

RECHERCHE  
ET MISE  
AU POINT  
TECHNIQUE  
DE LA  
DÉRIVATION  
DES REJETS  
EDF DANS  
L'ÉTANG DE  
BERRE

# Dérivation des rejets EDF

dossier d'information sur les études de dérivation, solutions et incidence

DOSSIER

10/2004

3



## Pourquoi et comment une étude d'incidence ?

L'effet des rejets EDF sur le fonctionnement de l'étang de Berre se caractérise principalement par une forte instabilité écologique liée aux apports massifs et irréguliers d'eaux douces chargées en limon.

Deux phénomènes majeurs de vulnérabilité sont observés en conséquence de ces apports :

- la baisse de la salinité qui modifie profondément le milieu lagunaire
- les variations importantes de la salinité qui interdisent l'installation et le développement de la plupart des espèces. L'instabilité qui en résulte ne permet pas de pérenniser une démarche de réhabilitation, quelle qu'elle soit.

A contrario, l'arrêt de ces rejets d'eaux douces aura des incidences nouvelles sur le fonctionnement actuel de l'étang dont les différents gestionnaires doivent se préoccuper avant la mise en œuvre de la dérivation. Aujourd'hui, en effet, les problèmes classiques des lagunes méditerranéennes sont "masqués" par la vulnérabilité très forte du milieu.

### Sur quels éléments les experts se sont-ils appuyés pour émettre leurs hypothèses ?

Chacun dans sa spécialité, les experts ont été recrutés pour leur connaissance spécialisée de l'étang de Berre ou d'autres étangs méditerranéens comparables.

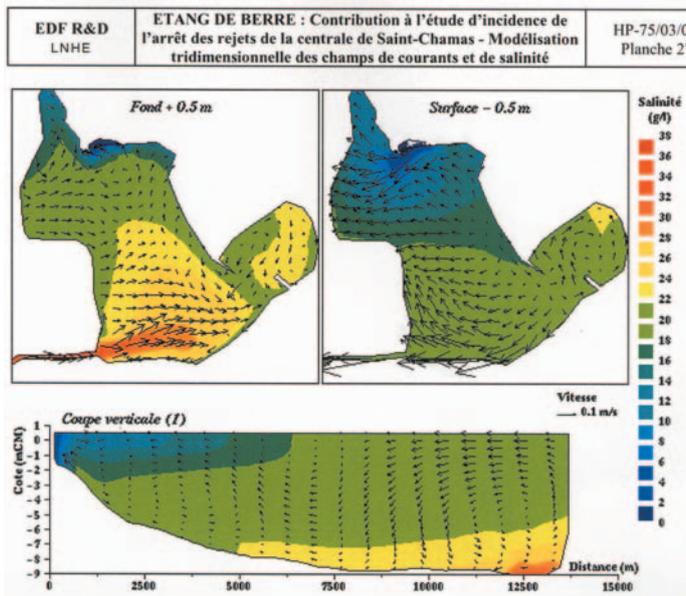
Au cours de l'étude, plusieurs outils de connaissance et d'analyse ont été réunis et mis à leur disposition pour servir de fondement scientifique à leurs débats :

- Les expériences passées dont l'observation a été rapportée par des études, en particulier l'arrêt des rejets du canal usinier au cours de l'été 1990
  - La comparaison avec le fonctionnement d'autres étangs méditerranéens
  - Les différentes et nombreuses études conduites sur l'étang de Berre, dont le bilan des connaissances du GIPREB établi par Philippe Picon
  - La modélisation hydrodynamique et physicochimique de l'étang de Berre conduite par SAFEGE sur le modèle mathématique EDF existant
- Le protocole de cette expérience de modélisation, défini avec les experts, a permis de mettre en parallèle les réactions de l'étang à différentes conditions de vent dans trois situations différentes :
- avec rejets EDF
  - sans aucun rejet EDF, mais en conservant l'état actuel de l'étang
  - sans aucun rejets EDF mais sur un étang marin, soit la situation future.

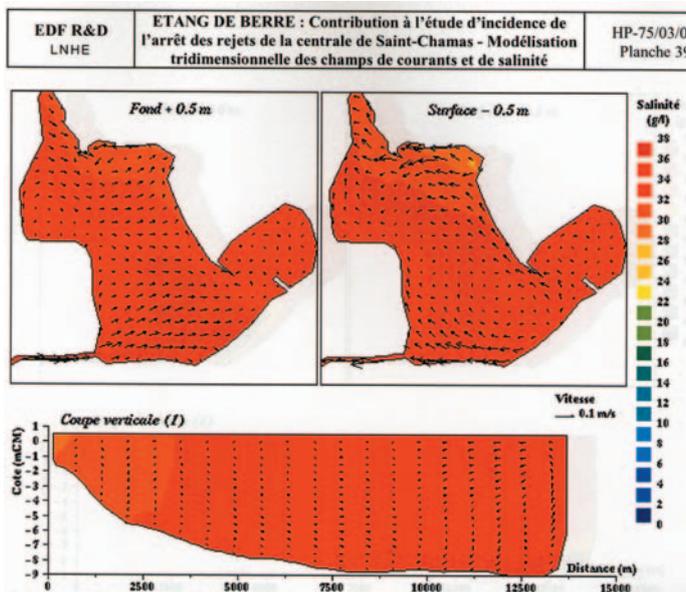
Les conditions de la modélisation ont donc été soigneusement choisies pour que ces résultats soient significatifs. Basée sur des chroniques réelles et différentes (faible à forte) de vents et de rejets observés en 2002, l'expérience permet, en comparant les résultats, de prédire l'évolution du fonctionnement lagunaire.

C'est ainsi l'analyse de ces résultats, utilisée par les experts, qui autorise certaines hypothèses sur l'évolution dans le temps de la salinité, du temps de résidence des masses d'eau, des mouvements de fonds et du comportement des sédiments après l'arrêt des rejets.

## les outils d'analyse prédictive de l'incidence sur l'étang de l'arrêt des rejets



Pour un vent donné, exemple de modélisation de la salinité et des champs de courants dans la situation actuelle avec rejets



Pour les mêmes conditions de vent, modélisation de la salinité et des champs de courants dans la situation future sans rejets

En plus de la salinité un traceur non réactif (soit un produit ajouté sans effet sur les autres éléments mais dont les variations de concentration peuvent être étudiée) a été ajouté afin d'analyser le temps de renouvellement des masses d'eau dans l'étang.

Sous le pilotage du bureau d'études SAFEGE Cetiis, missionné pour analyser l'incidence de l'arrêt des rejets, un groupe de 7 experts a eu pour mission d'élaborer des hypothèses d'évolution de l'étang du point de vue hydrodynamique, sédimentologique et écologique après l'arrêt et de définir les mesures compensatoires d'accompagnement.

**Mireille Provansal,**  
géomorphologie- sédimentologie  
**Patrice Francour,**  
océanographie - biologie  
**Yvan Martin,**  
microbiologie marine  
**Bertrand Millet,**  
modélisation  
**Patrick Raimbault,**  
océanologie - hydrologie marine  
**Pierre Rebouillon,**  
sédimentologie - physico-chimie  
**Georges Stora,**  
biologie -  
bionomie/peuplements macrozoobenthiques

Les experts ont également été invités à se prononcer sur la définition d'objectifs intermédiaires de qualité des milieux pouvant être atteints avec une optimisation de la gestion des rejets. Sans attendre la réalisation de la dérivation, dont l'échelle de temps se calcule en décennies, une amélioration en phase transitoire, c'est à dire pendant la mise en œuvre de l'arrêt total, est en effet demandée d'urgence par les usagers de l'étang de Berre.

### **Peut-on savoir avec certitude ce que va devenir l'étang après l'arrêt des rejets ?**

On peut dire que plus on s'éloigne de la situation actuelle plus les prédictions sont soumises à une incertitude, au moins sur une phase transitoire qui peut durer de 2 à 10 ans.

L'expérience d'un arrêt des rejets existe en effet mais sur une période relativement courte de 6 mois. Cette expérience montre une disparition totale de la stratification haline à court terme. A court terme on a ainsi la certitude, confortée par les résultats de la modélisation EDF, qu'il se produirait, avec de légères variations de délais selon la saison, une désstratification haline, une modification des courants, qui deviendraient plus faibles en surface et plus forts au fond, une remontée de la salinité et une augmentation du temps de résidence des masses d'eau.

Ces nouvelles conditions physiques vont ensuite à leur tour modifier les échanges biologiques aléatoirement sous la dépendance d'événements imprévisibles.

### **Quelles sont les conséquences d'un retour à la déstratification haline des eaux de l'étang ?**

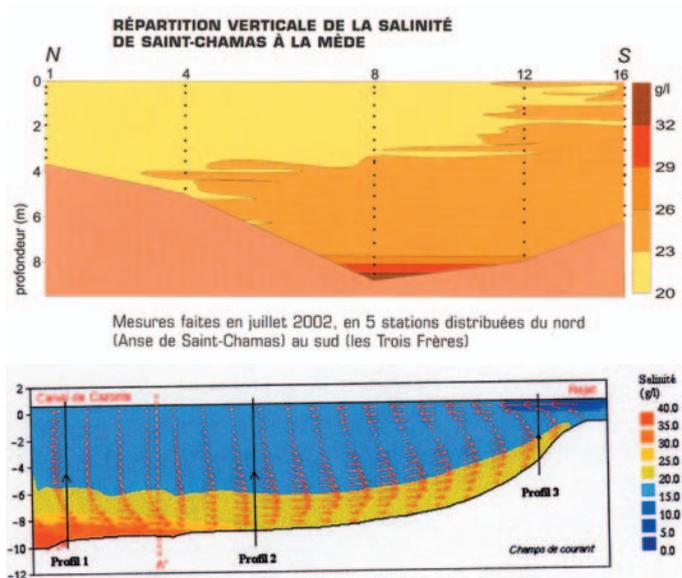
L'arrêt des rejets va supprimer la persistance de la masse d'eau douce superficielle d'une part et va permettre une remontée de la salinité des eaux d'autre part. Les eaux profondes et superficielles vont donc progressivement atteindre une concentration en sel relativement homogène. C'est pourquoi on parle de déstratification haline.

La déstratification, qui n'est pas le seul effet de l'arrêt des rejets, entraînera de nouvelles connexions entre des espaces jusqu'ici isolés. De ce fait, une modification progressive des fonds va s'opérer jusqu'à disparition de l'anoxie qui est aujourd'hui l'un des facteurs responsables du mauvais état de l'étang. Le retour de l'oxygène sur les fonds a pour conséquence la reprise des échanges biologiques et de la vie marine avec un développement de la macrofaune benthique. Des espèces vont donc pouvoir à nouveau se développer.

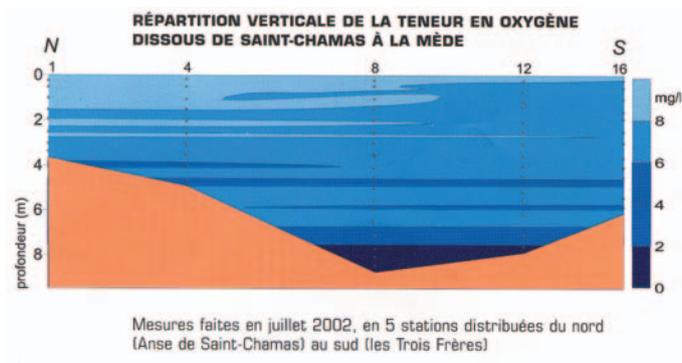
### **Quelles sont les autres paramètres qui vont être modifiés ?**

La déstratification s'accompagnera d'une diminution de la turbidité du fait de la baisse des teneurs en matière organique et des matières en suspension (limons) apportées par les rejets. Du point de vue bactériologique, en accroissant la pénétration des ultraviolets dans la colonne d'eau, l'effet sera donc positif puisque la transparence et la salinité sont deux facteurs de lutte contre le développement des bactéries. Le retour à la transparence va également réduire la production de plancton au profit d'un développement des ulves.

## Evolution de l'étang caractérisée en trois étapes selon le niveau d'incertitude



Aujourd'hui l'étang de Berre est stratifié c'est à dire qu'il comporte une couche superficielle d'eau plus douce et une couche profonde plus salée. On parle alors de stratification haline ou d'un système «bi couche».



Cette séparation en deux dans le sens de la hauteur provoque une anoxie des fonds, soit un manque d'oxygène, interdisant le maintien de la vie marine. L'arrêt des apports massifs d'eau douce permettrait de revenir à un système monocouche c'est à dire dont la salinité serait pratiquement la même sur toute la colonne d'eau.

C'est les conséquences sur le milieu de ce retour à un système "monocouche" qu'il convient pour les experts de prédire et d'expliquer

Du fait de l'analyse du retour d'expérience de l'arrêt de la centrale EDF durant 6 mois en 1990, l'évolution de l'étang à court terme est connue avec certitude. Il s'agit d'un véritable bouleversement avec disparition de la stratification haline. En 7 à 8 mois la salinité devrait atteindre un régime régulier avec une moyenne de 32 pour mille.

Du fait des facteurs variables et imprévisibles pouvant agir sur les réactions de l'étang, la recherche d'un équilibre à moyen terme, soit sur une période de 2 à 10 ans, sera l'occasion d'événements dont la prédiction certaine n'est pas possible.

C'est cette période transitoire, la plus incertaine, qui fait l'objet de toute l'attention des experts sur la base des différentes hypothèses de réaction du milieu.

Cependant la récupération in fine d'une vie écologique diversifiée dans l'étang est certaine du fait de l'enrichissement en espèces nouvelles et d'une diversification par hétérogénéisation du milieu. La colonisation de la bordure littorale par les herbiers sera une étape fondamentale du changement, étant source d'oxygène et support d'une flore et d'une faune marine riche et diversifiée.

A la fin de cette étape de récupération dont le temps est variable mais qui ne devrait pas dépasser 10 ans, un nouvel équilibre se stabilisera en effet avec la recolonisation des fonds par les zostères, soit les herbiers de phanérogames, indicateurs d'un bon état écologique.

### **La contribution des rejets EDF sur l'eutrophisation est-elle probante ?**

La masse de matière organique dans l'étang est essentiellement générée par les apports de Saint Chamas. Toutefois il serait logique de penser que les rejets des eaux de la Durance dans l'étang ont un effet de dilution sur les nitrates et surtout sur les phosphates présents dans l'étang. Pour EDF cette dilution permettrait d'une part une réduction de l'eutrophisation et d'autre part l'augmentation des entrées d'eau marines. Cet effet de dilution s'avère en réalité être un effet d'homogénéisation dont l'impact est négatif sur la biodiversité nécessaire au fonctionnement écologique de l'étang. Le système bi-couche induit par les rejets de la centrale implique en effet que la totalité de la colonne d'eau dérive vers la méditerranée par temps de mistral. Ce fonctionnement dominant a pour conséquence l'uniformisation des milieux.

De plus les concentrations en nitrates sont plus élevées dans le canal EDF que dans l'étang et le modèle EDF montre plutôt une baisse des entrées d'eau marine lors des périodes de turbinage. L'apport en nitrates des rejets d'eau douce joue donc d'autant plus un rôle dans l'eutrophisation de l'étang que la stratification haline, imposée par les rejets, isole un fond sans oxygène.

### **Si les apports de limons et les déchets détritiques sont fortement réduits, faut-il craindre des phénomènes d'érosion en particulier sur certaines plages ?**

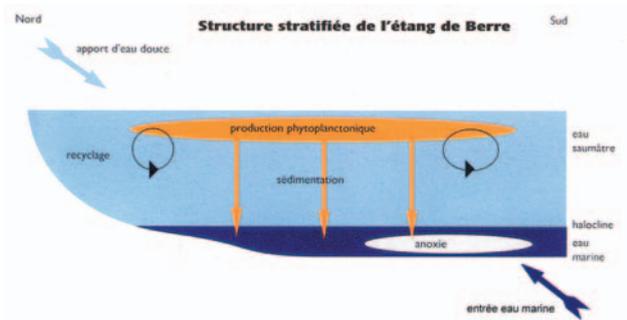
Les rivières tributaires apporteront comme actuellement des sédiments plus grossiers mais le comportement de ces sédiments n'étant plus entravés par les mêmes courants, les zones de dépôts ou d'érosion ne seront plus les mêmes.

Ces courants et les tensions de fond qui les accompagnent vont donc avoir des conséquences sur la quantité de limons circulant par relargage des sédiments et sur les zones d'atterrissement des différents matériaux présents dans l'étang.

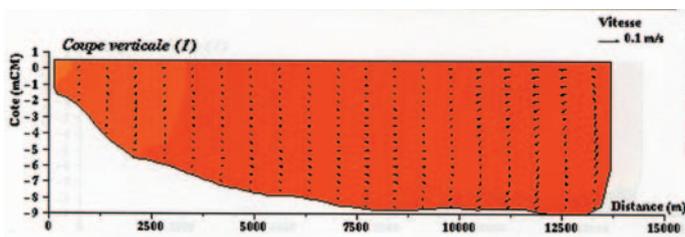
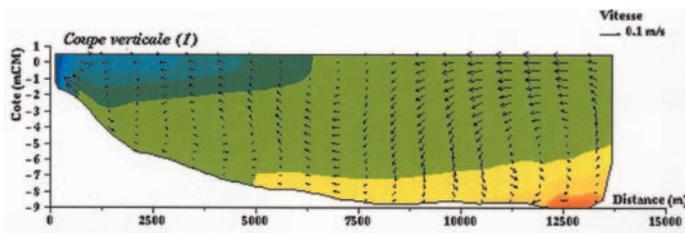
Par ailleurs, les rives et les plages de l'étang sont alimentées aujourd'hui par des déchets détritiques importants. Il n'y a cependant pas de risque d'un déficit de ces apports après l'arrêt des rejets, car ces déchets détritiques seront compensés sans difficulté par la reprise d'une vie biologique et donc une mortalité de coquillages qui seront plus abondants qu'aujourd'hui.

Il reste que le fonctionnement sédimentaire de l'étang est complexe et devra faire l'objet d'un suivi.

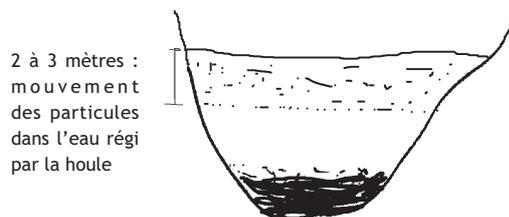
## déstratification haline, baisse de la turbidité, relargage des nutriments



stratification haline et anoxie



déstratification haline à court terme et nouveaux courants



Sur une hauteur d'eau de 2 à 3 mètres en surface, que l'on appelle zone de mobilité, le mouvement des sédiments est régi par la houle sur la surface de l'eau. Dans cette zone, les sédiments ne se déposent pas, ils circulent. Ce phénomène est plus marqué au sud de l'étang qu'au nord et c'est pourquoi les sédiments sont davantage transportés vers le nord. En dessous de cette zone de mobilité, les sédiments se retrouvent dans une zone de cohésion. Cette loi ne changera pas après l'arrêt des rejets mais les courants vont changer et modifier les trajectoires des limons ou des matières en suspension.

Aujourd'hui le fonctionnement de l'étang est sous le joug des rejets EDF du fait de l'importance des flux. Les concentrations en nitrates comme les courants sont sous la dépendance de ces flux.

Sans les rejets EDF, de nouveaux courants vont apparaître et les apports des rivières tributaires de l'étang ainsi que ceux de la mer par le canal de Caronte vont prendre de l'importance.

Ces apports seront les mêmes qu'aujourd'hui mais leur impact sur l'étang modifié sera différent.

Mis au premier plan, les apports des rivières et de la mer devront donc être observés pour une meilleure connaissance de leurs nouveaux fonctionnements au sein d'un milieu modifié.

Après l'arrêt des rejets la répartition du courant évoluant plus particulièrement sur les zones de bordures, lesquelles coïncident avec la zone de mobilité, on peut s'attendre à une redistribution des fines dans l'étang, de cette zone de mobilité vers d'autres zones d'atterrissement.

De plus, au fil du temps des herbiers vont s'installer sur les bords de l'étang et piéger les fines (limons) sur le littoral.

Un suivi des phénomènes d'érosion et de dépôt après l'arrêt des rejets devra donc être engagé afin de connaître le nouveau fonctionnement sédimentaire de l'étang.

L'étude plus approfondie des modifications des tensions de fond par secteur pourrait déjà permettre des prédictions plus précises sur les zones de dépôt et d'érosion.

### **L'inquiétude sur la pollution contenue dans les sédiments du fond de l'étang est-elle justifiée ?**

Les apports de sédiments fins de la Durance viennent enrichir le fond de l'étang depuis des années et ont, en effet, colmaté les sédiments pollués chimiquement par l'activité industrielle passée. L'analyse de la modélisation après arrêt des rejets semble montrer qu'un relargage de ces sédiments colmatés ne se produira pas ou sera très lent. Le relargage de la pollution chimique dépend en effet des tensions de fond qui par frottement mécanique peuvent favoriser leur relargage dans l'eau sous forme fixée aux particules de sédiments, ou permettre la diffusion des molécules libérées plus toxiques pour la faune. Si ce relargage intervenait assez rapidement après l'arrêt des rejets, la circulation rapide des masses d'eau étant maintenue pendant un certain temps, on aurait une dilution de ces polluants. A contrario, un allongement des temps de résidence des masses d'eau à moyen et long terme après l'arrêt des rejets aura une incidence sur l'enrichissement de l'étang et son épuration et devra être pris en compte dans le suivi écologique.

Par ailleurs, les sédiments, sous la pression de l'oxygène et des nouveaux courants vont libérer les sels nutritifs piégés par l'anoxie. Des crises dystrophiques sont donc probables mais passagères et le développement des ulves adsorbant les nutriments pourrait servir d'épurateur.

Enfin la pollution bactériologique contenue dans les sédiments reste mal connue mais ce relargage ne peut être que temporaire et localisé.

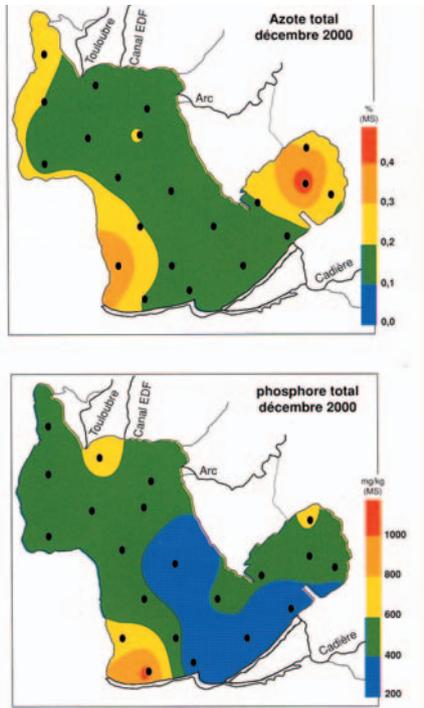
### **Les usages pourront-ils être affectés par ces changements ?**

Les polluants chimiques qui pourraient être transitoirement relâchés dans le milieu auront des effets sur certains usages de prédation mais n'en auront pas sur les usages de loisirs tels que les sports nautiques. Le risque sanitaire pour les poissons reste très faible malgré tout du fait des chaînes alimentaires courtes.

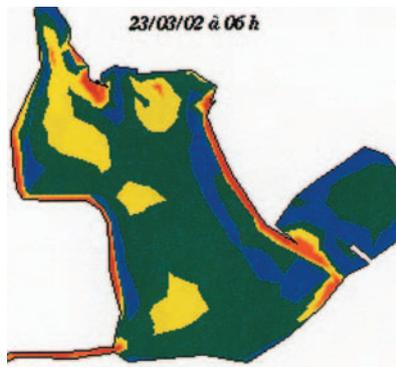
Cependant du fait d'une activité biologique plus importante, les effets des apports polluants du bassin sur cette activité devront être davantage étudiés.

La qualité de l'eau s'améliorant on peut supposer que les activités de baignade et de sports nautiques vont se développer. Elles pourraient alors entrer en concurrence avec la pêche dont l'activité sera de toute façon modifiée par les changements d'espèces dans l'étang.

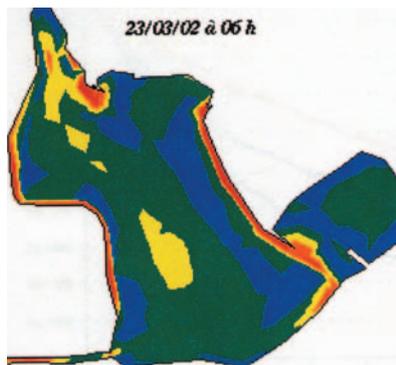
## Retour à la diversité spatiale des milieux



Concentration en azote et en phosphore dans les sédiments superficiels de l'étang



Mesure des tensions de fond avant l'arrêt des rejets



Mesure des tensions de fond après l'arrêt des rejets

La présence d'oxygène, en réactivant des réactions chimiques au fond de l'étang, va provoquer la libération des sels nutritifs aujourd'hui piégés dans les eaux interstitielles des sédiments par l'anoxie. La baisse des nitrates dans l'étang, du fait de l'arrêt des apports par les rejets, pourra donc s'accompagner paradoxalement d'une présence plus forte de sels nutritifs. Ces états étant temporaires, des blooms phyto-planctoniques pourront alors être observés sans être significatifs d'un mauvais état général de l'étang mais plutôt témoins d'une phase de guérison.

Le relargage des polluants par les sédiments sont de trois natures : Le relargage des sels nutritifs (azote et phosphore), le relargage des polluants chimiques et celui des bactéries.

Le développement des ulves, lié à la transparence va permettre d'absorber les sels nutritifs de l'étang. Ces ulves ne vont probablement pas rester au fond de l'étang. Elles seront très rapidement ramenées à la côte avec la possibilité de zones de stagnation. Puis progressivement l'apport en nutriment faiblissant, le développement des ulves devrait réduire son intensité. Dans l'intervalle la collecte des ulves permettra l'épuration en sels nutritifs et reste donc un élément majeur de la restauration de l'étang de Berre.

La connaissance des polluants chimiques des sédiments ne permet pas de faire des prédictions précises sur la nature et le relargage possible de ces polluants dans la masse d'eau à l'arrêt des rejets en raison des variations possibles des réactions sur les fonds.

On peut cependant prédire l'effet de ces polluants sur les différents usages et estimer une fourchette dans le temps pendant laquelle ils seront présents.

Après l'arrêt des rejets, un "caging" de moules pourrait permettre une surveillance de la pollution chimique présente dans l'étang.

Dans tous les cas, un suivi de la pollution chimique devra être réintroduit servant un double objectif de surveillance de l'étang et de surveillance sanitaire des poissons.

### **L'arrêt des rejets est-il la seule voie possible pour la réhabilitation de l'étang de Berre ?**

Seule la déstratification permet de supprimer l'anoxie des fonds qui est l'un des objectifs principaux du GIPREB afin de restaurer une lagune méditerranéenne profonde. Or la déstratification ne peut pas être obtenue dans un système bi-couche tel qu'il est actuellement provoqué par les rejets.

Tant qu'il y aura des rejets ceux-ci induiront donc une stratification haline avec une baisse de la salinité ainsi qu'un courant de surface uniformisant et séparant la couche superficielle des eaux profondes où les courants sont ralentis.

### **Peut-on imaginer une gestion des rejets qui permettent une amélioration écologique sensible du milieu ?**

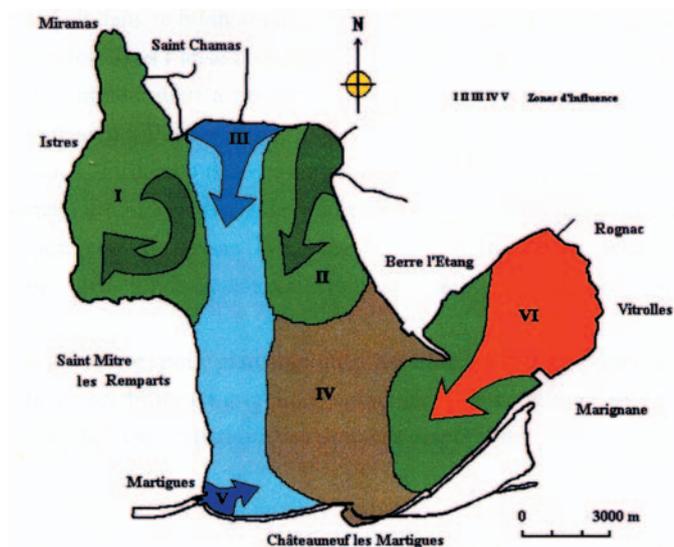
On peut sans doute améliorer le milieu par une modulation dans la gestion des apports mais la difficulté est de connaître a priori et sans expérience les modalités de cette gestion.

Par ailleurs, quelle que soit la réduction des apports, la stratification ne pourrait pas être supprimée et maintiendrait donc dans tous les cas une anoxie des fonds au centre de l'étang.

L'objectif écologique d'amélioration pourrait donc être une stabilité de la stratification au centre de l'étang et une suppression de la stratification sur les bords. La qualité biologique pourrait alors être développée sur ces secteurs littoraux avec la recherche d'une stabilité de la salinité à un taux acceptable pour le milieu, soit entre 15 et 25 pour mille.

Cette recherche des modalités de gestion repose cependant sur une expérimentation grandeur nature conduite par EDF sur une ou deux années au minimum. Elle nécessiterait non seulement une réduction des apports mais aussi et surtout leur homogénéisation sur une échelle de temps courte telle qu'hebdomadaire, afin de supprimer les chocs dus aux variations brutales des apports. Une régularisation des rejets sur l'année impliquerait également un turbinage l'été.

## les mesures à prendre pour un suivi



L'expérience montre que le même vent va organiser différents courants juxtaposés dans un système monocouche...

Le système monocouche va permettre de revenir à une segmentation des différentes parties de l'étang sur lesquelles les nouveaux courants, l'effet de houle et la présence ou pas des tributaires, des entrées de mer, induiront des réactions différentes.

L'homogénéisation de l'étang va faire place à un système plus complexe, plus homogène en salinité sur la hauteur d'eau, mais plus diversifié selon les secteurs.

Le suivi de l'évolution des différents paramètres indicateurs de l'état écologique devra impérativement identifier et tenir compte des différents zonages de l'étang ainsi rétabli.

Ainsi tout au long d'un temps durant plusieurs années, l'étang va progressivement reconstruire des milieux écologiques de lagune méditerranéenne profonde. Comme dans tout milieu lagunaire, on assistera à des explosions spécifiques de certaines espèces. La caractéristique de ces peuplements est de présenter des faciès. Dans le cas de l'étang de Berre, l'arrêt des rejets va favoriser l'apparition de faciès de diversification dont le développement préférentiel n'altérera pas les peuplements en place.

Le maillon de la chaîne biologique le plus long à coloniser l'étang est représenté par les herbiers dont le développement signera la fin de l'étape transitoire et l'installation d'un nouvel équilibre. Avec les herbiers de zostères, tout un écosystème se mettra en place sur la base d'une nouvelle chaîne alimentaire plus longue permettant le développement de la faune associée, soit des crustacés et d'autres poissons. Il se peut qu'il y ait des modifications d'espèces aujourd'hui présentes comme l'anguille vers des espèces plus marines. L'entrée dans cette phase signe l'installation à long terme d'une phase de stabilisation.

