditions de turbidité normales et/ou comparables à celles des croissances actuelles dans l'Etang.

4. A la recherche des causes des dégradations observées

L'Etang de Berre a subi des profondes modifications depuis l'Antiquité, passant successivement et alternativement d'étang d'eau douce en étang d'eau saumâtre, voire salée. Le détournement d'une grande partie du débit de la Durance vers l'Etang de Berre, et ce pour produire de l'hydroélectricité, a transformé celui-ci en un étang saumâtre, avec l'apparition de stratifications halines qui viennent s'ajouter à celles thermiques, classiques, liées au cycle des saisons.

Cette situation hydrologique accompagnée d'un fort enrichissement en sels nutritifs d'origines variées (Durance, petits fleuves, industries, ruissellement, stations d'épuration, apports atmosphériques...) a conduit progressivement, d'une part à l'apparition d'une eutrophisation des eaux (phytoplancton et algues dérivantes genre ulves) et, d'autre part, à des anoxies du fond incompatibles avec une stabilité des peuplements benthiques. Des apports importants de matières en suspension, aujourd'hui néanmoins en réduction progressive, ont contribué à contrarier l'établissement des macrophytes, soit par les dépôts au fond, soit par la création d'une couche néphéloïde mobile, soit encore par une augmentation de la turbidité réduisant la luminosité.

A ces facteurs s'ajoute un fonctionnement complètement aléatoire du milieu, non reproductible d'une année sur l'autre et soumis à des forçages extérieurs d'intensité et de période extrêmement changeante :

- **le vent**, contrôlant fortement les échanges à travers le canal de Caronte ; déstructurant les stratifications verticales et permettant ainsi l'homogénéisation de la colonne d'eau avec le cortège des échanges verticaux de nutriments et oxygène dissous ; augmentant les instabilités hydrodynamiques pouvant perturber le développement des herbiers déjà fragiles ;
- **les crues** des petits fleuves fonctionnant comme des *oueds*, et apportant à l'étang en une journée presque l'ensemble des apports annuels ;
- **le fonctionnement des centrales hydroélectriques** sollicitées au moment des fortes demandes nationales qui entraîne des modifications des volumes d'eau douce introduits dans le système ;
- **les marées barométriques** jouant sur les échanges avec la mer ;

Dans ce contexte difficile, et malgré toutes les études qui ont été réalisées auparavant par les scientifiques, le conseil scientifique estime ne pas disposer des informations permettant d'attribuer la dégradation du milieu à une cause particulière ; on a plutôt affaire à un ensemble, le poids de chacune étant difficilement identifiable. Les modèles numériques qui ont été développés et qui sont actuellement disponibles pourraient le faire, mais le caractère aléatoire du système rendrait très incertain une extrapolation quelconque.

De plus, le conseil scientifique a constaté que pour alimenter ces modèles, il faut des jeux de données acquis avec des stratégies et protocoles bien définis permettant de relier les paramètres les uns avec les autres (échantillonnages coordonnés et, parfois, sur de longues périodes). Les données portées à la connaissance du conseil scientifique ne répondent a priori pas à ces critères pour alimenter des modèles mécanistes.

Sur l'ensemble de données mises à la disposition du conseil scientifique, celui-ci a formulé un certain nombre de commentaires et de suggestions qui sont exposés dans ce qui suit.

4.1. Les apports par le bassin versant (affluents et ruissellement)

Une évaluation correcte des apports introduits dans le système constitue aujourd'hui le fondement de toute possibilité d'explication de l'évolution future de l'Étang de Berre. Le phosphore étant le paramètre limitant de l'eutrophisation de l'étang, le conseil scientifique considère que :

- les bilans sont exprimés en flux moyens alors que le fonctionnement ne réagit pas à des valeurs moyennes.
- les crues de fin d'été fournissent l'essentiel des apports annuels. Les coups de vent font entrer azote et phosphore en provenance du golfe de Fos. Les bilans devraient être établis en prenant en compte ces forçages hydro-climatiques qui semblent déterminants dans le fonctionnement de l'étang. Les apports par ruissellement sont faibles.

Pour les apports atmosphériques, il y a débat entre EdF et GIPREB. EdF estime que le contexte industriel est à l'origine d'une forte pollution. Il est nécessaire de régler le débat par des mesures appropriées.

4.1.1. Les apports par la Durance (usine de Saint-Chamas)

L'usine apporte en continu les limons duranciens assez riches en phosphore (P) qui peuvent soutenir la production primaire. Ce qui vient en **phosphore biodisponible** de l'usine apparaît peu dans les bilans. Il existe un bilan des apports, mais pas de lien dynamique entre l'apport de phosphore organique, la minéralisation de la matière particulaire et ses conséquences sur le système. Il a été démontré et accepté par tous que le P est le facteur limitant pour la croissance des végétaux dans l'étang. S'il a été établi par EdF que l'usine de Saint-Chamas est à l'origine de 14% seulement des flux totaux de P apportés à l'étang (page 131), il a aussi été montré que 7% des flux en P de la centrale est sous forme PO_4 et correspond à environ 50% de l'apport total en PO_4 dans l'étang (Fig. 7) et que les 93% restant en flux de P de la centrale sont sous forme organique dissoute et particulaire à labilité/biodisponibilité inconnue (page 128). Qu'en est-il du comportement de ces formes dissoutes et particulaires une fois déversées dans l'étang ? Le conseil scientifique estime nécessaire de beaucoup mieux caractériser la forme biodisponible de ces apports. Pour connaître la part biodisponible dans les sédiments apportés par les eaux de Saint Chamas, il conviendrait, en théorie, de réduire fortement (sinon supprimer) les nouveaux apports de P et de voir comment le système réagit (déstockage du P à partir du sédiment). Mais l'approche, aussi logique qu'elle puisse être, se heurte probablement à son opérationnalité.

Le milieu naturel a réagi à la suite de la réduction des apports de limons et d'eau douce par l'usine. Les associations locales proposent de poursuivre progressivement la réduction de cet apport en eau de la Durance. Outre les conséquences bénéfiques attendues sur le milieu du fait de la réduction des apports en N et P et de la stratification haline, d'autres conséquences sont à étudier. En particulier les effets de l'augmentation probable du temps de séjour des eaux apportées par le canal usinier rendant peut-être le milieu plus sensible aux entrées de N et P.

Mais la masse des nutriments serait plus stable et des processus d'exportation et/ou de séquestration sédimentaire supérieurs aux intrants pourraient se mettre en place (au début, les processus de dénitrification dus à l'anoxie pourraient être stimulés, avec une remise à disposition du phosphore qui pourrait diminuer ensuite) pour réduire le stock sédimentaire.

Pour approcher la variabilité des apports en P, il pourrait être utile d'exploiter les archives sédimentaires. Les concentrations en P dans les carottages (page 90 du rapport) ont-elles été mesurées ?

4.1.2. Les apports par le sédiment (stock interne)

Très peu de choses sont connues sur le phosphore dans l'étang. Une analyse plus fonctionnelle des données existantes devrait être effectuée. Mais avant de s'intéresser au phosphore, on doit s'intéresser aux ions fer et manganèse dans les sédiments et à l'interphase eau-sédiment. Or, on ne dispose pas de données sur Fe et Mn (pas de bilan, notamment au moment où la couche est anoxique), ce qui est étonnant. Il n'y a pas besoin de modèle ni de plus de données. Il faut faire en sorte que le phosphore stocké ne soit pas remobilisé.

Dans le sédiment, les concentrations en P total sont très hétérogènes (facteur 5). Que devient ensuite ce phosphore ? Dans quelle mesure est-il ensuite biodisponible pour la végétation ? Une diminution des teneurs est observée à partir de 1994. Page 131 du rapport, on trouve un bilan 2006 N et P total à partir de sources connues : le flux de P total apporté par la centrale est trois fois moins élevé que celui apporté par les affluents. Il faudrait savoir quelle est la nature de ce P total, son origine et sa dynamique dans l'étang.

Pour comprendre les mécanismes d'eutrophisation de l'étang, il est donc indispensable d'évaluer le PO_4 en provenance des sédiments. En d'autres termes, il faut évaluer la contribution du P total et pas seulement des ortho-phosphates à la productivité de l'étang. Des expérimentations seraient utiles pour mesurer ce relargage à partir des sédiments de l'étang en général, mais aussi sur la désorption des apports de la centrale et des autres sources (notamment de l'Arc et de la Touloubre).

Les approches corrélatives de la production primaire avec les autres paramètres (température, la dynamique de turbidité et son lien avec la réduction des apports en limons) ne permettent pas de tirer des conclusions claires. Il faut revoir les bilans N, P et leurs rapports stœchiométriques, ainsi que le rôle de la silice et, peut-être, celui du carbone. On observe en effet que, lorsque le flux de phosphates diminue, la production primaire augmente, ce qu'on ne devrait pas observer si le P était seul limitant. Le P est-il le seul facteur limitant du système ?

Les valeurs intégrées (surfacique) d'assimilation en CO_2 , en nitrate et en ammonium par les producteurs primaires estimées en 2005 et 2006 sont basées sur des mesures mensuelles en surface et sur 5 points seulement mesurés au fond : une extrapolation est faite à partir de ces mesures pour faire un bilan global de l'écosystème. Ces résultats restent à critiquer et à valider.

Qu'en conclure par rapport aux bilans massiques ?

- 1) Ces bilans ont des échelles différentes (ponctuelle, moyennes annuelles, moyennes pluriannuelles), la stratégie d'échantillonnage est difficile à formaliser car les apports sont aléatoires et parfois brutaux ;
- 2) C'est bien le P qui est paramètre limitant actuellement, même s'il n'est pas forcément le seul ;
- 3) Le comportement du P apporté par la Durance et son devenir dans les sédiments (P total et pas seulement ortho-P) doivent être évalués.

Pour tenter de résumer toutes ces interrogations en une seule proposition, le conseil scientifique propose de revisiter les données disponibles avec une lecture plus fonctionnelle, seule à même de comprendre comment l'hydrosystème Berre fonctionne. Pour cela il convient de reconsidérer les connaissances sur le rôle des nutriments (entre autres) dans la dynamique biogéochimique. En effet, celle-ci se complexifie dès lors que les grandes dominances sont gommées : suite à la diminution en masse du P, la partie bioassimilable restante a pris un rôle majeur. Par ailleurs, et se surimposant au précédent, la temporalité des sources peut avoir changé sous l'effet de forçages climatiques (apports plus précoces, températures plus élevées et plus précoces ...).

4.2. MES et turbidité

Selon certains partenaires locaux, La turbidité empêcherait la croissance des macrophytes. Des expérimentations sont en cours, conduites par EdF, en limitant le batillage sur certaines zones.

Quel est aussi le rôle des épiphytes qui limiteraient la pénétration de la lumière vers les macrophytes ? La turbidité est un facteur majeur qui peut expliquer le non développement de la végétation dans l'étang. Il semble qu'on ne puisse pas facilement prédire un patron de turbidité dans le milieu (page 76).

Le rapport n'étudie pas l'influence relative dans la turbidité entre l'inorganique (rejets limons page 65) et la production primaire (densité planctonique). Ceci veut dire que si les limons sont responsables de la limitation des macrophytes, il faut le vérifier. Dans cette perspective, il faudra distinguer la part de MES et celle de la production primaire, deux sources différentes de turbidité. Par ailleurs, le rôle de la turbidité sur la biologie reste à démontrer.

4.3. Les zostères

Au regard des résultats décevants des réimplantations, préalablement à toute nouvelle action, il conviendrait (i) d'approfondir les causes à l'origine de cet échec (choix des espèces, origine des transplants), mais aussi (ii) de trouver des gisements d'herbiers, en tenant compte des impacts sur les herbiers donateurs, (iii) de s'assurer, autant que faire se peut, que la transplantation soit efficace (faible mortalité), en sélectionnant l'origine des transplants au regard des spécificités environnementales du milieu récepteur et (iv) d'intégrer les retours d'expériences en la matière.

Un retour d'expérience (bibliographique dans un premier temps) sur la croissance des zostères est à faire (quel taux de croissance ? croissance linéaire ou exponentielle ?), mais également sur les facteurs à même de favoriser la dissémination naturelle de l'espèce (salinité, température).

Dans la mesure où des taux de croissance plus importants sont rapportés ponctuellement dans des milieux favorables, il conviendrait de mieux cerner les facteurs limitants (turbidité ? contaminants chimiques ? érosion et dynamique sédimentaire ? pages 140-141). Un retour d'expérience est à établir par les acteurs locaux.

D'autres facteurs sont à considérer :

- le taux de turbidité qui limite la croissance des macrophytes (distinguer le transitoire et les conditions de turbidité plus permanentes qui peuvent conduire à des disparitions). Des corrélations de base pourraient aider à dégrossir ces questions. Les données existantes ne correspondent pas forcément aux périodes les plus déterminantes du système ;
- l'importance de la reproduction sexuée (recherche *in situ* de graines - y compris dans les sédiments « anciens » , suivi de l'efficacité de la germination) et du bouturage naturel de fragments (importance et taux de succès) sont à connaître dans la mesure où ils peuvent contribuer à accélérer les mécanismes de recolonisation.

Le manque de substrat ne semble pas être un facteur limitant au développement des zostères.

4.4. Des données qui ne permettent pas d'avoir une image dynamique et de comprendre le fonctionnement de l'étang.

Le conseil scientifique considère que les informations sont plutôt descriptives, qui plus est, sans appréciation de leur variabilité.

Les résultats ne sont pas reliés avec les facteurs contextuels : pas de corrélations entre descripteurs, pas de tests statistiques qui essayent de raccorder les indicateurs avec des variables supposées explicatives.

Les données fournies dans le rapport ne permettent pas de comprendre les processus, au-delà du constat DCE. Or, comprendre les processus est essentiel pour répondre à la question de l'évolution du système. Par exemple, que sait-on de la dynamique du système et sa capacité à revenir à un nouvel équilibre après une bouffée d'apports ?

Pratiquement, il conviendrait de revisiter les données disponibles avec une lecture fonctionnelle de l'étang de Berre et véritablement comprendre son fonctionnement et les principaux facteurs de contrôle : revisiter les connaissances sur le rôle des nutriments et autres facteurs dans la dynamique biogéochimique qui se complexifie quand les grandes dominances sont gommées. Quand le P a diminué en masse suite à la réduction des apports par la Durance et par les affluents, le rôle du phosphore bioassimilable a pu devenir dominant et la temporalité de ses sources peut avoir changé en raison de modifications climatiques (apports plus précoces, fontes plus précoces, températures plus élevées et augmentation plus précoces, etc).

4.5. La modélisation

Pour comprendre et gérer véritablement l'étang, il faut disposer de modèles permettant de comprendre comment fonctionne l'étang de Berre. Au moins deux voies, non exclusives l'une de l'autre, sont possibles :

- l'élaboration de modèles probabilistes, de type réseaux Bayésiens. Ces modèles ont l'avantage de tenter d'explicitier les schémas de fonctionnement du système avec les données et l'expertise disponibles ;
- l'élaboration de modèles déterministes. Il manque en tout premier lieu une modélisation hydrosédimentaire, une modélisation couplée aux flux biogéochimiques incluant la production primaire. Une telle modélisation nécessite de connaître le stock sédimentaire en plus des apports par les affluents, information dont on ne dispose apparemment pas pour l'instant. Toutefois le modèle biogéochimique élaboré par EDF (page 150) arrive à estimer les apports par les sédiments (apports évalués a priori au moyen de chambres benthiques). Peut-on valider cette estimation des apports benthiques, celle-ci ne tenant sans doute pas compte de la possible existence d'une couche néphéloïde ? Les résultats montrent un modèle qui semble mal estimer ce qui se passe au fond (alors que c'est ce qui est déterminant pour le cycle de N et P).

Le modèle existant est-il utilisable ? Des tests de sensibilité plus complets sont à réaliser. En première analyse, il semble correct et utilisable pour des prévisions à court terme (il a été conçu pour piloter la centrale en fonction de la salinité de l'étang) mais pas suffisant pour des simulations à long terme, du fait de la mauvaise représentation du compartiment sédimentaire. Une modélisation sur les zones de restauration des zostères pourrait être utile pour suivre les recolonisations. Plus généralement quelle attitude adopter pour l'évaluation des modèles ?

Au vu de la nécessité de la modélisation numérique comme outil de gestion, il conviendrait en premier lieu de faire le bilan des modèles existants et de les faire évaluer par des experts indépendants.

Remarque : il ne revient pas au conseil scientifique du comité de bassin de procéder à une évaluation des modèles existants.

4.6. Le volet économique

Dans la volonté de restaurer les fonctionnalités de l'étang de Berre, de nombreuses études économiques ont été réalisées (évaluation des pertes liées au turbinage, du coût de tertiarisation des STEP sur les affluents de l'étang, etc.). Il conviendrait d'effectuer une synthèse de ces études afin d'avoir de premiers éléments d'évaluation économique des scénarios de restauration (coûts disproportionnés des mesures, incidences sur les activités et usages). Il serait également intéressant de comparer ce qui a déjà été fait sur l'étang de Berre avec les études économiques portant sur d'autres lagunes côtières pour identifier les éventuels manques.

Les coûts disproportionnés au sens DCE portent à la fois sur le chiffrage du coût des actions possibles et sur celui des bénéfices environnementaux associés à ces actions. L'objectif final est de comparer les coûts avec les bénéfices correspondants pour chaque scénario de restauration.

Dans le cas de l'étang de Berre, il faudra donc veiller à poser les bases de construction de scénarios de restauration (dérivation de la Durance, dé-phosphatation, implantation des zostères ...) pour pouvoir, à terme, chiffrer les coûts et bénéfices des différents scénarios pour les activités et usages présents sur la zone. Le conseil scientifique suggère de bien identifier ces activités et usages (pêche, plaisance, paysages etc.) afin que l'analyse ne néglige aucune activité impactée, positivement ou négativement, par une amélioration de l'état. Au minimum, il faudra préciser les données qui permettront d'avancer pour identifier les mesures (scénarios d'action) ainsi que leurs coûts et leurs bénéfices pour les différents acteurs concernés.

Le conseil scientifique souligne à ce propos que les scénarios de restauration des fonctionnalités ne peuvent aujourd'hui faire l'économie ni d'un diagnostic historique des usages et pratiques à l'origine de la situation actuelle ni des attentes socio-économiques diverses qui pourraient conforter ou contrarier ces efforts de restauration. Ce bilan et cette prospective doivent être entendus comme une opportunité collective d'identifier les causes sociétales à l'origine des dégradations et les convergences d'intérêts pour y remédier.

Une question délicate à traiter sera celle du périmètre d'effet des différents scénarios proposés. Par exemple, le scénario de restitution en Durance aura des conséquences non négligeables en basse Durance. Le conseil scientifique suggère de commencer par se focaliser sur le périmètre de l'étang, tout en identifiant bien les élargissements de périmètre d'effet de chacun des scénarios à opérer par la suite.

Au final, le conseil scientifique demande des éléments d'éclairage économique de la situation (analyse coûts-avantages) afin d'aborder la deuxième phase du travail qui lui est demandée.
