

# GIPREB

Groupement d'Intérêt Public pour la  
Réhabilitation de l'Étang de Berre



## **Evaluation de l'effet induit de l'arrêt définitif, progressif ou immédiat des apports par le canal EDF**

N°NG 106

Octobre 2004

*Rapport de Phase 2*



<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
Octobre 2003	Rapport de phase	VS/KE/MC	LB	M901	1/1

# SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION : RAPPEL DES EFFETS DE L'ETANG DE BERRE SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'ETANG DE BERRE .....</b>	<b>3</b>
<b>2 APPROCHE THEMATIQUE DES EFFETS INDUITS PAR L'ARRET DES REJETS EDF 5</b>	
<b>2.1 LES EFFETS SUR LE MILIEU PHYSIQUE.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Présentation générale du modèle et des simulations.....	5
2.1.2 Analyse des résultats des simulations numériques .....	6
2.1.3 Conclusions sur les effets d'un arrêt des apports.....	12
<b>2.2 EVALUATION DES FUTURS REJETS POLLUANTS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 LES EFFETS SUR LA QUALITE DE L'EAU ET DU SEDIMENT .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau.....	24
2.3.2 La qualité des eaux de baignade .....	25
2.3.3 La qualité des sédiments .....	26
2.3.4 La qualité de la matière vivante .....	27
<b>2.4 LES EFFETS SUR LE COMPARTIMENT BIOLOGIQUE.....</b>	<b>27</b>
2.4.1 La faune benthique.....	28
2.4.2 La macroflore .....	30
2.4.3 Le phytoplancton.....	33
2.4.4 Les bactéries .....	40
2.4.5 Le zooplancton.....	41
2.4.6 La faune ichtyologique .....	42
<b>2.5 EFFETS SUR LE FONCTIONNEMENT GLOBAL DE L'ECOSYSTEME .....</b>	<b>45</b>
<b>2.5 LES IMPLICATIONS POUR LES USAGES .....</b>	<b>48</b>
2.5.1 La voile et les activités nautiques .....	48
2.5.2 L'activité balnéaire .....	48
2.5.3 La pêche et la consommation des ressources de l'étang.....	49
2.5.4 Approche par zone.....	50
<b>2.6 LES ACTIONS CORRECTIVES ET LES MESURES ACCOMPAGNATRICES .....</b>	<b>54</b>
<b>3 BILAN : ANALYSE SYSTEMIQUE DE L'ENSEMBLE DES VOLETS.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 EVOLUTIONS ATTENDUES A COURT TERME (6 MOIS – 1 AN).....</b>	<b>58</b>
<b>3.2 EVOLUTIONS ATTENDUES A MOYEN TERME (2 – 10 ANS) ET STABILISATION ATTENDUE A LONG TERME (+10 ANS) .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3 TABLEAU DE SYNTHESE DES EFFETS DE L'ARRET DES REJETS ET INCERTITUDES ASSOCIEES</b>	<b>61</b>
<b>4 LES MANQUES DANS LA CONNAISSANCE DE L'ECOSYSTEME DE L'ETANG DE BERRE .....</b>	<b>63</b>

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	1

---

**5 BIBLIOGRAPHIE..... 64**

---

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	2

# 1

## Introduction : rappel des effets de l'étang de Berre sur le fonctionnement de l'étang de Berre

Les rejets d'eau douce de Saint Chamas, massifs et très variables depuis 1966, ont entraîné des modifications drastiques du milieu dont les manifestations les plus directes sont une baisse de la salinité et une augmentation de sa variabilité, de 30-33 ‰ à 6-25‰ ainsi que l'apparition d'une stratification haline, fruit de la rencontre des eaux douces issues du canal EDF et des eaux salées qui pénètrent dans l'étang par le canal de Caronte. Cette stratification densimétrique des eaux couplé à des quantités importantes de matière organique **a conduit à une anoxie quasi-permanente des fonds** de plus de 6m.

Depuis la mise en conformité des rejets d'eau douce avec ceux préconisés par le plan Barnier<sup>1</sup> en 1997, la salinité moyenne de surface de l'étang tend à s'accroître progressivement et à conserver une valeur plus élevée d'année en année. Une relation entre la baisse globale des rejets et l'augmentation de la salinité moyenne en surface à l'échelle de l'année est clairement établie. La salinité est passée d'un minimum d'environ 6 ‰ en mars 1995 à environ 8 ‰ en février 1998, et d'une salinité maximale d'environ 16 ‰ au mois d'octobre 1995 à 25 ‰ en septembre 1998. Malgré cette progression de la salinité, **l'écosystème de l'étang de Berre reste sous l'influence majeure des rejets de la centrale hydroélectrique de Saint - Chamas** en raison à la fois de la forte stratification des masses d'eau et de l'instabilité du milieu qu'ils provoquent.

Les rejets EDF sont également le vecteur d'un flux important et irrégulier de matières en suspension, participant au maintien de la turbidité et à l'envasement des fonds et de ressources nutritives, soutenant l'eutrophisation du milieu.

L'évolution du compartiment biologique témoigne des modifications et de l'instabilité physico-chimique, mentionnées ci-dessus. **Sous l'effet des rejets EDF, l'écosystème de**

---

<sup>1</sup> Les apports ne dépassent pas les 2,1 milliards de m<sup>3</sup>/an (excepté en 1999/2000) et doivent être inférieurs à 400 millions de m<sup>3</sup> entre mai et septembre.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	3

**l'étang de Berre est maintenu à un stade juvénile caractérisé par un nombre restreint d'espèces (faible diversité spécifique) et d'interactions.** On parle de système déstructuré.

On constate la **disparition de la faune benthique au dessous de 6m** de profondeur et **l'appauvrissement et la dégradation généralisée de l'ensemble des peuplements benthiques originels** (SVMC, SFHN) dans les zones les moins profondes puis une évolution vers des peuplements lagunaires (LEE). On relève également la réapparition de *Potamogeton pectinatus* et la régression des zostères.

L'évolution des peuplements de poissons se caractérise par la réapparition d'espèces dulcicoles, la stabilité des espèces euryhalines et le recul des espèces à affinité marine. Il en est de même pour les espèces phytoplanctoniques.

L'étang de Berre est également un espace marqué par **une eutrophisation très élevée dont les relations avec les rejets de Saint-Chamas ont pu être établies** notamment à partir de l'analyse des événements de 2002 et 2003.

- En 2002 les volumes turbinés par la centrale hydroélectrique de Saint-Chamas sont particulièrement faibles. On enregistre en parallèle, une diminution significative de la biomasse phytoplanctonique et de la turbidité et le développement d'ulves à un niveau qui confirme le caractère eutrophe de l'étang. D'autre part, l'augmentation de la salinité consécutive à ces faibles rejets a conduit à une augmentation du nombre de moules.
- Un turbinage important, concentré sur quelques mois, s'est produit en 2003. Il s'est accompagné d'une augmentation de la biomasse phytoplanctonique et de la turbidité et en contrepartie de la quasi-absence d'ulves. En cette période de forts rejets, le caractère eutrophisé de l'étang a donc pris la forme d'une prolifération phytoplanctonique.

D'autres éléments **désignent les apports de Saint-Chamas comme facteur certain et prépondérant d'enrichissement en éléments nutritifs de l'étang**, et confirment ainsi leur responsabilité dans le caractère eutrophe de l'écosystème.

Les observations faites chaque année témoignent d'une réaction relativement rapide des composantes de l'écosystème aux modifications hydrologiques et laissent présumer de l'efficacité d'un arrêt des rejets dans l'optique d'une réhabilitation de l'étang.

Nous avons, lors de la phase 1, tenté de comprendre les mécanismes qui sous-tendent le fonctionnement actuel et passé de l'étang de Berre. Forte de ces enseignements, **cette deuxième phase tente d'établir les scénarios les plus probables de l'évolution du milieu naturel et des usages de l'étang de Berre, dans l'hypothèse d'un arrêt complet des rejets de Saint-Chamas.**

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	4

## 2 Approche thématique des effets induits par l'arrêt des rejets EDF

L'effet de l'arrêt des rejets est analysé par ordre croissant supposé, du temps de réaction des différentes composantes du système. Notre attention s'est ainsi portée en premier lieu sur la réaction dynamique et hydrologique de l'étang et plus généralement celle du biotope, qui constitue la base de notre réflexion sur les changements qui pourraient s'opérer au sein des biocénoses pélagique (les plus réactives) puis benthique. Cette analyse traite également des possibles et même très probables « feed-back » des modifications biologiques et écologiques sur le biotope.

### 2.1 Les effets sur le milieu physique

L'analyse de l'effet de l'arrêt des rejets sur le milieu physique est basée principalement sur l'utilisation d'un modèle mathématique du régime hydraulique et de salinité de l'étang. Cette modélisation mathématique a été conduite par le LNHE<sup>2</sup>, pour le GIPREB. L'exploitation et à l'interprétation des résultats des simulations ont été réalisées par SAFEGE CETIIS.

#### 2.1.1 Présentation générale du modèle et des simulations

Le modèle (TELEMAK) 3D implanté dans l'étang de Berre par le LNHE (EDF) permet d'en simuler l'hydrodynamisme, en tenant compte des effets du vent (à l'échelle locale et à celle du Golfe de Fos), des apports d'eau douce (Saint - Chamas et principaux tributaires) et des entrées d'eaux marines par le canal de Caronte. Les principales variables simulées par le modèle sont la vitesse et la direction du courant ainsi que la salinité. Le code numérique et son implantation sont détaillés dans le rapport du LNHE (chapitre 2).

Les simulations réalisées couvrent une période de 6 mois, comprise entre le 15/01/02 et le 15/07/02. Les vents, les niveaux de la surface libre ainsi que les apports de Saint - Chamas et ceux des tributaires qui alimentent le modèle sur cette période, sont issus de données d'observations. Il faut noter que les débits turbinés au cours de cette année correspondent à un fonctionnement très réduit de la centrale. Mais, en dépit de son caractère peu

---

<sup>2</sup> LNHE : Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	5

représentatif de ce point de vue, l'année a été choisie en raison de la disponibilité des données nécessaires à l'activation du modèle.

La **simulation 1** est réalisée avec les chroniques réelles des apports de Saint - Chamas,  
La **simulation 2** est réalisée sans apport de Saint - Chamas. Elle part de conditions halines marquant l'influence du turbinage et des tributaires,  
La **simulation 3** est réalisée sans apport de Saint - Chamas. Elle part de conditions halines correspondant à l'influence des seuls tributaires.

Ces scénarios d'étude sont détaillés au chapitre 3 du rapport<sup>3</sup> du LNHE.

La simulation de l'hydrodynamisme est doublée d'une simulation de traceurs passifs qui permettra d'analyser en détail le renouvellement des eaux de l'étang par les eaux marines. La concentration du traceur passif est définie égale à 1 au sein de l'étang et 0 à l'extérieur de l'étang.

La comparaison des simulations 1 et 2 permet d'étudier les modifications du comportement dynamique de l'étang lié à un arrêt des rejets de Saint - Chamas, dans la phase transitoire.

La comparaison des simulations 1 et 3 permet d'étudier l'effet à long terme de l'arrêt des rejets sur la dynamique de l'étang.

## 2.1.2 Analyse des résultats des simulations numériques

Les résultats des simulations sont abordés sous quatre aspects : le régime de salinité, le temps de résidence des masses d'eau, les schémas de circulation des masses d'eau et le comportement hydro-sédimentaire.

### 2.1.2.1 Le régime de salinité

L'arrêt des apports de Saint - Chamas provoque une modification profonde du régime de salinité dont on peut distinguer trois manifestations : la hausse du niveau moyen, la diminution de la variabilité temporelle et la destratification. Ces trois effets ne sont pas également ressentis dans l'étang et s'expriment à des échéances différentes.

D'après les simulations 2 et 3 (planches 10 à 12 et 16 à 18), la halocline disparaît ou se stabilise sur des périodes comprises entre 1 mois et 4 mois. La destratification est complète et s'opère rapidement (en 1 mois) dans les secteurs initialement peu stratifiés du nord de l'étang (stations H1, H3 et H4). Elle est également complète dans l'étang de Vaïne mais s'effectue sur une période de 3 mois en raison de l'isolement hydrodynamique de ce secteur. Au centre de l'étang, l'influence des eaux marines de Caronte et l'évacuation progressive des eaux douces de l'étang contribuent à ralentir le processus de destratification, dont la durée est comprise entre 3 et 4 mois. En phase stabilisée, lorsque les eaux douces de Saint - Chamas ont été évacuées en majeure partie de l'étang (planches 16 à 18), on relève un maintien de la halocline sur ce secteur, qui est maximale à la sortie de Caronte (de l'ordre de 4 psu<sup>4</sup> à la

<sup>3</sup> M. LUCK. Document de Travail. Etang de Berre : Contribution à l'étude d'incidence de l'arrêt des rejets de la centrale hydroélectrique de Saint - Chamas - Modélisation tridimensionnelle des champs de courants et de salinité - EDF, novembre 2003. 10 pages + planches.

<sup>4</sup> Psu : Practical salinity unit

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	6



station H13) et faible voire très faible de l'ordre de 1 psu sur les autres stations du centre de l'étang (stations S32, H12 et B).

La hausse du niveau moyen de salinité s'opère sur une période moyenne de 7 mois (planches 11, 12, 16, 17). On atteint à cette échéance, des valeurs en surface de l'ordre de 32 psu sur l'ensemble de l'étang qui résultent d'un mélange relativement homogène des eaux marines et des tributaires. Dans les stations du centre qui sont sous influence des apports d'eau marine, la salinité des eaux de fond peut atteindre des valeurs comprises entre 35 psu (H13) et 37 psu.

La hausse du niveau de salinité s'accompagne d'une baisse de sa variabilité temporelle et spatiale. Au centre du chenal, (stations H12, H13, S32) les variations de salinité sont initialement fortes au fond (simulation 1, planche 5) - on relève des amplitudes maximales de l'ordre de 10 psu - qui font écho à celles des apports d'eau marine par le canal de Caronte. Après coupure des apports de Saint - Chamas, les variations maximales atteignent 5 psu (simulations 2 et 3, planches 11 et 17). Au droit des rejets de Saint - Chamas, c'est naturellement en surface que les variations de salinité sont initialement les plus élevées (simulation 1, planche 4), les amplitudes journalières pouvant atteindre 10 psu. Par mélange vertical et convection, les fluctuations en surface ont des répercussions en profondeur où les amplitudes atteignent 5 psu. L'arrêt de Saint - Chamas élimine ces fluctuations en profondeur et les réduit à 1-2 psu en surface (simulation 3, planche 16). Les stations situées au centre et au sud de l'étang (H12, S32, A) présentent des fluctuations de salinité à haute fréquence qui se manifestent en surface et au fond (simulation 1, planches 5 et 6). Ces fluctuations sont réglées par les apports de Saint - Chamas et de Caronte et par l'intensité des mélanges verticaux. Alors que la salinité de surface augmente et se lisse immédiatement en réponse à l'arrêt de Saint - Chamas, les fluctuations en profondeur se réduisent progressivement pour atteindre un niveau stabilisé en moyenne après environ 7 mois (planches 11,12, 14 et 15).

### 2.1.2.2 Le temps de résidence des masses d'eau

La cinétique de diminution des traceurs conservatifs au sein de l'étang permet d'étudier comparativement et quantitativement le renouvellement des masses d'eau de l'étang par les eaux marines, pour les 3 scénarios. L'évolution de la diminution des quantités totales en traceurs calculée sur les 3 scénarios (planche 61, Figure 1), montre que :

- l'arrêt des rejets de Saint - Chamas a pour effet de ralentir le renouvellement des eaux de l'étang (comparaison des courbes simulations 1 et 2 et simulations 1 et 3),
- l'étang se renouvelle plus efficacement lorsque les eaux douces de Saint - Chamas sont encore présentes dans l'étang (comparaison des courbes simulations 2 et 3).

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	7

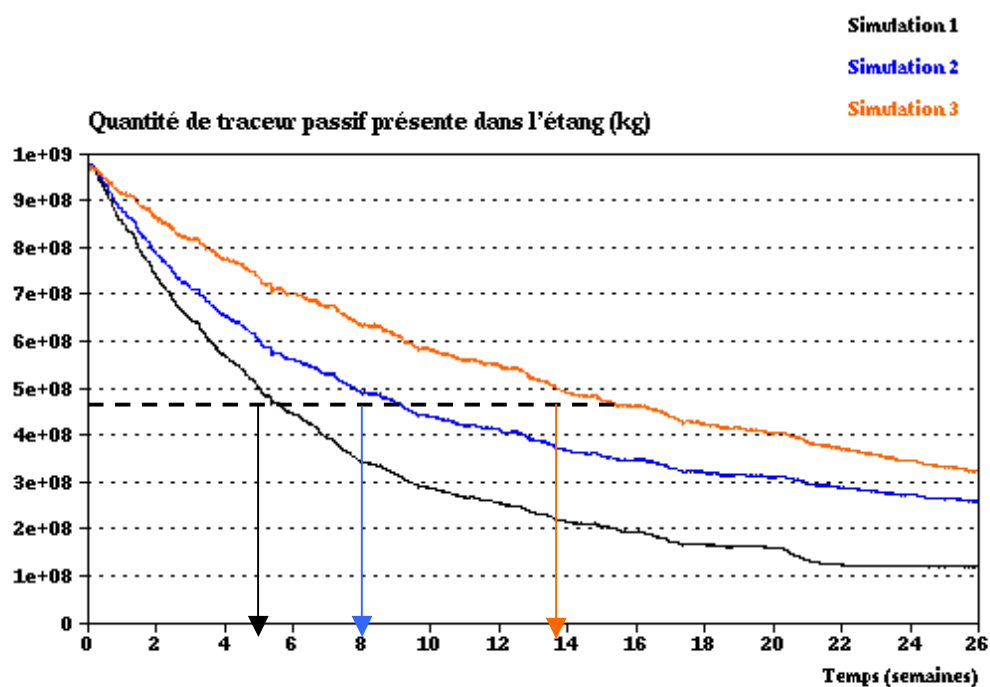


Figure 1. Evolutions temporelles de la quantité de traceurs passifs dans l'étang, comparaison des 3 simulations.

La quantité de traceurs dans l'étang s'abaisse de 50 % en 36 jours pour la simulation 1, en 56 jours pour la simulation 2 et en 98 jours pour la simulation 3 (Figure 1). Ces différences s'expliquent d'une part par le rôle de dilution joué par les apports de Saint - Chamas mais aussi par les effets sur la dynamique de l'étang de la réduction de la proportion d'eaux douces dans l'étang. En activant la circulation au sein de l'étang, la présence d'eau douce permet un mélange plus efficace (et plus étendue) entre les eaux marines et les eaux de l'étang (voir paragraphe suivant). L'eau qui ressort à Caronte est donc dans le cas de la simulation 2 moins concentrée en traceur que dans la cas de la simulation 3.

Les planches 41, 47 et 53, figurent la répartition spatiale des teneurs en traceurs, obtenue après 2,5 mois de simulation pour les 3 scénarios. Elles montrent clairement les différences de vitesse de renouvellement entre les trois situations et indiquent aussi une variation spatiale du renouvellement de l'étang. Ce sont logiquement les secteurs de l'étang situés à proximité des entrées d'eau qui se renouvellent le plus vite, soit en surface au droit du rejet de Saint - Chamas (simulation 1) et au fond sur la moitié sud de l'étang (simulations 1, 2 et 3).

Sans apports de Saint - Chamas, les secteurs de la baie de Saint - Chamas et de l'étang de Vaïne sont les plus longs à se renouveler du fait de leur éloignement de la source d'eaux marines et pour le cas de l'étang de Vaïne d'un relatif confinement hydrodynamique.

Le Tableau 1 donne, sur l'ensemble des stations échantillonnées, les durées nécessaires à un abaissement de 50 % des teneurs initiales en traceur. On estime ainsi que le renouvellement de 50 % des eaux de l'étang requiert 20 jour de plus que dans le reste de l'étang en surface et au fond. Les secteurs du centre renouvellent relativement vite les eaux de fond par les apports de Caronte mais présentent en surface et en absence de rejet de Saint - Chamas, des valeurs identiques au reste de l'étang.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	8

	Simulation 1		Simulation 2		Simulation 3	
	surface	fond	surface	fond	surface	fond
H1 baie St Chamas	32	32	60	60	100	100
H3 anse Ranquet	32	32	59	59	100	100
H4 rejet	5 - 32	32	55	55	98	98
A centre nord	25 - 32	25 - 32	60	34 - 60	103	88 - 103
H8 centre	34	22 - 34	60	22 - 60	100	80 - 100
S32 centre sud	37	5 - 37	58	5 - 47	102	53 - 102
H12 milieu sud	37	8 - 37	60	3 - 41	100	45 - 100
H13 Caronte	38	2	55	2	98	2 - 68
B sud	37	2 - 37	56	2 - 42	100	30 - 96
H19 étang de Vaïne	52	50	77	77	120	120

Tableau 1. Durée nécessaire (en jours) à un abaissement de 50% des teneurs initiales en traceur. Deux valeurs sont proposées quand les teneurs présentent une évolution non strictement décroissante, la première valeur correspond au temps nécessaire pour obtenir une première valeur inférieure à 50 % des teneurs initiales et la seconde valeur correspond au temps nécessaire pour ne plus obtenir de valeurs qui dépassent le seuil de 50%.

### 2.1.2.3 Le déplacement des masses d'eau

La coupure des apports de Saint - Chamas et la resalinisation de l'étang de Berre provoquent des modifications sensibles du schéma de circulation des masses d'eau.

A la date du 23/01/02 (planche 22), par **vent de sud-est modéré**, les courants obtenus **dans la configuration actuelle** montrent que les masses d'eau se dirigent en surface vers le nord et pénètrent le canal de Caronte tandis qu'en profondeur les eaux se déplacent vers le sud dans la majeure partie de l'étang et vers l'est au niveau du canal de Caronte. On obtient ainsi un comportement hydrodynamique fortement barocline lié en grande partie à la présence de la halocline. Sur la coupe verticale effectuée dans l'axe principal de l'étang on voit bien l'inversion des courants entre la surface et le fond, et les phénomènes convectifs associés. L'étang de Vaïne, peu stratifié, présente un comportement hydrodynamique différent, marqué par des courants plus lents et moins verticalement cisailés que sur le reste de l'étang.

En l'absence d'apports mais en présence d'eau douce (simulation 2, planche 28), le comportement hydrodynamique de l'étang est pratiquement identique.

L'étang « resalinisé » (simulation 3, planche 34) se différencie plus nettement sur le plan hydrodynamique : le cisaillement vertical des courants est plus estompé et les masses d'eau se déplacent sensiblement plus lentement. Ce ralentissement général de la dynamique serait

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	9

causé par l'absence ou la forte réduction de la halocline. La hauteur de la halocline règle l'épaisseur d'eau entraînée par le vent. Ainsi en présence d'une halocline marquée le vent transfère son énergie sur une lame d'eau plus fine que sur une eau marine non stratifiée, engendrant ainsi en surface des courants plus forts qui provoquent par continuité des courants de fond plus intenses. Il est à noter que la transmission du mouvement de la surface vers le fond dans un système bi-couche (eau douce se superposant aux eaux salées) est très dépendante du réglage opéré sur le coefficient de diffusion vertical. Sans préjugé de la calibration effectuée sur le modèle de l'étang de Berre il est important de mentionner que d'autres choix auraient pu conduire à un «isolement» hydrodynamique de la couche du fond et ainsi à leur relative confinement. Une discussion devra être engagée sur ce point avec les experts du LNHE compte tenu de l'importance de ce phénomène dans le renouvellement global des eaux de l'étang. L'arrêt des apports de Saint - Chamas influençant peu la stratification haline de l'étang de Vaïne, son comportement hydrodynamique est assez similaire à celui obtenu avec la simulation 1.

Après environ 4 mois, la simulation 2 produit des résultats hydrodynamiques qui diffèrent peu de ceux obtenus avec la simulation 3. L'analyse des traceurs montre qu'à cette échéance, plus de 60% de l'étang a été renouvelé, la halocline a soit disparue soit s'est équilibrée (selon les secteurs considérés).

La configuration hydrodynamique obtenue le 10/05/02 est également intéressante. Avec des débits **élevés de Saint - Chamas et des conditions de vent faible**, on obtient une circulation des masses d'eau qui, en surface, s'effectue dans le travers de l'étang d'ouest en est et vers le nord au fond (planche 25). Les coupes verticales pratiquées dans la largeur de l'étang montrent les cellules convectives associées à ces mouvements d'ensemble. Au droit du canal de Caronte les eaux se déplacent vers l'ouest en surface et vers l'est en profondeur. Dans l'étang de Vaïne, les courants sont très lents en surface et au fond. En baie de Saint - Chamas, les eaux pénètrent en surface et ressortent en profondeur.

La passage d'un étang stratifié à un étang non stratifié soumis à la seule action du vent (simulation 3, planche 37) se traduit par un ralentissement du déplacement des masses d'eau qui infléchissent leur mouvement vers le nord en surface et vers le sud au fond (soit en direction opposée à celle obtenue avec la simulation 1). Les courants sont très lents dans la baie de Saint - Chamas et l'étang de Vaïne.

En situation de **Mistral fort** (11/06/02), et **d'apports élevés** de Saint - Chamas, les eaux de la partie nord de l'étang sont déplacées en surface vers le sud (planche 26). Dans la moitié sud, les eaux sont stagnantes au cœur de l'étang et fortement accélérées vers le sud sur les bords (action prépondérante du vent). Les deux veines de courants qui bordent de part et d'autres l'étang convergent à l'extrémité sud de celui-ci. Les eaux marines qui pénètrent l'étang sont à l'instar des eaux de fond de l'étang, globalement entraînées vers le nord. Sur la coupe verticale pratiquée dans l'axe principal de l'étang, on note la présence sur la partie nord d'une cellule convective tandis que la partie sud est surtout mobile au fond.

En **absence de rejet** et dans un étang fortement resalé (simulation 3, planche 38), le **Mistral** provoque également en surface un déplacement des masses d'eau vers le sud sur les zones peu profondes (bords de l'étang) tandis que l'étang est peu mobilisé dans ses parties centrales. Ces afflux d'eau en surface vers le sud qui s'effectuent sur les bords de l'étang sont compensés par une remontée des eaux profondes vers le nord. Par comparaison avec la simulation 1, on note en sus de la relative barotropisation et du ralentissement général des courants, une modification profonde des schémas de circulation dans la partie nord de

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	10

l'étang qui traduit le contrôle exercé par les forts apports d'eau douce de Saint - Chamas sur l'hydrodynamisme local.

#### 2.1.2.4 Le comportement hydro-sédimentaire

Les modifications hydrauliques consécutives à l'arrêt de Saint - Chamas, sont également susceptibles d'avoir des répercussions sur le comportement de remise en suspension et de dépôt des sédiments fins de l'étang. Cette question est examinée par le calcul des tensions sur le fond, opéré sur les 3 simulations pour différentes conditions de vent (planches 58 à 60).

Notre étude s'appuie sur l'analyse comparative des scénarios 1 et 3, sachant que les conditions hydrauliques spécifiques au scénario 2 ne perdureront que sur une période relativement courte (4 mois) en regard des échelles sédimentologiques.

Nous rappelons préalablement les conditions hydrauliques de remise en suspension et de dépôt pour le cas des sédiments cohésifs, principaux constituant des fonds sédimentaires de l'étang :

- Dans le cas d'une vase non consolidée (teneur en eau de 90%), on estime (diagramme de Postma) que la tension critique d'érosion est comprise entre 0,2 N/m<sup>2</sup> et 0,4 N/m<sup>2</sup> pour un diamètre de grain compris entre 1 µm et 100 µm.
- Dans le cas d'une vase consolidée dont la teneur en eau est de 50%, la tension critique d'érosion est comprise entre 50 N/m<sup>2</sup> et 0,4 N/m<sup>2</sup> pour un diamètre de grain compris entre 1 et 100 µm.

En première approximation, on peut considérer que les processus de dépôt et d'érosion sont exclusifs, un courant qui n'érode pas permet le dépôt et inversement.

Pour la **situation de Mistral du 23/03**, l'arrêt des apports de Saint - Chamas et la resalinisation de l'étang provoquent une réduction globale des tensions s'exerçant sur le fond, notamment dans les parties nord et ouest de l'étang. Des diminutions de la tension de fond sont également constatées dans le canal de Caronte. En revanche, les tensions s'exerçant sur les rivages, qui sont maximales, ne sont pas sensibles à l'arrêt des rejets. Les conséquences sur les mouvements sédimentaires verticaux dans l'étang sont probablement réduites car les tensions obtenues (généralement inférieures à 0,1 N/m<sup>2</sup>) ne sont pour la plupart pas susceptibles de mobiliser même des vases très fluides et lorsqu'elles le sont (comme sur le rivage) elles ne diffèrent pas ou peu d'un scénario à l'autre. Les seules différences pouvant conduire à une modification des échanges verticaux de sédiment concernent le canal de Caronte qui perd son caractère érosif potentiel dans la simulation 3.

La **situation du 11/06** correspond à un Mistral moins fort que le précédent et à des conditions d'apports élevés de Saint - Chamas pour la simulation 1. Les tensions exercées ne sont pas susceptibles de mobiliser les fonds dans les deux cas de figures (simulations 1 et 3) exception faite du canal de Caronte et de la zone de rejet pour la simulation 1. Les tensions restent inchangées dans le canal de Caronte, seule la zone à proximité du rejet changera son comportement hydro-sédimentaire en perdant (dans ces conditions de rejet) son caractère érosif. Ainsi, les sédiments déposés dans ce secteur par les apports de Saint - Chamas, ne seront pas remis en suspension sous l'action des courants activés par le vent, après arrêt de ces apports.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	11

Dans la **situation de vent d'est du 23/01/02**, l'arrêt de Saint - Chamas modifie profondément la répartition des tensions s'exerçant sur le fond sans toutefois atteindre dans un cas comme dans l'autre des niveaux susceptibles de perturber les schémas de dépôt et de remise en suspension des sédiments cohésifs.

Pour les 3 autres situations étudiées, l'arrêt de Saint - Chamas aura pour conséquence de créer une nouvelle zone de décantation potentielle à proximité du rejet.

### 2.1.3 Conclusions sur les effets d'un arrêt des apports

Le modèle TELEMAK-3D implanté dans l'étang de Berre a été activé pour analyser les conséquences d'un arrêt des apports de Saint - Chamas sur les régimes hydraulique et hydrologique de l'étang de Berre.

Le modèle prévoit une hausse progressive des niveaux de salinité qui atteignent 32 psu en surface sur l'ensemble de l'étang et des valeurs similaires en profondeur sauf dans le secteur sud-ouest où l'influence des eaux marines maintient un niveau compris entre 35 et 37 psu. Cette hausse générale de la salinité devrait s'accompagner d'une réduction sensible de ses fluctuations journalières et de sa variabilité spatiale. Les secteurs proches du canal de Caronte enregistreraient des variations maximales de 5 psu, soit de moitié inférieures aux variations actuelles tandis que sur le reste de l'étang ces fluctuations ne devraient pas dépasser 1 psu. La stratification haline de l'étang telle qu'imposée par les rejets Saint-Chamas de 2002, devrait disparaître en 4 mois sur la majeure partie de l'étang pour ne subsister que dans la zone d'influence du rejet de Caronte où elle sera cependant limitée à des gradients maximaux de 4 psu.

Le modèle prévoit aussi une modification importante de la circulation des masses d'eau. Après 4 mois d'arrêt des rejets, l'étang acquiert ses caractéristiques hydrodynamiques définitives. La disparition de la halocline, l'atténuation des gradients de salinité entre l'étang et le milieu marin et l'évacuation des eaux douces ont pour conséquence de réduire l'effet d'entraînement du vent sur les masses d'eau en surface, de ralentir l'ensemble de la circulation dans l'étang. En conséquence, les eaux de l'étang se mélangent moins vite avec les eaux marines (de 2 à 2,5 fois). L'arrêt des apports de Saint - Chamas aura aussi pour conséquence de modifier qualitativement le schéma de circulation des eaux qui devrait acquérir un caractère plus barotrope, et de nouvelles formes d'écoulement dans la partie nord de l'étang.

Afin de lever les incertitudes sur le paramétrage de la diffusion verticale, nous proposons de conduire une campagne de courantométrie dans l'étang à l'aide d'un courantomètre Doppler qui mesurera en différents points de l'étang (notamment les secteurs profonds), les profils verticaux de vitesse.

Le transport horizontal des sédiments fins sera nécessairement modifié en raison des effets de l'arrêt des apports EDF sur les schémas de circulation des masses d'eau. L'effet est difficile sur la seule base des résultats hydrauliques mis à notre disposition compte tenu des effets cumulatifs qui sous-tendent le régime hydro-sédimentaire. L'effet sur les échanges verticaux de sédiment sera certainement plus atténué, les vitesses atteintes par les courants dans la configuration actuelle et future n'étant pas susceptibles de solliciter activement les vases qui tapissent le fond de l'étang, exception faite toutefois de la zone située à proximité du rejet de Saint - Chamas qui devrait acquérir un caractère de décantation très marqué.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	12

## 2.2 Evaluation des futurs rejets polluants

L'arrêt des rejets aura pour conséquences immédiates de ralentir le renouvellement de l'étang et donc de diminuer l'effet « épurateur » du flux sortant. La part relative des apports polluants et eutrophisants des différents tributaires, sera de ce fait nettement accrue. Il est, à ce titre, impératif de faire une évaluation qualitative et quantitative de ces apports.

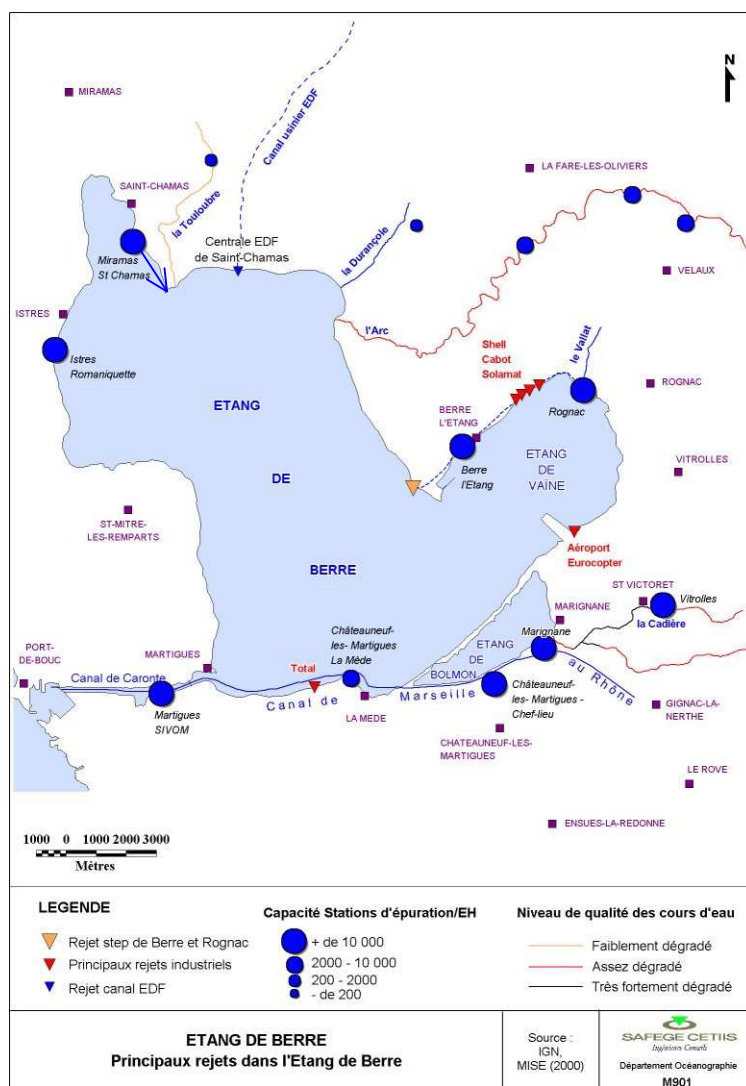


Figure 2. Localisation des principaux rejets

### 2.2.1.1 Rejets futurs des stations d'épuration

- La méthode

Les rejets futurs des stations d'épuration sont évalués à partir d'une projection de la population à échéance 2010 et 2015. Cette prévision est basée sur le taux de variation annuel de la population donné par l'INSEE. La population saisonnière est peu importante et négligée dans les calculs. Le taux de raccordement à la station est supposé égale à 100%.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	13

Le volume théorique d'eau usée à traiter et les teneurs associées en MES, DBO, DCO, azote global et phosphore, sont fixées à l'aide de l'arrêté du 20 novembre 2001 relatif à la quantité de pollution journalière à prendre en compte pour chaque habitant (Tableau 3).

Tableau 2. Evolution de la population des communes du pourtour de l'étang

Commune	Population permanente en 1990 (INSEE)	Population permanente en 1999 (INSEE)	Taux de variation annuel (%) INSEE	Population estimée en 2010	Population estimée en 2015
Miramas	21 602	22 526	0,47	23 718	24 281
Saint Chamas	5 396	6 595	2,25	8 424	9 415
Berre l'étang	12 672	13 415	0,63	14 375	14 833
Rognac	11 099	11 631	0,52	12 314	12 637
Marignane	32 325	34 006	0,56	36 160	37 184
Gignac La Nerthe	8 772	9 189	0,52	9 728	9 984
Saint Victoret	6 047	6 810	1,33	7 875	8 413
Chateauneuf les Martigues	10 911	11 375	0,46	11 964	12 242
Martigues	42 678	43 493	0,21	44 508	44 978
Port de Bouc	18 786	16 686	-1,31	14 433	13 512
St Mitre Les Remparts	5 139	5 458	0,67	5 874	6 073
Istres (Romaniquettes)	16 000	16 000	1,15	18 144	19 212
TOTAL	191 427	197 184	0.62	207 519	212 765



Tableau 3. Ratios de calcul des flux entrants à traiter

Paramètre	Unité	Ratio	Sources
Volume à traiter	L/hbt/j	200	
MES	g/hbt/j	90	Arrêté du 20 novembre 2001
DCO	g/hbt/j	120	Arrêté du 30 décembre 1981
DBO	g/hbt/j	60	Arrêté du 30 décembre 1981
Azote Global	g/hbt/j	15	Arrêté du 20 novembre 2001
Phosphore total	g/hbt/j	4	Arrêté du 20 novembre 2001

Cette méthode permet de calculer les flux de pollution générés par chaque commune avant traitement. A ces flux entrants sont appliqués les taux d'abattement réglementaires pour la MES, la DCO et la DBO fixés par l'arrêté ministériel du 22 décembre 1994 (Tableau 4). L'abattement correspond soit à une concentration maximale autorisée, soit à un rendement épuratoire minimal. Les flux sortants retenus pour notre calcul sont ceux correspondant à la concentration maximale autorisée puisqu'ils sont inférieurs aux flux calculés sur la base d'un rendement épuratoire minimal.

Tableau 4. Réglementation sur les flux sortants

Paramètres	Concentration maximale	Rendement d'épuration minimal	Source
MES	35 mg/L	90%	Arrêté du 22 décembre 1994
DCO	125 mg/l	75%	Arrêté du 22 décembre 1994
DBO	25 mg/L	80%	Arrêté du 22 décembre 1994

L'abattement actuel en azote et phosphore est fonction de l'existence ou non de procédés de traitement tertiaire dans la station d'épuration (nitrification, dénitrification et déphosphatation). Le rendement est de 25 à 90% pour l'azote et de 20 à 90% pour le phosphore (Les Eaux, 2001). Le tableau récapitulatif suivant (Tableau 6) attribue à chaque station un taux de traitement de l'azote et du phosphore en fonction des procédés en place à ce jour (Les Eaux, 2001). Ces procédés de traitement vont évoluer d'ici 2010-2015 : lorsque les rejets ont lieu dans des zones sensibles (comme c'est le cas pour l'étang) à l'eutrophisation, il existe des exigences épuratoires pour l'azote et le phosphore (Tableau 5).

*Tableau 5. Réglementation sur les flux de phosphore et d'azote dans les zones sensibles*

Paramètres	EH	Concentration maximale (mg/L)	Rendement d'épuration minimal (%)	Source
Azote	600-6000	15	70	Arrêté du 16 novembre 1998, article 2
	> 6000	10		
Phosphore	600-6000	2	80	
	> 6000	1		

Tableau 6. Récapitulatif des caractéristiques des stations d'épuration

STEP	Commune	Capacité maximale (EH)	Milieu récepteur	Boues activées	Aération prolongée	Prétraitements physiques	Filière spécifique	Nitrification	Dénitrification	Déphosphatation	Estimation Réduction actuelle Azote global (%)	Estimation Réduction actuelle Phosphore total (%)	
Miramas Saint Chamas	Miramas	35 000	Baie de St Chamas	x	x						60	20	
	Saint Chamas												
Berre l'étang	Berre l'étang	21 000	Droit du port de la Pointe de Berre	x	x		x	x	x	x	70	70	
Rognac	Rognac	16 000	Droit du port de la Pointe de Berre	x	x			x		x	60	70	
Marignane	Marignane	70 000	Canal du Rove	x	x	x		x	x	x	70	70	
	Gignac La Nerthe												
	Saint Victoret												
Chateauneuf les Martigues Chef Lieu	Chateauneuf les Martigues	16 000	Canal du Rove	x	x	x		x	x	x	70	70	
La Mède		3000		x	x	x		x			60	20	
Martigues / Port de Bouc	Martigues	100 000	Rive Nord du Chenal de Caronte	x	x			x	x		70	20	
	Port de Bouc												
	St Mitre Les Remparts												
Istres	Istres	16 000	Sud du canal de l'Olivier	x	x						25	20	

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	17

- Quantification des rejets futurs de STEP

Par application de la méthode détaillée ci-dessus, on obtient une approximation des rejets futurs. Les valeurs sont récapitulées dans le Tableau 7 et le Tableau 8. L'évolution des industries raccordées et du taux de raccordement n'est pas prise en compte. Les estimations futures ne tiennent compte que de la population urbaine. Par conséquent les rejets futurs sont directement proportionnels à cette population. Lors de la phase 1, les rejets de STEP en 1999 et 2000 ont été présentés. Pour estimer les rejets futurs il convient de prendre en compte les modifications de destination des rejets survenues depuis ; La station de Saint-Chamas, ne rejette plus dans l'anse de Saint-Chamas ; la station de Rognac ne rejette plus dans l'étang de Vaïne mais est raccordée à celle de Berre l'étang. D'après le GIPREB, (Picon, comm. Pers) à l'échéance 2015 la station de Istres La Romaniquette sera reliée à la station de Istres-Rassuen qui rejette dans le golfe de Fos et non pas dans l'étang de Berre.

Les flux polluants les plus importants seront donc ceux de Martigues, puis Marignane, Berre, et enfin Chateauneuf. La station de Martigues rejette en surface dans le canal de Caronte ; actuellement les rejets ne rejoignent l'étang que 2% du temps.

Tableau 7. Rejets urbains en 1999, 2000, 2010 et 2015

Station d'épuration	Année	Flux sortants en kg/j				
		MEST	DBO5	DCO	NGL	PT
STEP de Berre l'étang	1999	11	11	140	20	3
	2000	13	8	126	17	4
	2010	101	72	359	65	9
	2015	104	74	371	67	9
STEP de Chateauneuf	1999	55	40	265	70	13
	2000	55	40	265	70	13
	2010	84	60	299	54	7
	2015	86	61	306	55	7
STEP de Istres (Romaniquettes)	1999	114	66	366	109	9
	2000	151	63	438	108	12
	2010	127	91	454	82	11
	2015	134	96	480	86	12
STEP de Marignane	1999	39	24	466	46	11
	2000	41	37	493	39	12
	2010	376	269	1344	242	32

STEP de Martigues Port de Bouc	2015	389	278	1390	250	33
	1999	658	264	1246	263	63
	2000	985	236	1432	224	63
	2010	454	324	1620	292	156
STEP de Miramas/ saint Chamas	2015	452	323	1614	291	155
	1999	1035	574	2019	191	27
	2000	871	360	1820	131	41
	2010	225	161	804	145	19
STEP de Rognac	2015	236	168	842	152	20
	1999	87	55	298	22	16
	2000	10	15	110	20	15
	2010	86	62	308	55	7
	2015	88	63	316	57	8

Tableau 8. Rejets urbains actuels et futurs (kg/j)

Année	MEST	DBO5	DCO	NGL	PT
1999	1999	1034	4800	721	142
2000	2126	759	4684	609	160
2010 (toutes STEP actuelles comprises)	1453	1038	5188	934	125
2010 (sans Saint-Chamas)	1228	877	4384	789	106
2015 (toutes STEP actuelles comprises)	1489	1064	5319	957	128
2015 (sans Saint-Chamas ni Istres-la Romaniquette)	1119	800	3997	719	96
% de réduction 2015/2000	44	22	16	0,2	32

A l'échéance de 2015, l'ensemble des apports serait en baisse de 0,2 à 44% dans l'hypothèse d'un respect de la réglementation sur les rejets et d'une modification du réseau actuelle avec suppression des apports à l'étang des eaux traitées de Saint Chamas et de Istres La Romaniquette.

### 2.2.1.2 Apports futurs par les cours d'eau

L'estimation des apports futurs des cours d'eau est basée sur les objectifs du SDAGE. L'étang de Berre est qualifié par le SDAGE de milieu superficiel particulièrement atteint par les pollutions azotées et phosphorées. Le bassin versant de l'étang de Berre est une zone sensible au titre de la directive CEE « Eaux résiduaires Urbaines » du 21 mai 1991. Ce bassin est donc une priorité du SDAGE . Sur les rivières, soient, L'Arc, la Touloubre et la Cadière les objectifs assignés sont :

- une diminution globale des 2/3 des rejets directs de phosphore sur les bassins concernés
- une teneur maximale en phosphates dans l'eau de **0.2 mg/L**.

Si l'on fait l'hypothèse d'un maintien des débits actuels (données RNB) et du respect de la teneur maximale en phosphates fixée par le SDAGE à échéance 2010 et 2015, on obtient des apports futurs par les cours d'eau de :

Cours d'eau	Débit 2002 (m <sup>3</sup> /s)	Apports en phosphates en 2002 (kg/j)	Apports en phosphates conformes au SDAGE (kg/j)	% de réduction
Arc	2,42	154	41	73
Touloubre	2,18	133	37	72
Cadière	0,97	149	16	89

Des actions complémentaires et d'accompagnement sont également suggérées tel que la création de ripisylves, la destruction de seuils, l'augmentation des débits reversés, la modulation saisonnière des débits, etc...

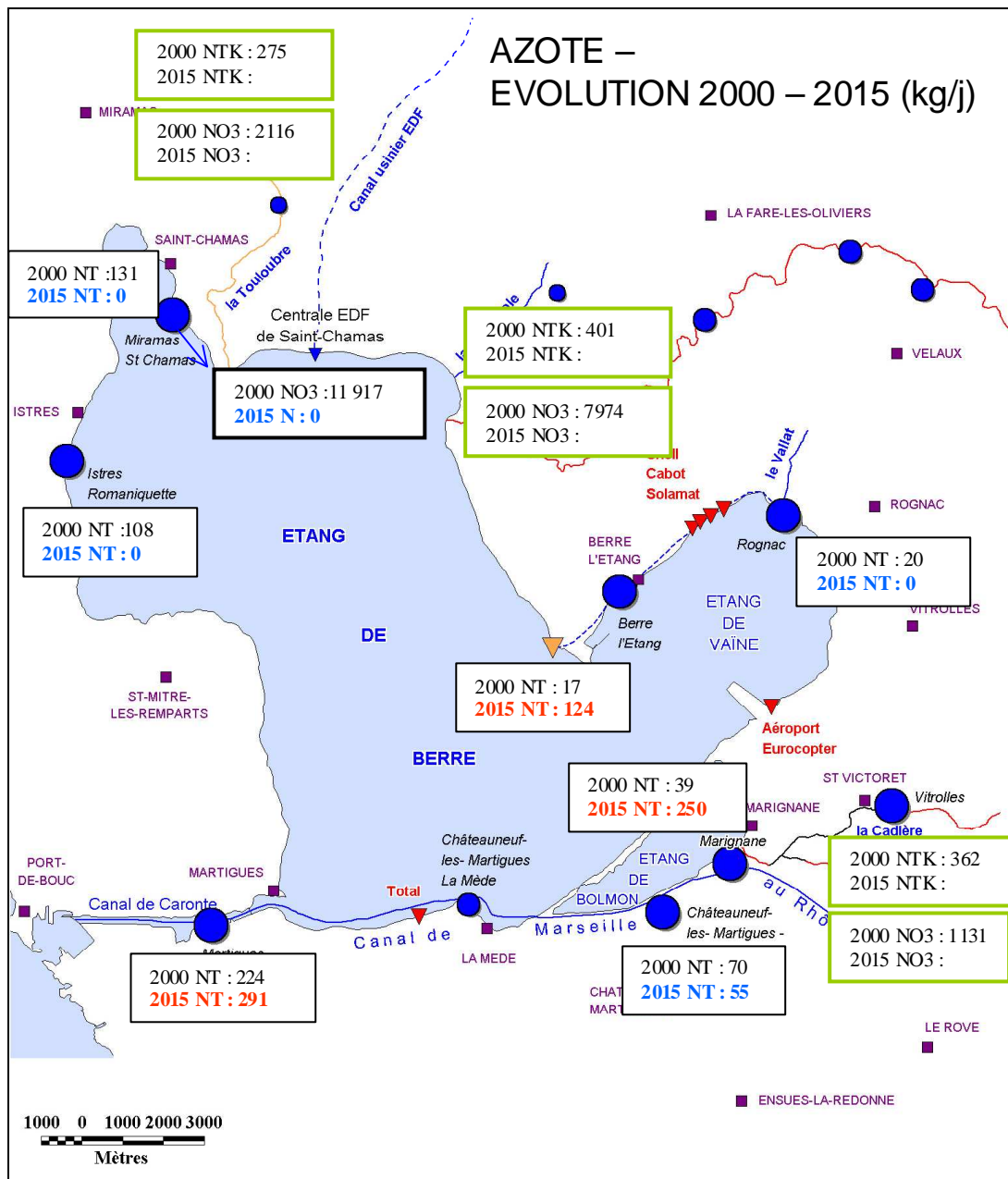
### 2.2.1.3 Synthèse des rejets futurs à l'étang

Le tableau et les cartes ci-dessous récapitulent l'évolution des rejets d'azote et de phosphore à l'étang de l'année 2000 à 2015.

Tableau 9. Récapitulatif des rejets à l'étang de 2000 à 2015(kg/j)

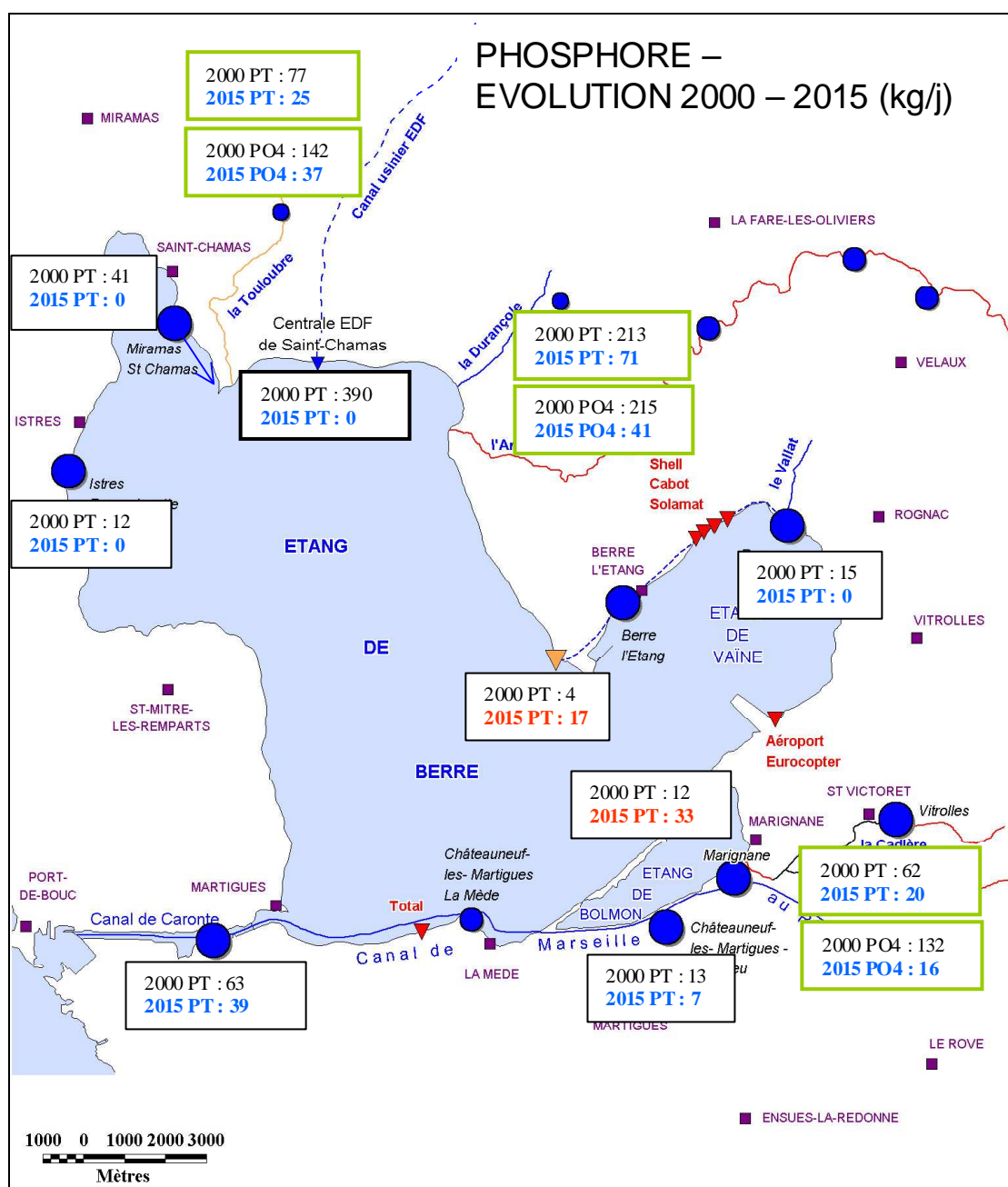
2000	NO3	NTK	NT	PO4	PT	MES
EDF	11 917	-	11 917	444	390	425 566
Arc	7 974	401	8 375	215	213	40 525
Cadière	1 131	362	1493	132	62	1 679
Touloubre	2 116	275	2391	142	77	5 428
STEP			609		160	2126
2010	NO3	NTK	NT	PO4	PT	MES
EDF	0	0	0	0	0	0
Arc	3 416	118	3 534	41	142	4 351
Cadière	1 081	154	1 235	16	41	3 066
Touloubre	1 889	191	2 080	37	51	9 390
STEP			789		106	1228
2015	NO3	NTK	NT	PO4	PT	MES
EDF	0	0	0	0	0	0
Arc	3 416	118	3 534	41	142	4 351
Cadière	1 081	154	1 235	16	41	3 066
Touloubre	1 889	191	2 080	37	51	9 390
STEP			719		96	1119

Carte 1. Evolution de l'azote de 2000 à 2015 (kg/j)





Carte 2. Evolution des apports en phosphore de 2000 à 2015 (kg/j)



## 2.3 Les effets sur la qualité de l'eau et du sédiment

La modélisation a permis de caractériser certains aspects du futur contexte physique de l'étang après arrêt complet des apports de la centrale EDF (temps de renouvellement, salinité, érosion...). Ces nouvelles caractéristiques sont le point de départ de la description du milieu futur qui est envisagée sous différents aspects : l'eutrophisation, la qualité des eaux de baignade, la qualité des sédiments et de la matière vivante. Une évaluation est

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	23

préalablement faite des futurs rejets polluants qui constituent le forçage physico-chimique de l'écosystème en devenir.

## 2.3.1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

### 2.3.1.1 La salinité

Les prévisions de salinité sont données par l'interprétation des simulations du modèle numérique du LNHE. Le modèle prévoit une **hausse progressive des niveaux de salinité** qui, 7 mois après arrêt des rejets, atteignent 32 psu en surface sur l'ensemble de l'étang et des valeurs similaires en profondeur sauf dans le secteur sud-ouest où l'influence des eaux marines maintient un niveau compris entre 35 et 37 psu. Cette hausse générale de la salinité devrait s'accompagner d'une **réduction sensible de ses fluctuations journalières** et de sa variabilité spatiale. Les secteurs proches du canal de Caronte enregistraient des variations maximales de 5 psu, soit de moitié inférieure aux variations actuelles tandis que sur le reste de l'étang ces fluctuations ne devraient pas dépasser 1 psu. La stratification haline de l'étang telle qu'imposée par les rejets Saint-Chamas de 2002, devrait disparaître en 4 mois sur la majeure partie de l'étang pour ne subsister que dans la zone d'influence du rejet de Caronte où elle sera cependant limitée à des gradients maximaux de 4 psu.

### 2.3.1.2 La température

**La température** n'est pas prise en compte dans la modélisation numérique de LNHE; En 1974, Minas constate le peu d'effet des rejets du canal EDF sur les variations de températures. De même lors de l'arrêt prolongé du turbinage en 1990, on retient que la température n'a pas significativement varié. L'arrêt complet des apports d'eau douce froide et la destratification de la colonne conduiraient tout de même à une augmentation de la température et à une accentuation de sa variation saisonnière.

### 2.3.1.3 Les teneurs en nutriments

Plusieurs processus à effet contraire interviennent dans l'évolution des teneurs en azote et phosphore dans l'étang après arrêt des apports EDF.

Les mécanismes qui mènent à une **diminution de la disponibilité des sels nutritifs** pour le phytoplancton seront :

- la réduction estimée des apports à l'étang à hauteur de 72% pour les nitrates et de 90% pour les phosphates, à échéance 2010. *Par conséquent, après arrêt des rejets, le rapport Nitrates/Phosphates, aujourd'hui estimé à 30 dans l'étang, va fortement diminuer et se stabiliser.*
- Le stockage de phosphore dans les nouvelles conditions d'oxygénation.
- La consommation par les macroalgues, qui trouveront des conditions plus favorables à leur développement après arrêt des rejets.

Tandis que les phénomènes qui tendent à **accroître la disponibilité** des sels nutritifs seront :

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	24

- L'augmentation de la population des communes dont les eaux usées sont traitées par les STEP du pourtour de l'étang (+0.62% de 1990 à 1999 en moyenne sur les 12 communes concernées).
- La baisse de la dilution du phosphore de l'étang par les rejets d'eau douce du canal EDF.
- La hausse du rendement de régénération des sels nutritifs avec la réoxygénation de la couche profonde et la bioturbation du sédiment par la faune benthique.
- Une meilleure diffusion de ces sels régénérés avec la fin de la stratification.

### 2.3.1.4 Le taux de matières en suspension

A échéance 2010, après arrêt des rejets et en faisant l'hypothèse du respect des normes de rejets des STEP rejetant directement dans l'étang, le taux de réduction des apports en MES est estimé à 96%. La transparence de l'eau augmentera.

### 2.3.1.5 Le taux d'oxygène dissous

La destratification des masses d'eau, environ 4 mois après l'arrêt des rejets conduira à la réoxygénation des zones de plus de 6 mètres, à ce jour anoxiques. A plus long terme, la bioturbation du sédiment par la faune benthique restaurée, favorisera également la « circulation » de l'oxygène.

## 2.3.2 La qualité des eaux de baignade

La qualité des eaux de baignade qui était globalement « moyenne » en 2001 et 2002, s'est dégradée en 2003. Parallèlement, après une réduction des apports en 2002, le premier trimestre 2003 s'est caractérisé par des apports EDF très importants (plus de 550 hm<sup>3</sup> en février). La qualité actuelle des plages est commentée dans le document de phase 1.

**Les stations d'épuration** rejetant leurs eaux traitées directement dans l'étang ne sont pas équipées de procédé de désinfection bactérienne et ont un effet local significatif sur la qualité des eaux de l'étang. Par contre, il n'existe pas de donnée précise de concentration bactériologique dans les sédiments et dans les rejets des stations d'épuration du pourtour de l'étang. Des mesures complémentaires sont donc nécessaires pour quantifier la qualité future des eaux de baignade sous l'action des rejets de STEP.

**Le cours d'eau** le plus concentré en bactéries est la Cadière suivi de la Touloubre et de l'Arc. Les plages situées dans les zone d'influence des tributaires sont les plages de la Petite Venise proche de l'exutoire de la Touloubre, la plage de Champigny près de l'exutoire de l'Arc et les plages du Jaï sous l'influence indirecte de la Cadière après passage dans l'étang de Bolmon et les bourdigues du cordon du Jaï. Les bactéries s'accumulent dans les sédiments des tributaires pendant la période d'étiage. Par effet de chasse, les premières crues sont chargées en bactéries. Ces crues ont lieu le plus souvent en septembre (fin de saison balnéaire) ou octobre.

Les données du RNB montrent que les concentrations en bactéries pathogènes du **canal EDF** sont nettement inférieures à celles des cours d'eau. Il est cependant probable que le canal, par ses flux, contrôle les teneurs en germes bactériens de l'étang mais sur un périmètre qui

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	25

ne peut être évalué dans l'état actuel de nos connaissances. L'effet des arrêts sur les teneurs bactériennes est probablement dual. Dans les secteurs soumis à l'influence des rejets de STEP et de rivières, les forts rejets de Saint-Chamas ont dans la mesure de leur extension spatiale pour effet d'abaisser les teneurs en germes bactériens. Sur le reste du bassin, le rejet de Saint-Chamas impose ses teneurs. Ainsi la réduction des apports en bactéries pathogènes pourrait avoir deux effets contraires.

Il convient de prendre également en compte les nouvelles caractéristiques du milieu récepteur pour évaluer l'évolution de la survie des bactéries après l'arrêt des rejets de la centrale. Les facteurs qui contrôlent la survie des bactéries dans l'eau de mer, sont :

- La présence de **matière organique** assimilable et de composés osmo-protecteurs qui favorisent la survie des bactéries.
- La teneur en **MES** qui augmente le temps de survie des bactéries de deux manières (i) en favorisant la fixation et l'agglomération des bactéries (ii) en réduisant la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau.
- **La salinité** : de fortes salinités favorisent la mortalité des germes en augmentant la pression osmotique s'exerçant sur les cellules bactériennes.
- **La lumière** : les bactéries dans l'eau de mer sont très sensibles à l'action bactéricide des rayonnements Ultra-Violet.
- **La nature du sédiment** : Le temps de survie des bactéries est accru dans un sédiment vaseux, riche en matière organique, comme c'est actuellement le cas pour les sédiments de l'étang.
- **Les conditions hydrodynamiques** sont aussi déterminantes pour la survie des bactéries. La circulation des masses d'eau et la configuration de la côte déterminent la dilution verticale et horizontale des panaches.

L'arrêt des rejets qui aura pour conséquences d'augmenter la salinité, de baisser les teneurs en matière organique et en MES (et par conséquent d'accroître la pénétration des rayons ultraviolets dans la colonne d'eau), favorisera la mortalité des bactéries pathogènes.

En revanche, certaines zones aux abords de tributaires ou de rejets de STEP seront plus exposées du fait de l'augmentation de leur confinement et pourront constituer des foyers de contamination. Ces zones sont la baie de Saint-Chamas, l'exutoire de l'Arc, l'étang de Vaïne, le sud de l'étang (Jai). Des mesures complémentaires sont requises pour conclure sur ce thème.

### 2.3.3 La qualité des sédiments

Le sédiment sera affecté par divers phénomènes physiques, physico-chimiques et biologiques qui en modifieront l'enrichissement en matière organique, sels nutritifs et polluants.

- Se pose la question du **relargage potentiel de polluants** par la mise à nu de couches sédimentaires antérieures et davantage contaminées. D'après les résultats du modèle, les modifications de courants, dues à l'arrêt des apports de Saint - Chamas ne sont

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	26

pas de nature à modifier significativement la remise en suspension des sédiments au sein de l'étang, excepté peut-être sur les rivages. Au dire des experts, un éventuel relargage des polluants n'interviendrait pas avant 1 ou 2 mois.

- La baisse des apports de particules fines, consécutive à l'arrêt des apports EDF, atténuera l'effet de **piégeage des polluants** dans le sédiment et diminuera le colmatage des sédiments ; cette diminution permettra un rééquilibrage des caractéristiques physico-chimiques des sédiments et de l'eau interstitielle.
- L'**oxygénation** du sédiment sera favorisée à court terme par la destratification de la masse d'eau qui en facilite le mélange et à plus long terme par la bioturbation du sédiment.
- La **reminéralisation** sera favorisée par l'oxygénation et la bioturbation. Selon Gilbert (et al, 1998) les taux de dénitrification naturelle sont accrus par la bioturbation du sédiment par la macrofaune benthique qui favorise les échanges entre le sédiment et la couche sus-jacente. La restauration du macro benthos de l'étang de Berre favorisera la reminéralisation de la matière organique.

Quant à la nature la dynamique du sédiment

- La restauration des herbiers (consécutive à la resalinisation de l'étang) devraient limiter l'érosion du rivage en **stabilisant** les fonds de faible granulométrie.
- La baisse des apports solides devrait permettre un ralentissement du phénomène d'envasement de l'étang.

### 2.3.4 La qualité de la matière vivante

La contamination des coquillages par les contaminants chimiques n'est plus évaluée dans l'étang depuis 1996. Les données de contamination de la chair des poissons sont très variables et difficiles à interpréter compte tenu du caractère non sédentaire des poissons. Le phytoplancton toxique est étudié au paragraphe § 2.4.3.2 ;

En plus de la baisse des apports en polluants à l'étang, les facteurs qui contribueront à l'amélioration de la qualité de la matière vivante après arrêt des rejets sont ceux qui favorisent l'épuration du milieu en polluants (cf § 2.3.3).

La mise en place d'une chaîne trophique plus longue et complexe que celle actuellement effective favorisera l'accumulation des polluants dans la chair des organismes.

La diversification des organismes de l'étang et la multiplication des interactions entre ces organismes compliquera les schémas de contamination au sein de l'écosystème.

## 2.4 Les effets sur le compartiment biologique

L'effet de l'arrêt des rejets EDF sur le compartiment biologique est très délicat à appréhender car d'une part, aucun retour d'expérience, sur un arrêt prolongé, ne permet actuellement de connaître à coup sûr les évolutions à attendre à long terme, et d'autre part, la réaction et la

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	27

stabilisation des peuplements se feront à des échelles de temps très différentes en fonction du temps de génération de chaque composante biologique.

Chaque composante biologique est donc abordée séparément et selon une approche chronologique (Court Terme, Moyen Terme et Long Terme).

## 2.4.1 La faune benthique

L'arrêt des rejets EDF s'accompagnera à la fois d'une augmentation de la salinité à des niveaux de l'ordre de 30 à 32 psu selon les résultats du modèle et d'une très forte réduction de la variabilité des conditions hydrologiques provoquées par la gestion actuelle des rejets. De manière générale, la stabilisation du milieu permise par l'arrêt des rejets EDF devrait permettre à terme aux peuplements de macrofaune benthique de s'enrichir à la fois quantitativement (densité) et qualitativement (richesse spécifique) ce qui correspondrait à un processus de maturation de l'écosystème.

### 2.4.1.1 Une "reconquête" lente mais progressive des fonds

L'effet de l'arrêt des rejets EDF sur la macrofaune benthique sera progressif et l'on devrait distinguer plusieurs phases.

- A Court Terme (6 mois - 1 an)

En se référant à ce qui s'est passé lors de l'épisode d'arrêt des rejets en 1990, deux phénomènes seront susceptibles de se produire au bout de 6 mois :

- L'apparition sur la bande côtière d'espèces marines mélangées à des espèces d'eau saumâtre : *Venerupis aurea* (SVMC), *Gastrana fragilis* (LEE)... ;
- La colonisation des fonds actuellement azoïques par quelques spécimens d'espèces macrobenthiques correspondant à des peuplements LEE et SVMC. Ces peuplements succéderaient au peuplement actuel à *Capitella capitata* installé dans les zones profondes du Sud-Ouest de l'étang.

Les espèces Lagunaires Euryhalines et Eurythermes (LEE) seraient encore présentes en raison de leur caractère "opportuniste".

Dans un premier temps, le niveau de salinité donnera des conditions favorables à l'implantation de peuplements plutôt lagunaires surtout dans le nord de l'étang et dans l'étang de Vaïne (salinité à 15 - 25‰ selon les endroits). La stabilisation au bout de 6 - 7 mois après l'arrêt des rejets, de la salinité moyenne à un niveau situé autour de 30 - 35‰ (données du modèle), soit à peu près la situation observée avant le début des rejets EDF, sera naturellement favorable aux espèces marines.

Ces évolutions ne se produiront cependant pas avant les 4 à 6 mois suivant l'arrêt des rejets. Elles dépendront également de la saison à laquelle l'arrêt des rejets débutera sachant qu'en 1990, ces évolutions avaient été constatées alors que l'arrêt des rejets EDF s'était produit en saison estivale.

- A Moyen Terme (1 à 10 ans)

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	28

A Moyen Terme, c'est à dire à partir d'un an après le début des rejets, des phases de colonisation successives devraient se produire, conduisant à un repeuplement progressif des fonds de l'étang.

L'évolution classique des peuplements d'un milieu perturbé dans un contexte d'amélioration des conditions environnementales commence souvent par le développement des espèces les plus résistantes aux perturbations du milieu (excès de Matière Organique, pauvreté en oxygène...). Il s'agit par exemple du polychète *Capitella capitata* dont quelques spécimens sont actuellement observés dans les fonds au Sud de l'étang. D'autres espèces dites "ubiquistes" car très tolérantes aux différentes conditions environnementales (espèces à Large répartition écologique) pourront apparaître. Il est probable que la prolifération particulière d'une ou de quelques espèces va entraîner la présence de faciès n'altérant pas les peuplements en place (ex : moulières à *Mytilus galloprovincialis*). Le maintien de conditions plus marines (salinité autour de 30‰) permettra l'installation durable d'espèces de l'assemblage SVMC. L'augmentation progressive de la diversité spécifique se fera par apport de larves méroplanctoniques via le canal de Caronte et le golfe de Fos où les peuplements SVMC sont florissants. Une réimplantation de ces peuplements benthiques pourrait se faire dans un délai 4 à 5 ans. Sur la plage du Jai, battue par les vents de Mistral, on devrait assister à la mise en place d'un peuplement de Sable Fin de Haut Niveau, tel qu'il était avant le début des rejets d'eaux douces.

- A Long Terme

La stabilisation des conditions du milieu se traduira par le développement et une dynamique des assemblages SVMC et SFHN régis par les caractéristiques environnementales naturelles et/ou anthropiques autres que les rejets d'eaux douces en fonction des saisons et de la climatologie générale.

Une réelle réhabilitation et stabilisation des peuplements de macrofaune benthique ne peut être envisagée avant 10 ans.

#### 2.4.1.2 Les autres effets envisageables

- Des questions se posent quant au devenir de l'espèce potentiellement invasive, *Ficopomatus enigmaticus*. Ce ver, entouré d'un tube calcaire, s'est développé de manière importante dans les années 75 à 80-85. Une salinité relativement faible et homogène lui est favorable. L'arrêt des rejets et l'augmentation de la salinité qui en résulte devrait signer sa disparition progressive.
- Un autre effet consécutif à l'arrêt des rejets EDF, est difficile à cerner, il s'agit des phénomènes de relargage de polluants des sédiments vers la colonne d'eau et leur influence sur la faune vivant sur le fond de l'étang. L'épisode d'arrêt de la centrale en 1990 a montré que ces relargages n'ont pas eu d'effet limitant sur l'installation de la faune, par ailleurs des études expérimentales (Arnoux et al, 1985) ont montré que ces relargages se manifestaient dès le premier mois. Cependant l'influence de tels relargages sur la physiologie de la macrofaune benthique est assez mal connue. Les possibilités de bioaccumulation dans la chair de la macrofaune de polluants sont réelles mais actuellement difficilement quantifiables. A ce jour, la consommation humaine de coquillages n'est pas intégrée aux objectifs fixés par le GIPREB. Lorsqu'elle sera envisagée, une surveillance devra être opérée sur les espèces indicatrices et consommées par l'homme.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	29

- Une autre incertitude pèse sur l'alimentation des plages en matériel biodétritique. Avec l'arrêt des rejets, les mortalités massives et successives d'organismes macrobenthiques causées auparavant par l'irrégularité des rejets, cesseront. Cette diminution de la quantité de coquilles mortes livrées à la dynamique hydro - sédimentaire pour alimenter les plages (le Jaï en particulier) pourrait toutefois être compensée par le développement plus important des peuplements de macrofaune benthique. Il est donc probable que la quantité de matériel biodétritique fournie par l'écosystème se maintiendra voire augmentera après l'arrêt des rejets EDF.

## 2.4.2 La macroflore

- Les phanérogames

La réoxygénation des fonds, la baisse de la turbidité et donc l'augmentation de la luminosité sur les rivages devraient être favorables à la recolonisation du milieu par la flore benthique, en particulier les herbiers.

Certaines phanérogames (*Zostères*, *Ruppia*, *Potamogeton*) devraient être amenées à se développer à partir des peuplements existants qui rempliraient le rôle de zone pionnière. Ces peuplements sont essentiellement situées sur la façade orientale de l'étang principal (Figure 3) près de l'embouchure de l'Arc et à l'extrémité de la pointe de Berre. Elles abritent des spécimens de *Zostera noltii*, *Ruppia cirrhosa* et *Potamogeton pectinatus*. Il faut toutefois signaler que *Ruppia cirrhosa* et *Potamogeton pectinatus* sont en régression depuis 1997. Signalons également *Zostera marina* qui a fait sa réapparition en 2001 sur une station du littoral entre La Mède et le canal de Caronte. La présence de ces spécimens pourrait permettre leur développement dans ces mêmes secteurs et peut-être leur extension.

Ce processus de recolonisation ne se ferait que très lentement et une réelle réhabilitation des peuplements de phanérogames ne serait pas possible avant 10 ans. Le délai de recolonisation de l'étang par ces peuplements benthiques pourrait être raccourci en procédant à des transplantations de phanérogames dans certaines zones de l'étang de Berre.

Si la prolifération des macro - algues se poursuivait, elle pourrait s'avérer nuisible car elle étoufferait les herbiers de phanérogames. De fortes densités de plantes émergentes (roseaux...) nuiraient également aux herbiers de phanérogames en interceptant la lumière.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	30



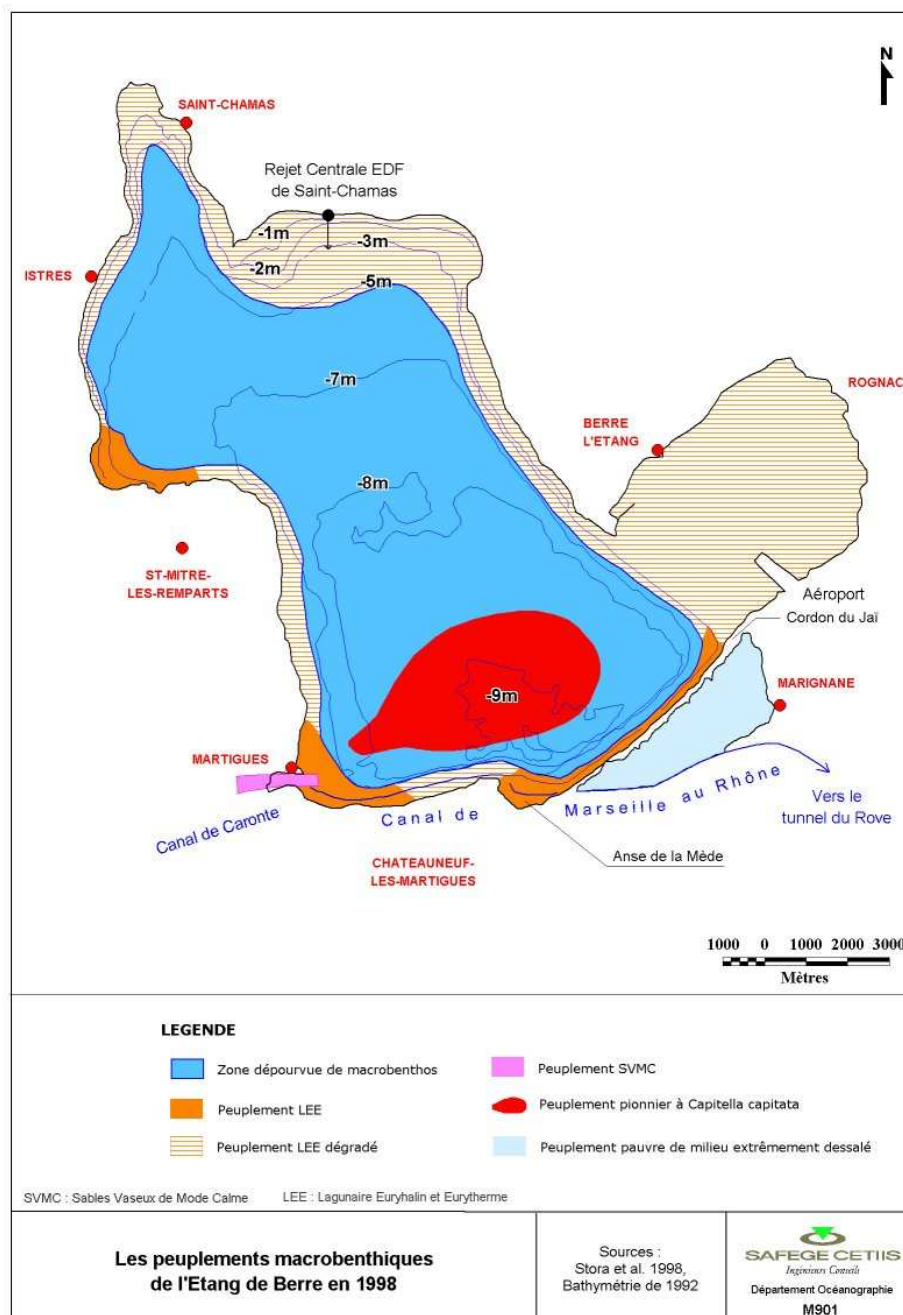


Figure 3. Les peuplements macrobenthiques de l'étang de Berre en 1998

- Les macroalgues

Les espèces de macro-algues que l'on retrouve dans l'étang sont *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Ulva* et *Chaetomorpha*. *Ulva rigida* est l'espèce la plus couramment observée dans les lagunes méditerranéennes. Elle peut être fixée, posée sur le fond ou flottant dans la masse d'eau. Les thalles observés dans l'étang sont souvent libres. Leur croissance est très rapide de part leur potentiel photosynthétique et leur aptitude à assimiler et à stocker les nutriments. Les observations faites sur les dix dernières années ont montré l'influence des conditions hydrologiques sur le développement des ulves. Les faibles rejets d'eau douce durant l'été 1990 se sont accompagnés du développement des ulves (anse de Saint - Chamas). En 2002, année de faible turbinage, la diminution de la turbidité et l'augmentation de la salinité ont

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	31

favorisé leur développement, tandis qu'en 2003, l'augmentation de la turbidité et la diminution de la salinité dues à de forts turbinages étalés sur quelques mois ont provoqué le recul des ulves. Sur les rivages, les macro algues sont en compétition avec le phytoplancton. A titre d'exemple, dans l'étang du Prévost (Hérault) la prolifération d'ulves est corrélée à la faible production phytoplanctonique. Les Ulvophycées apparaissent comme les plus susceptibles de proliférer lors de l'arrêt des apports de Saint-Chamas.

**A COURT TERME :** Au dire des experts, le développement des ulves est une étape transitoire pratiquement obligatoire. Les facteurs régulant les efflorescences à macroalgues sont la luminosité, la salinité, la disponibilité en nutriments, l'agitation. L'arrêt des rejets s'accompagnant d'une diminution de la biomasse phytoplanctonique, de la turbidité ainsi que d'une augmentation de la salinité, il créera des conditions favorables au développement des ulves. Leur accumulation sera favorisée par le faible hydrodynamisme des eaux. Dans un premier temps les ulves se développeront probablement entre 0 et 2 mètres à proximité des rejets et s'accumuleront dans les secteurs hydrodynamiquement confiné (les algues ne s'accumulent pas nécessairement là où elle sont produites). Les ulves se développeront du printemps à l'été avec un pic de biomasse pendant l'été.

**A MOYEN TERME :** Les Ulves coloniseront des zones de plus en plus profondes au fur et à mesure que la turbidité diminuera. Elles atteignent des profondeurs de **0 à 9 mètres** dans l'étang de Thau. D'après Raimbault, si les eaux sont très claires elles pourront atteindre de telles profondeurs dans l'étang de Berre. Le développement des ulves présenterait aussi un aspect positif (Tableau 10) : leur enlèvement pendant 2 à 5 années successives peut avoir des effets synergiques :

- ✓ une épuration de l'étang des éléments nutritifs (azote, phosphore)
- ✓ une épuration des éléments polluants qu'elles concentrent
- ✓ Un nettoyage des plages

D'après Raimbault le ramassage des ulves est obligatoire pour éviter les problèmes d'anoxie et d'odeurs mais surtout pour éviter le maintien du niveau d'eutrophisation par recirculation de la matière, non plus via le phytoplancton mais via les ulves et entéromorphes qui risqueraient d'empêcher ou tout du moins de retarder la colonisation du domaine benthique.

Les ulves sont valorisables comme engrais, aliment pour animaux ou encore pâte à papier. La destination la plus courante reste la mise en décharge et l'épandage comme engrais. La méthanisation ou le compostage n'ont pas encore fait la preuve de leur rentabilité économique (Merceron, 1999) de plus en France, la valorisation économique est restreinte de par les faibles quantités collectées.

**A LONG TERME :** Une politique de réduction des apports en azote et phosphore et l'épuration par la collecte des Ulves doit permettre de réduire sensiblement les risques de prolifération algale à des niveaux perturbant « la recolonisation de l'écosystème de l'étang ».

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	32

Tableau 10. Impacts de la prolifération de macroalgues

Impacts négatifs	Impacts positifs
Pollution visuelle	Rôle épurateur/ polluants
Pollution olfactive	Rôle épurateur/ nutriments
Compétition avec d'autres espèces	
Anoxie (si la dégradation a lieu en période chaude)	
Coût du nettoyage	

## 2.4.3 Le phytoplancton

L'expérience de l'arrêt complet du turbinage du 6 avril au 12 octobre 1990 montre que la réaction du phytoplancton au contexte de l'étang est très **rapide**. Cette réaction rapide est à relier au temps de génération très court des cellules phytoplanctoniques. Les facteurs régulant le développement du phytoplancton sont essentiellement la salinité, la température, la richesse en azote, les phosphates et silicates, la turbulence des masses d'eau et le broutage par le zooplancton. L'évolution de ces facteurs nous permet d'approcher l'évolution de l'étang après arrêt complet des rejets. Une réflexion particulière sera menée sur les efflorescences phytoplanctoniques toxiques.

### 2.4.3.1 Evolution de la communauté phytoplanctonique

La communauté actuelle est dominée par *Prorocentrum minimum*, *Chlorella sp* et *Cyclotella sp*, espèces très tolérantes aux fluctuations de salinité (Becker, 1986). Les teneurs mensuelles en phéopigments ont une allure bi-modale avec des maxima en janvier (5 µg/L) et en août (6 µg/L). L'évolution sur l'année de la « chlorophylle a » désigne une variation importante des concentrations avec des valeurs entre 8 et 10 µg/L en février, août, octobre, novembre et des valeurs inférieures à 5 µg/L en janvier, mai, juillet et décembre.

♦ **La salinité** est un facteur déterminant de la communauté phytoplanctonique qui va évoluer en fonction de la salinité maximale et de l'amplitude des variations de salinité. D'après les résultats de la modélisation, la salinité augmentera sur une moyenne de 7 mois pour atteindre 32 psu en surface et l'amplitude de salinité sera réduite à moins de 2 psu sur l'ensemble de l'étang excepté dans le canal de Caronte où elle se stabilise à 5 psu au bout de 6 mois. La communauté phytoplanctonique va naturellement évoluer vers une communauté marine. Les espèces actuellement caractéristiques de l'étang de Berre ne survivront pas toutes tandis que des espèces néritiques du golfe de Fos viendront coloniser l'étang. Des espèces néritiques avaient déjà conquis l'étang lors de l'arrêt prolongé de turbinage en 1990.

Le dinoflagellé, *Prorocentrum minimum* se maintiendrait dans l'étang car c'est une espèce que l'on observe aussi dans le Golfe de Fos. Les cellules y sont cependant de plus grande taille. Cette espèce peut rentrer en compétition avec *Chlorella sp*. qui est une chlorophycée

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	33

nanoplanctonique néritique dont les pics de fréquence dans l'étang de Berre correspondent aux périodes d'augmentation de la salinité. Pendant l'arrêt prolongé de turbinage en 1990, la population de *Chlorella* s'est effectivement maintenue (Arfi, 1991).

*Cyclotella sp* est une diatomée centrique de petite taille que l'on observe dans les milieux dessalés. Cette espèce ne survivrait pas dans les nouvelles conditions de salinité.

Les espèces caractéristiques du Golfe de Fos sont de nombreuses espèces de diatomées (*Chaetoceros sp*, *Rhizosolenia sp*, *Thalassiothrix sp*, *Thalassionema nitzschioides*, ...) et de dinoflagellés. Les cellules y sont souvent de plus grosse taille.

♦ **La température** n'est pas prise en compte dans la modélisation ; En 1974, Minas constate le peu d'effet des rejets du canal EDF sur les variations de températures. De même lors de l'arrêt prolongé du turbinage en 1990, on retient que la température n'a pas significativement varié. L'arrêt complet des apports d'eau douce froide et la destratification de la colonne conduiraient tout de même à une augmentation de la température et à une accentuation de la variation saisonnière de températures. D'après Raimbault (Comm. Pers), l'arrêt de la centrale aura certainement un effet minime sur le cycle de température, et par conséquent sur les biocénoses phytoplanctoniques.

♦ **Le mouvement des masses d'eau** : l'effet du temps de résidence des masses d'eau sur l'eutrophisation ne peut être analysé à l'échelle de l'étang. Le taux de croissance des cellules (de l'ordre de 0.5 à 2 j<sup>-1</sup>) étant nettement supérieur au taux de renouvellement de l'étang (compris entre 0.01 et 0.005 j<sup>-1</sup>), celui-ci ne peut avoir une action significative sur la biomasse phytoplanctonique découlant de la production. En revanche, l'affaiblissement et la modification des courants consécutifs à l'arrêt des rejets pourrait provoquer des confinements locaux des masses d'eau favorable à l'accumulation des biomasses phytoplanctoniques. Nous n'avons pas en notre possession de données tangibles permettant de vérifier ce dernier point qui devra faire l'objet d'une étude spécifique.

♦ **La teneur en éléments nutritifs** : La production phytoplanctonique est dépendante (i) de la quantité totale de nutriments disponibles et (ii) des ratios N/P et N/Si. La majorité du phytoplancton assimile directement l'ammonium plutôt que les nitrates : l'assimilation passive de l'ammonium requiert moins d'énergie que l'absorption active des nitrates. Il convient donc d'évaluer d'une part l'évolution des apports en sels nutritifs et d'autre part celle du mécanisme de reminéralisation. Plusieurs processus à effet contraire interviennent dans l'évolution des teneurs en azote et phosphore dans l'étang après arrêt des apports EDF.

Les mécanismes qui mènent à une **diminution de la disponibilité des sels nutritifs** pour le phytoplancton seront :

- La suppression de 72% de l'apport en nitrates à l'étang et de 89% des apports en phosphore total (évaluation de la phase 1).
- Le stockage de phosphore dans les nouvelles conditions d'oxygénation.
- La consommation par les macroalgues, qui trouveront des conditions plus favorables à leur développement après arrêt des rejets.

Tandis que les phénomènes qui tendent à **accroître la disponibilité** des sels nutritifs seront :

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	34

- L'augmentation de la population des communes dont les eaux usées sont traitées par les STEP du pourtour de l'étang (+0.62% de 1990 à 1999 en moyenne sur les 12 communes concernées).
- La baisse de la dilution du phosphore de l'étang par les rejets d'eau douce du canal EDF.
- La hausse du rendement de régénération des sels nutritifs avec la réoxygénation de la couche profonde et la bioturbation du sédiment par la faune benthique.
- Une meilleure diffusion de ces sels régénérés avec la fin de la stratification.

**Les ratios Azote/Phosphore et Azote/Silicates** sont également déterminants dans l'évolution de la communauté phytoplanctonique. Un déséquilibre en phosphate existe actuellement au sein de l'étang en partie qui est contrôlé par les apports d'EDF dont les rapports N03/P04 (40 à 100) sont nettement supérieurs aux valeurs habituellement rencontrées dans les milieux lagunaires (10 à 40).

D'après Raimbault, la majorité des espèces acceptent une gamme de rapport Nitrates/Phosphates de 10 à 30-40. Dans l'étang en 2002, le rapport N/P (nitrates/phosphates) est en moyenne de 30. **Avec l'arrêt des apports EDF, le ration N/P des apports à l'étang va fortement diminuer et se stabiliser. Ces deux facteurs favoriseront la stabilisation des populations phytoplanctoniques.**

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	35

Tableau 11. Ratios N/P dans des apports des tributaires et du canal EDF

Fleuves	Concentrations	Moyenne de 1998 à 2002	Variance
Arc	Ammonium (mg/l NH4)	0,48	
	Nitrates (mg/l NO3)	22,92	
	Nitrites (mg/l NO2)	0,51	
	Phosphates (mg/l PO4)	1,59	
	(NH4+NO3+NO2) / PO4	15,08	6.78
	NO3 / PO4	14.45	7.61
Cadière	Ammonium (mg/l NH4)	5,62	
	Nitrates (mg/l NO3)	13,11	
	Nitrites (mg/l NO2)	1,55	
	Phosphates (mg/l PO4)	2,62	
	(NH4+NO3+NO2) / PO4	7,75	5.11
	NO3 / PO4	5.01	2.75
Touloubre	Ammonium (mg/l NH4)	0,91	
	Nitrates (mg/l NO3)	10,87	
	Nitrites (mg/l NO2)	0,39	
	Phosphates (mg/l PO4)	0,98	
	(NH4+NO3+NO2) / PO4	12,45	9.46
	NO3 / PO4	11.13	7.70
Canal EDF	Ammonium (mg/l NH4)	0,03	
	Nitrates (mg/l NO3)	2,11	
	Nitrites (mg/l NO2)	0,03	
	Phosphates (mg/l PO4)	0,05	
	(NH4+NO3+NO2) / PO4	40,93	121
	NO3 / PO4	39	117

Cugier (1999) a montré l'importance des rapports Si/N et Si/P sur l'accroissement des populations de flagellés. Les flagellés, dont fait partie le *Dinophysis* n'ont pas besoin de silice

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	36

pour se développer, au contraire des diatomées qui ont une frustule (i.e. sont entourées d'une enveloppe) siliceuse. En période de bloom, les diatomées se développent très rapidement jusqu'à ce qu'elles aient consommé la quasi-totalité de la silice disponible. Elles sont relayées par les flagellés dans la mesure de la disponibilité des nutriments azotés et phosphorés. Le diagramme établi par Margaleff (Figure 4) illustre cette succession phytoplanktonique contrôlée à la fois par la disponibilité des nutriments et les niveaux de turbulence. La silice n'a pas pour origine des activités humaines, mais provient du lessivage des sols par les eaux de pluie et les rivières. L'arrêt des apports duranciens qui réduira le flux de silice vers l'étang devrait favoriser les espèces non siliceuses. Ceci ne pourra être confirmé qu'à partir d'une évaluation des flux de silices apportés par les tributaires et des mesures des teneurs en silice de l'étang.

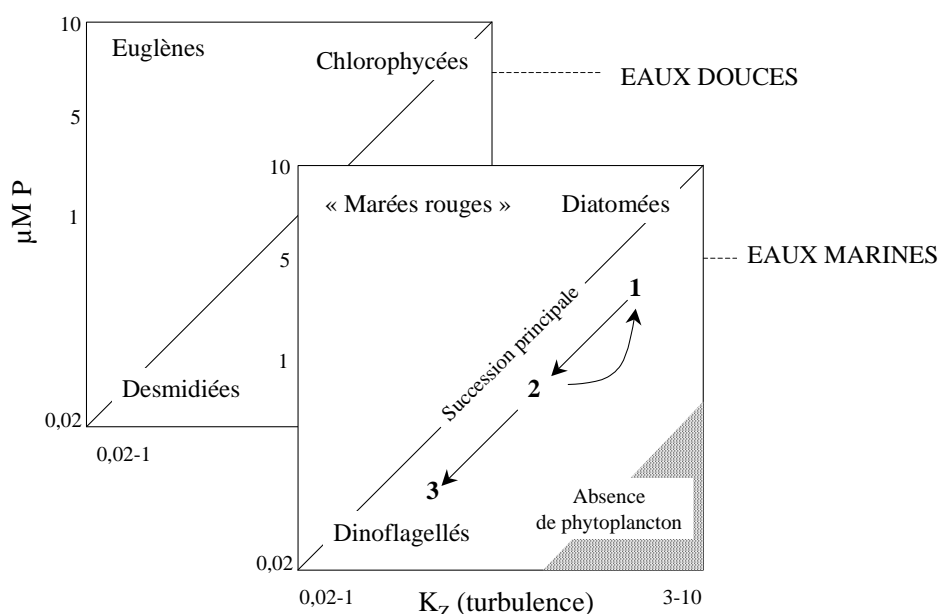


Figure 4. Successions phytoplanktoniques le long d'un gradient de concentration en nutriments et d'un gradient de turbulence (d'après Margalef, 1979)

La dynamique phytoplanktonique n'est pas, rappelons-le, uniquement dépendante des rapports N/P/Si mais aussi des valeurs absolues des teneurs en éléments nutritifs. Ainsi dans un milieu enrichi comme celui de l'étang de Berre, les hypothèses classiques de dystrophie par manque d'un élément sont difficiles à appliquer.

♦ **Le broutage zooplanctonique** : L'assemblage zooplanctonique est actuellement constitué exclusivement du copépode *Acartia tonsa* et du Rotifère *Brachionus plicatilis* (Gaudy, 1992 ; Gaudy et al, 1995). Les études menées en 1985-1986 ont montré que la part de production primaire utilisée par l'échelon secondaire au cours du processus d'ingestion se situe entre 8 et 10% (Arfi et al, 1988). La communauté zooplanctonique est moins réactive que le phytoplankton aux changements de milieu. Dans un premier temps la pression de broutage sera faible. L'évolution du zooplancton est étudiée en détail au paragraphe 2.4.5.

♦ **L'ingestion par les filtreurs** : les filtreurs tels que les moules et les huîtres sont des consommateurs de phytoplankton. La présence massive de ces filtreurs peut réduire et modifier la structure de la communauté phytoplanktonique, en la consommant sélectivement et/ou en favorisant leur développement par accélération du cycle du

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	37

phosphore et enrichissement du milieu en matière organique par excrétion (Yamamoto, 2003).

#### ◆ Conclusion

Eu égard à la multiplicité des facteurs en jeu, il apparaît difficile de faire des pronostics sur le devenir des populations phytoplanctoniques. Retenons cependant que libéré du forçage physico-chimique des apports EDF, la dynamique des populations phytoplanctoniques acquerra un caractère plus autonome et sera progressivement de plus en plus réglée par les interactions s'opérant entre les composantes de l'écosystème (phase de maturation de l'écosystème). Des épisodes de prolifération massive ponctueront cette évolution générale, s'alimentant sur (i) les importantes réserves de nutriments contenus dans les sédiments (ii) les apports des tributaires.

#### 2.4.3.2 Le phytoplancton toxique

En 1990 et 1991, on notait la présence permanente **d'algues potentiellement toxiques**. Ce sont les espèces :

- ✓ *Prorocentrum minimum* qui peut être responsable de l'accumulation de toxines de type vénéropine (VSP : Venerupin Shellfish Poisoning) dans les coquillages et qui présente donc un risque pour la santé humaine (Denardou-Queneherve et al, 1999).
- ✓ du genre *Dinophysis*, responsable de l'intoxication de type DSP (Diarrheic Shellfish Poisoning). On peut mentionner la présence de *Dinophysis acuminata* dans l'étang.
- ✓ du genre *Alexandrium*, responsable de l'intoxication de type PSP (Paralytic Shellfish Poisoning). *Alexandrium minutum* est recensé dans l'étang et particulièrement dans l'étang de Vaïne en 1990. Il est très difficile de reconnaître des espèces d'*Alexandrium* dans des échantillons fixés et la détermination se limite au genre. L'identification des kystes est encore plus ardue et demanderait une étude dédiée. Il n'y a donc pas de quantification concernant les kystes d'*Alexandrium*.
- ✓ du genre *Gymnodinium*, dont certaines espèces sont responsables de mortalité de poisson (*G. mikimotoi*, *G. tamarense*...)
- ✓ Du genre *Ceratium*, ...
- ✓ Du genre *Dictyocha*, certaines espèces siliceuses sont un danger pour les poissons.

La communauté de type Fos à l'origine de la future colonisation de l'étang, comprend aussi des genres potentiellement toxiques. La modification des conditions environnementales comme l'augmentation et la stabilisation de la salinité, des apports de nutriments moins soutenus, un rééquilibrage des ratios de nutriments, auront pour effet général de diversifier la population phytoplanctonique et de permettre probablement le maintien dans l'étang des espèces dites toxiques. D'autre part les kystes de résistance peuvent être importés dans l'étang par les eaux de ballast et y trouver des conditions favorables à leur éclosion. Si une activité conchylicole venait à se développer dans l'étang, le transfert de coquillages pourrait aussi être un vecteur de contamination de l'étang par des espèces toxiques.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	38



### 2.4.3.3 Eutrophisation et phytoplancton

Les paramètres qui contrôlent l'évolution du phytoplancton sont étudiés au paragraphe 2.4.3. On s'intéresse ici aux proliférations massives de phytoplancton susceptibles d'affecter ponctuellement l'étang. Rappelons que ces crises dystrophiques font partie du cycle naturel des écosystèmes et contribuent même à leur équilibre en libérant les énergies accumulées sous forme chimique.

Les facteurs qui contrôlent et contrôleront ces crises dystrophiques sont :

◆ La disponibilité en nutriments : La réduction des apports de Saint Chamas depuis 1995 a permis une **baisse** globale de la production phytoplanctonique (constatée en 1997-1998). L'arrêt complet des rejets EDF aura pour effet d'accroître l'hétérogénéité spatiale des teneurs en nutriments et celle de la production phytoplanctonique. Dans les nouvelles conditions, les risques de prolifération algale seront maximaux dans l'aire d'influence des tributaires et peuvent s'étendre à partir de ces foyers à l'étang. L'oxygénation de la colonne d'eau en facilitant la reminéralisation de la matière organique, favorisera la production algale et pourra **retarder** la diminution définitive de la production algale. Précisons que les apports seront moindres mais plus **réguliers**, ce qui devrait homogénéiser la périodicité des efflorescences.

Le temps de résidence et la circulation des masses d'eau. Comme précisé auparavant, l'effet du temps de résidence des masses d'eau sur l'eutrophisation ne doit pas être analysé à l'échelle de l'étang. Le taux de croissance des cellules (de l'ordre de 0.5 à 2 j<sup>-1</sup>) étant nettement supérieur au taux de renouvellement de l'étang (compris entre 0.01 et 0.005 j<sup>-1</sup>), celui-ci ne peut avoir une action significative sur la biomasse phytoplanctonique découlant de la production. En revanche, l'affaiblissement et la modification des courants consécutifs à l'arrêt des rejets, pourrait localement provoquer ou accroître le confinement des masses d'eau et favoriser ainsi la production et l'accumulation de biomasses phytoplanctoniques. Les zones les moins renouvelées seront les zones de Saint - Chamas et de l'étang de Vaïne. L'étang de Vaïne est donc susceptible de maintenir sa forte production algale, et ce d'autant que d'après Raimbault l'eutrophisation de l'étang de Vaïne est certainement auto-entretenu par la biomasse accumulée et dépend moins des rejets de la centrale. Nous n'avons pas en notre possession de données permettant de vérifier et d'identifier le confinement des masses d'eau et de quantifier leur impact sur les épisodes eutrophiques.

◆ Le broutage par le zooplancton sera faible dans un premier temps, il n'aurait pas d'influence limitante sur la prolifération phytoplanctonique à court terme.

### 2.4.3.4 Conclusion :

A COURT TERME : La réduction des apports en nutriments va permettre celle, déjà observée en 2002, de la biomasse phytoplanctonique. Dès les premiers mois, on devrait observer, comme en 1990, le passage d'une communauté dominée par des espèces dulçaquicoles à une communauté mixte d'espèces dulçaquicoles et néritiques tolérantes (Arfi, 1991). Au bout de 6 mois ces dernières seront probablement dominantes comme s'était le cas en octobre 1990. On s'approchera d'une communauté de type Fos dominée par les diatomées et dinoflagellés. La population néritique se caractérise aussi par des cellules de plus grande taille (qui appelleront d'autres brouteurs). Les risques d'épisode de proliférations phytoplanctoniques resteront importants du fait du déstockage des nutriments dans les sédiments et d'apports toujours conséquents. Ce risque prendra cependant un caractère local. La surveillance des espèces toxiques sera indispensable.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	39

A MOYEN ET LONG TERME : Libéré du joug de Saint-Chamas et d'une partie des réserves de nutriments, la communauté phytoplanctonique devrait se diversifier à la condition cependant que soient également mieux maîtrisés les autres apports à l'étang. L'enrichissement spécifique du phytoplancton favorisera celui du zooplancton et la mise en place de chaîne trophique complexe remplaçant les « boucles » détritiques actuelles.

## 2.4.4 Les bactéries

### Les cyanobactéries

Seul l'étang de Bolmon a connu des épisodes toxiques à cyanobactéries, notamment en 2000. Une quantité élevée de toxines peut être relarguée par un petit nombre de bactéries. Les facteurs de contrôle du développement de ces cyanobactéries sont :

- ✓ le mélange des masses d'eau. Il est à ce stade difficile d'estimer l'effet de la disparition de la pycnocline sur ce phénomène.
- ✓ une température de l'eau entre 15 et 30. La température de l'étang oscille actuellement entre 4 et 26°C en surface. La cessation des apports en eau froide du canal EDF ne devrait pas entraîner une augmentation significative de la température.
- ✓ une eau plutôt basique : l'étang de Berre est un milieu actuellement bien tamponné mais lors de l'arrêt de 1990, il a tout de même été constaté une légère augmentation de celui-ci (de 7.5 à 8.5). On s'orienterait donc avec l'arrêt des apports de Saint Chamas vers un milieu plus basique.
- ✓ une eau riche en phosphore, favorisée par l'accumulation de détergents et engrais dans les sols. La prédominance de l'apport de phosphore par La Cadière (132 kg/j de PO4 et 62 kg/j de Pt) en 2000 a sans doute participé aux proliférations observées dans l'étang de Bolmon cette année là. A échéance 2015 et en tenant compte d'un arrêt des rejets EDF, les apports en phosphore par la Cadière ne seraient plus que de 16 kg/j de PO4 et de 20 kg/j de Pt. Les risques de prolifération bactérienne en seront réduits.

L'augmentation de salinité prévue dans l'étang de Berre ne favoriserait pas le développement futur des cyanobactéries dans l'étang de Berre mais le risque pourrait subsister de manière transitoire dans l'étang de Bolmon.

### Les Malaïgues

Les algues vivantes qui prolifèrent posent des problèmes de toxicité (micro algues), de coloration de l'eau, et sont une gêne pour les bateaux ou les baigneurs... Leur dégradation massive est un facteur de désoxygénation des eaux et de formation de sulfures du fait de l'activité bactérienne associée. Lorsqu'il y a anoxie et formation de sulfures, on parle de malaïgues. D'après Picon (comm. Pers) ce phénomène n'a jamais pris d'ampleur dans l'étang de Berre. Le développement potentiel des ulves suite à l'arrêt des rejets pourrait, en l'absence de ramassage, constituer un foyer de malaïgue. L'oxygénation de ces zones est très dépendante des conditions de vent. Sur l'étang de Thau, une relation étroite entre la vitesse du vent et l'oxygénation des eaux a été mise en évidence (Souchu et al, 1998). Le seuil d'alerte en été correspond à un vent de moins de 2 m/s pendant 36 heures ou plus. A l'inverse des vents de plus de 8 m/s permettent un brassage et une réoxygénation rapide de la masse d'eau (Les eaux, 2001). Le ramassage des ulves semble être indispensable pour limiter ce type de risque.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	40

## 2.4.5 Le zooplancton

Le zooplancton est actuellement abondant mais de très faible diversité, il est caractérisé par la présence simultanée de *Acartia tonsa* (copépode) et *Brachionus plicatilis* (rotifère). Berre de Gaudy et al (1995), établissent des corrélations entre ces espèces et différents éléments du biotope (Tableau 12).

Tableau 12. Analyse de corrélation entre les facteurs environnementaux et le zooplancton de l'étang

Paramètre	<i>Acartia tonsa</i>	<i>Brachionus plicatilis</i>
Salinité	+	-
Température	+	+
Seston	+	+
Oxygène	-	
Chlorophylle	-	+

Température, salinité et oxygène expliquent 33 à 42 % de la variance d'*Acartia* alors que la température et la salinité expliquent 27 à 28 % de la variance de *Brachionus*. *Acartia* se nourrit de nuit tandis que *Brachionus* qui s'alimente le jour, est d'avantage herbivore et est capable d'ingérer des particules plus petites que *Acartia*. Ces caractéristiques permettent aux deux genres de coexister dans l'étang.

♦ A COURT TERME : En 1990 l'arrêt des rejets n'a pas permis la colonisation de l'étang par le zooplancton néritique tolérant et d'une manière plus générale la diversification de ce maillon de la chaîne trophique. La faible épaisseur de la couche profonde salée, la salinité encore trop basse, la forte abondance des cyanophycées et le maintien de l'anoxie dans certaines zones sont les principales raisons invoquées pour expliquer l'inertie des peuplements zooplanctoniques. Mais en 1997-1998, l'augmentation de la salinité de l'eau s'est accompagnée de la prolifération de zooplancton marin (cténophores). Les nouvelles conditions imposées par l'arrêt de Saint-Chamas risquent dans un premier temps d'affaiblir la population d'*Acartia tonsa* confrontée aux changements de nourriture du milieu. Mais celui-ci semble supporter l'augmentation de salinité. Par contre, on peut supposer une raréfaction progressive du rotifère *Brachionus* corrélée à l'augmentation de la salinité. Au bout de 7 mois lorsque la salinité sera stabilisée autour de 32 en surface et 35 au fond, et la destratification établie, la colonisation par le zooplancton néritique de « type Fos » pourra s'établir.

A MOYEN ET LONG TERME : la colonisation par le zooplancton néritique sera bien avancée. Parallèlement la communauté phytoplanctonique va évoluer vers des espèces de plus grande taille. Le zooplancton évoluera en conséquence et contribuera à édifier des chaînes trophiques classiques, plus longues que celles de type détritique actuellement en fonction dans l'étang (si on schématise).

## 2.4.6 La faune ichtyologique

### 2.4.6.1 Groupes ichtyologiques des lagunes méditerranéennes

Dans les lagunes méditerranéennes, on répertorie trois groupes d'espèces :

Des espèces marines migrantes qui se caractérisent par leur grande taille maximale, des maturités sexuelles tardives et des âges maximaux élevés. Leur zone de ponte est située en zones côtières méditerranéennes.

Parmi ces espèces on distingue schématiquement deux cas de figures :

1. Les espèces qui utilisent la lagune une partie de l'année. C'est le cas par exemple des **daurades, sars, soles et aloses**. Leurs alevins colonisent le milieu lagunaire au printemps et y séjournent l'été et l'automne puis retournent en mer où ils trouvent des conditions de température plus favorables. Pendant leur séjour dans la lagune la croissance des alevins est très importante lorsque la nourriture est abondante et les températures élevées.
2. Les espèces qui utilisent la lagune toute l'année comme **les mulets, le loup et certains gobies**. Les alevins colonisent la lagune à partir du printemps mais seul un nombre variable de juvéniles sort en mer. Ces espèces font probablement plusieurs aller-retour « lagune - mer » et leur croissance est rapide lors de leur séjour en lagune où elles sont à l'abri des grands prédateurs. Ces espèces ont la plus grande valeur marchande.

✓ Des espèces sédentaires qui se caractérisent par de petites tailles maximales, des maturités sexuelles précoces et la possibilité de pondre aussi bien en lagune qu'en mer. Ce sont les **Syngnathes et Hippocampes, les Labres, les Gobies et Blennies, l'Athérine**. Ce sont des espèces adaptées aux variations de salinité dans les lagunes, qui réagissent au couple salinité-température. Elles sont présentes sur le littoral et dans la lagune. Ces espèces n'ont pas de réelle valeur marchande à l'exception de l'Athérine et de certains gros Gobies.

✓ Des espèces inféodées à l'eau douce : elles ne tolèrent pas de salinité supérieure à 10 g/L. Ce sont les carpes, gambusies et épinoches. On trouve des carpes dans l'étang de Bolmon. Ces poissons ne pourront survivre dans l'étang de Berre.

En 1994, l'ensemble des études menées sur plusieurs années a permis l'identification d'environ 70 espèces dans l'étang de Berre dont 43 espèces migratrices, 3 à 5 espèces sédentaires et 22 espèces marines vraies. Les espèces actuellement pêchées dans l'étang sont principalement l'anguille, le mullet, le loup, l'athérine et la daurade. On y trouve aussi des sardines, bavareilles, anchois et mêlets en moindre quantité (MISE, 2000). La variabilité des espèces pêchées a pour origine : le climat, la demande du marché (ex : athérines), l'effort de pêche, la climatologie (mullet, daurade, loup), l'évolution générale d'une population donnée (anguilles)..

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	42

## 2.4.6.2 Evolution après arrêt des rejets

L'évolution de la faune ichtyologique sera fonction des caractéristiques des espèces présentes, des conditions de migration, de l'évolution des échelons inférieurs de la chaîne trophique.

Quelques caractéristiques de ces espèces actuellement pêchées sont récapitulées dans le Tableau 13. Ces espèces sont euryhalines, elles survivront à l'augmentation de salinité mais devront faire face au retour de nouvelles espèces. Il y aura davantage de compétition pour la ressource et pour l'habitat. L'écosystème va s'orienter vers un degré croissant de diversité limitant la niche écologique disponible pour chaque espèce.

Le **canal de Caronte** constitue la seule entrée dans l'étang pour les espèces migratrices. Les entrées et sorties de poissons varient selon les années et sont fonction de l'espèce, de la démographie, de la climatologie. Les facteurs tels que la température, le sens du courant et la qualité de l'eau dans le canal permettront ou non la colonisation de la lagune. Le franchissement du canal par les alevins peut être passif ou actif, l'entrée et la sortie des juvéniles et adultes se fait généralement à contre courant. Des seuils de vitesses ont été établis pour le passage des alevins dans les graus en fonction des espèces et de la taille de l'individu (Bourquard, 1985, cité dans Les Espèces, 2001). A titre d'exemple pour un loup de 18 à 22 mm, la vitesse maximale de courant permettant le déplacement actif de l'alevin à contre courant est de 0.31 m/s. En deçà d'une dizaine de mm, les larves sont incapables de remonter brutalement un courant supérieur à 0,10m/s ; elles peuvent néanmoins l'éviter en plongeant si la profondeur est suffisante (Aboussouan et al, 1994). Les caractéristiques hydrodynamiques du canal de Caronte ne permettent pas de l'assimiler à un grau.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	43

Tableau 13. Quelques caractéristiques des espèces fréquentant l'étang

Espèce	Température	Salinité	Qualité eau	Habitat	Régime alimentaire
Athérine		5-70	Sensibles à la turbidité et l'anoxie	Zones peu profondes, riches en herbiers	Petits crustacés et zooplancton
Mulet grosse tête et porc	Mulet à grosse tête est sensible au froid	0-40	Tolère eaux peu oxygénées	Les alevins se concentrent dans les herbiers	Détritivore
Mulet Lippu, Sauteur, Doré		>10 lippu, >15 pour sauteur et >25 pour doré		Alevins sur rives peu profondes	Détritivore
Loup ou Bar	5-27	Large gamme : eaux douces à sursalées	O <sub>2</sub> > 3 mg. Présent dans zones à forte turbidité et dans les ports	Alevins colonisent les bordures riches en herbiers	Crustacés et poissons (athérines)
Daurade	>7	20-40	Sensible à l'enrichissement en MO qui dégrade invertébrés benthiques	Alevins dans zones peu profondes avec herbiers	Invertébrés benthiques : crustacés et coquillages
Anguille	8-30	Tolère large gamme	S'accommode de l'eutrophisation. Excellent bio-indicateur de pollution	Habitats divers	Crevettes, crabes, mollusques et poissons
Sole commune		3-50	Lagune eutrophe avec macroalgues sont défavorables	Petits fonds, fonds sableux et sablo-vaseux.	Mollusques, échinodermes, crustacés, vers
Syngnathes		0-50	Milieux peu eutrophisés	Inféodés aux Herbiers	Nourriture inféodée aux herbiers

A COURT TERME : Les espèces actuellement présentes sont euryhalines et **toléreront les nouvelles conditions de salinité**. Le nouveau contexte physique tend à favoriser **le retour**

- d'espèces migratrices supportant mal les fortes fluctuations actuelles de salinité

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	44

- d'espèces sédentaires adaptées à des eaux plus salées.

Le Golfe de Fos constituerait la principale source d'alimentation de l'étang en oeufs et en larves. Ce sont surtout les espèces qui migrent dans l'étang pour se nourrir qui effectueront un retour dans l'étang à cette échéance. Le retour des espèces qui migrent pour se reproduire ont besoin de la présence de zones littorales à herbiers or ce paramètre sera plus long à s'installer.

Au dire des experts le stock d'anguilles devrait diminuer du fait de l'augmentation de salinité. Le contexte biologique restera encore pauvre (herbiers peu étendus, zooplancton balbutiant). Le **manque de nourriture** (invertébrés benthiques, poissons « fourrage ») sera sans doute le facteur limitant l'implantation et le développement des espèces migratrices

A MOYEN TERME : le moyen terme sera marqué l'amélioration progressive des capacités trophiques et d'accueil de l'étang (nourriceries, frayères) découlant du repeuplement benthique, de la diversification des sources nutritives, du début de recolonisation de la bande littorale par les herbiers. Cette recolonisation s'appuiera sur les peuplements actuels (et dégradés) de *Zostera noltii* et *Zostera marina*.

A LONG TERME : la réoxygénation, la baisse de la turbidité et donc l'augmentation de la luminosité sur les rivages seront favorables à la recolonisation par les herbiers. Cette colonisation des zones peu profondes sera longue mais décisive pour la restauration des cycles biologiques des poissons dans l'étang. On peut envisager un retour des espèces présentes en 1966 décrites dans le rapport de phase 1 avec certaines restrictions pour les espèces les plus sensibles aux polluants rémanents.

## 2.5 Effets sur le fonctionnement global de l'écosystème

Le forçage physico-chimique et hydrodynamique exercée par les rejets de Saint-Chamas a constitué et constitue un facteur de stress important et permanent de l'écosystème de l'étang qui l'a maintenu et le maintient encore dans un état dit juvénile et qui s'est soldé par la disparition d'un grand nombre d'espèces et l'appauvrissement du réseau d'interaction.

Libéré de ce joug, l'écosystème de l'étang va rentrer dans une phase de maturation cependant limitée au moins temporairement par les stress qu'exerceront encore les apports des tributaires et le destockage des nutriments contenus dans les sédiments. Les principales transformations observées pendant cette phase de maturation pourraient être les suivantes (en s'inspirant de Frontier et Pichod-Viale, 1998) :

- **Le peuplement se diversifie** par apparition d'espèces à croissance plus lente et complexification des chaînes alimentaires. L'ensemencement par le Golf de Fos via le canal de Caronte devrait « enrichir » progressivement l'étang au fur et à mesure qu'il se déstratifie et régularise son régime de salinité,
- **Le biotope évolue** sous l'action des nouveaux peuplements. Le remaniement des fonds par les espèces benthiques va permettre sa réoxygénation et va modifier sa composition chimique,
- **Les niches écologiques se diversifient** à leur tour par hétérogénéisation du milieu (l'impact relatif des apports locaux grandit, l'étang se cloisonne), diversification des chaînes alimentaires, apparition d'interactions nouvelles,

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	45

- **Les interactions qui s'opèrent s'organisent progressivement**, le système acquiert stabilité et résilience, on dit qu'il est contrôlé de l'intérieur. Signalons que les apports des tributaires s'ils sont maintenus à leur niveau actuel auront pour effet de réfréner cette structuration du système,
- **Les espèces à stratégie K sont de plus en plus nombreuses**, soit les espèces qui privilégient la croissance et la protection de la biomasse. La colonisation de la bordure littorale par les herbiers sera une étape fondamentale du changement écologique de l'étang en tant que source d'oxygène et support d'une flore et faune marine riche et diversifiée.
- **La croissance en biomasse de la biocénose se ralentit** et atteint une valeur maximale,
- **La production brute augmente jusqu'à un maximum puis se stabilise**. Les producteurs primaires, premier maillon de la chaîne trophique, pourront dans un premier temps puiser dans une réserve importante de nutriments contenus dans les sédiments en même temps qu'ils seront alimentés par les apports des tributaires et des STEP. Le niveau de production primaire ne devrait donc pas évoluer sensiblement à court terme et pourrait prendre la forme d'une production importante de macro-algues.
- **Le taux de recyclage de la matière devient important**, qui conduit à la réduction des stocks de matière organique (diminution du rapport Production/Biomasse),
- **La diversité spécifique augmente**. Le rétablissement et la régularisation des rapports N/P/Si appelleront une flore plus diversifiée parmi laquelle les espèces toxiques. Cette diversification du substrat primaire provoquera celle des brouteurs également soutenue par des conditions environnementales moins sélectives. Les espèces benthiques suivront les mêmes tendances. Cette l'évolution vers des faciès de diversification s'accompagnera, dans un premier temps, d'explosions mono-spécifiques (qui s'atténueront dans le temps).

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	46



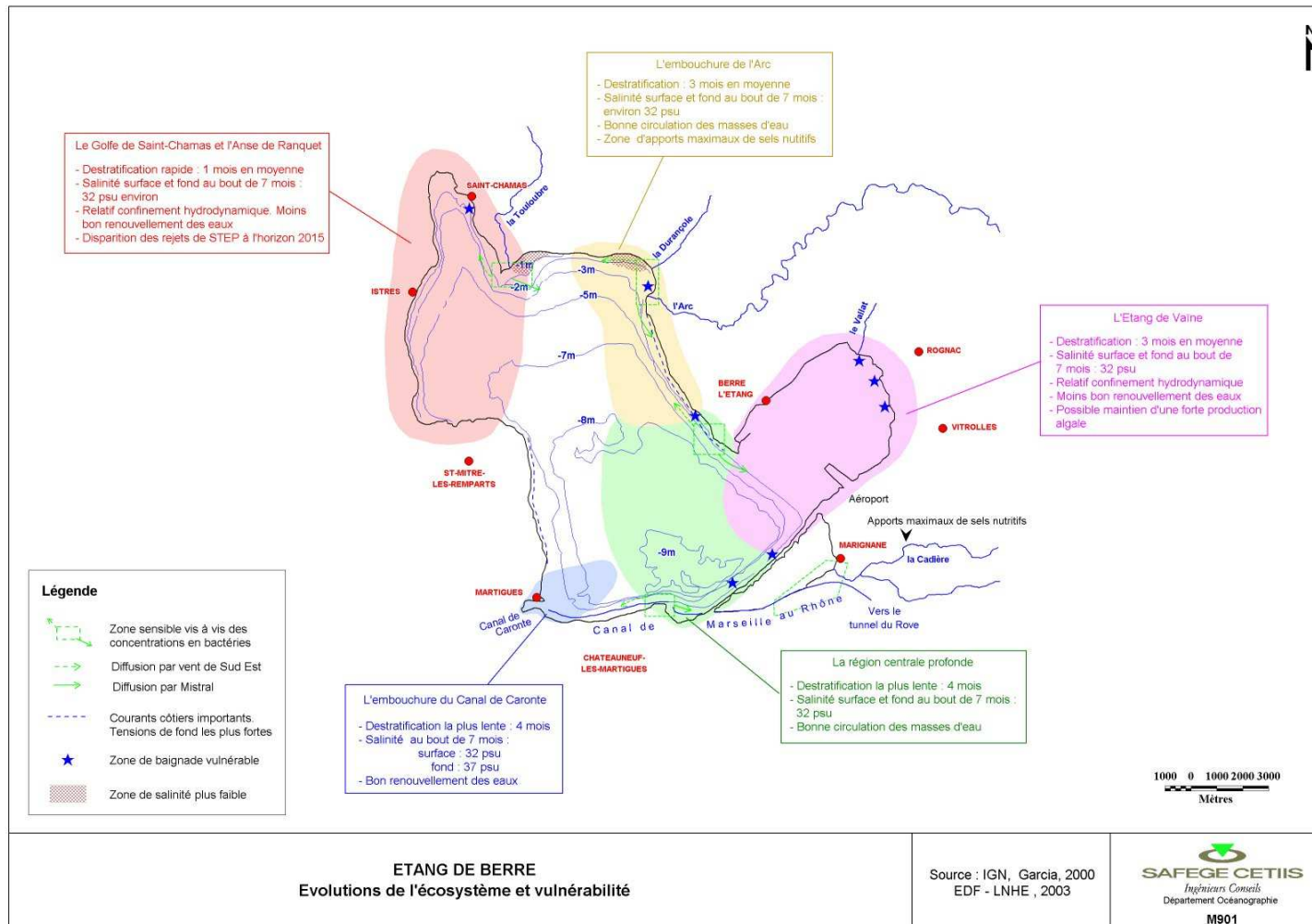


Figure 5. Evolution de l'écosystème après arrêt des rejets

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	47

La maturation du système sera naturellement s'accompagner de phénomènes d'eutrophisation voire de crises dystrophiques, le rôle d'exportateur de la matière produite que jouait les rejets de Saint-Chamas n'étant plus effectif. Rappelons que ces crises dystrophiques font partie du cycle naturel des écosystèmes et contribuent à leur équilibre.

## 2.5 Les implications pour les usages

L'arrêt des rejets de la centrale hydroélectrique de Saint-Chamas aura divers types d'impacts sur les activités et usages pratiqués sur l'étang. Les catégories d'usages concernées sont les activités nautiques, l'usage des ressources de l'étang et la pratique des activités balnéaires.

### 2.5.1 La voile et les activités nautiques

Ces activités concernent essentiellement les 3 premières zones (telles qu'elles sont définies dans le rapport de phase 1), soient les façades occidentale et Nord de l'étang.

Dans un premier temps le développement des ulves (à moins d'un ramassage fréquent) risque de détériorer la qualité visuelle et olfactive des eaux de navigation. La putréfaction des ulves sur les rivages est en effet, source d'odeurs nauséabondes.

A plus long terme, les nouvelles conditions physico-chimiques et biologiques seront favorables à la pratique de la voile et autres activités nautiques de par l'amélioration de la transparence de l'eau et la raréfaction des phénomènes de proliférations massives d'algues.

### 2.5.2 L'activité balnéaire

L'impact de l'arrêt des rejets sur cet usage, sera premièrement lié à l'évolution de la qualité de l'eau indiquée par les teneurs en germes bactériens et en Matière en suspension. On relève trois phénomènes qui agissent sur ces deux paramètres et qui sont susceptibles d'évoluer après l'arrêt des rejets :

- La dispersion des altérants par les courants,
- Les conditions physico-chimiques (salinité principalement) du milieu qui règlent la survie des germes bactériens,
- La production biologique en tant que source de turbidité,

#### Dispersion des altérants par les courants

L'arrêt des rejets devrait avoir des effets contraires selon les secteurs de l'étang considérés. Dans certaines parties de l'étang, les rejets de Saint-Chamas peuvent avoir pour effet de diluer les eaux par ailleurs réceptrices de rejets de STEP ou de tributaires, l'arrêt des rejets conduira à renforcer l'impact des rejets locaux (industriels, urbains, fluviaux). Citons par exemple l'embouchure de l'Arc, de la Cadière, la zone proche du rejet de la STEP de Berre - Rognac.... Par contre, dans les zones actuellement sous l'emprise directe de Saint-Chamas, l'arrêt des rejets provoquera une diminution des teneurs en MES et en germes bactériens.

#### Salinité

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	48

Le rehaussement de la salinité consécutif à l'arrêt des rejets aura pour effet d'accroître la lyse des germes bactériens sous l'effet de la pression osmotique.

### Production biologique

Il est actuellement difficile de se prononcer sur l'évolution de ce paramètre. Les explosions monospécifiques mentionnées ci-avant auront pour effet d'accroître ponctuellement la turbidité des eaux et donc sa qualité au regard de l'activité balnéaire. En revanche, l'accélération du recyclage de la matière permettra de consommer une partie des stocks matière organique et d'abaisser le niveau général de turbidité (diminution du P/B).

L'arrêt des rejets aura également des effets sur l'activité balnéaire par son action sur **l'évolution des mouvements sédimentaires**. L'installation et le développement des peuplements végétaux et animaux, en particulier celui des herbiers de phanérogames devrait permettre une meilleure stabilisation des sédiments dans la zone côtière et peut-être, protéger certains secteurs littoraux d'une trop forte érosion. A ceci s'ajoute le probable maintien, voire l'augmentation de l'alimentation des plages en matériel biodétritique, liée à la présence de peuplements macrobenthiques plus denses et riches et dont la mortalité produira davantage de débris coquilliers.

### 2.5.3 La pêche et la consommation des ressources de l'étang

- La pratique de la pêche devrait se trouver modifiée par les changements de conditions du milieu.

L'augmentation puis la stabilisation de la salinité de l'étang à 32 ‰ en moyenne s'accompagnera d'une modification des types de peuplements rencontrés. L'arrivée d'espèces de poissons à affinité marine (daurades, sars, soles, mullets, loups et certains gobies) en provenance du canal de Caronte puis leur installation progressive permise par la persistance de conditions favorables (présence de zones littorales à herbiers...) conduira à la régression progressive des muges, anguilles.

Actuellement, la pêche aux "petits métiers" qui cible majoritairement l'anguille, les muges connaîtra une diminution sensible de ses prises. Elle pourra toutefois se réorienter sur les espèces qui feront leur entrée dans l'étang ou qui seront présentes en plus grand nombre, du fait de l'arrêt des rejets. Ces changements étant progressifs, il faut prévoir de gérer cette phase de transition sur le plan économique.

La modification des types de poissons pêchés correspondra également à une modification de la valeur économique du produit de la pêche puisque les prix sont très variables d'une espèce de poisson à l'autre.

- La consommation des ressources vivantes de l'étang

Les modifications du milieu et les nouvelles modalités de diffusion des polluants liées à l'arrêt des rejets s'accompagneront d'un risque sanitaire lié à la concentration d'altérants (par exemple le méthyl - mercure) dans la chair des poissons destinés à la consommation humaine. Toutefois l'appréciation de la diffusion éventuelle de polluants dans le milieu et par la même l'évaluation d'une contamination possible de la chair des espèces consommées reste très délicate, d'autant plus que, concernant les poissons, ces peuplements sont très mobiles. Notons qu'à ce jour la consommation de coquillages de l'étang n'est pas envisagée dans les objectifs fixés par le GIPREB.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	49

## 2.5.4 Approche par zone

Après arrêt des rejets, les contraintes de la zone 1 seraient modifiées :

- par la suppression des rejets de la STEP de Saint-Chamas
- par la nouvelle circulation qui va se mettre en place. D'après les résultats du modèle, le temps de résidence des masses d'eau dans la baie de Saint-Chamas va augmenter.
- A plus ou moins long terme, la qualité du milieu en regard de la baignade et des activités nautiques doit s'améliorer.

<b>ZONE 1</b>	
Façade occidentale de l'étang de Berre (du canal de Caronte à la ville de Saint-Chamas)	
<b>ATOUTS</b>	<b>CONTRAINTES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paysagers</b> Diversité des milieux (zones rocheuses, marais, plages) Bonne représentation des espaces naturels et/ou peu urbanisés</li> <li>• <b>Patrimoniaux</b> Présence de sites archéologiques proches (site de Tholon au Nord de Martigues) Présence de zones naturelles protégées ou inventoriées</li> <li>• <b>Balnéaires, nautiques</b> Nombreux sites de plages Nombreuses structures d'activité nautique</li> <li>• <b>Economiques</b> Bon potentiel de pratique de la pêche (entreprises, structures portuaires) Population importante donc fort potentiel d'usagers directs et indirects de l'étang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes liées à la qualité de l'eau</b> En plus des rejets urbains, cette partie de l'étang est caractérisée par le difficile renouvellement des eaux de la zone Nord-Ouest de l'étang en raison du relatif confinement causé par le rejet de l'usine EDF de Saint - Chamas.</li> </ul>

Avec l'arrêt des rejets EDF, cette zone devrait bénéficier d'une amélioration de la qualité du milieu en regard des usages. Cette amélioration ne se fera à plus ou moins long terme, puisque les proliférations d'ulves prédites dans un premier temps nuiront à la qualité visuelle et olfactive des eaux du site et pourront perturber la pêche (à moins qu'un ramassage fréquent ne soit organisé).

Pour ce qui est de la qualité bactériologique des eaux, une nette amélioration est à attendre de la suppression récente des rejets urbains de la STEP de Saint-Chamas.

Quant est-il de la fragilité du littoral sableux entre la pointe de Saint-Chamas et le port de Beau-Rivage dans la nouvelle configuration hydrodynamique ?

<b>ZONE 2</b>	
Façade Nord/NE de l'étang (le littoral de Saint-Chamas à la ville de Berre - l'Etang)	
<b>ATOUTS</b>	<b>CONTRAINTES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paysagers</b></li> </ul> <p>Importantes zones non urbanisées (terres agricoles, anciens salins, espaces naturels)</p> <p>Diversité des milieux (zones rocheuses, marais, plages)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Patrimoniaux</b></li> </ul> <p>Présence de zones naturelles protégées ou inventoriées correspondant à des zones humides naturelles ou non (Conservatoire du Littoral, ZNIEFF et ZICO)</p> <p>Témoin de l'exploitation passée de l'étang : les anciens Salins de Berre</p> <p>Présence de plusieurs sites antiques : villas romaines, moulin médiéval, pont Flavien</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Balnéaires, nautiques</b></li> </ul> <p>Quelques sites de plages</p> <p>Sites portuaires nombreux et diversifiés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Economiques</b></li> </ul> <p>Bon potentiel de pratique de la pêche : entreprises de pêche et surtout capacité d'accueil des ports</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes liées à la qualité de l'eau</b></li> </ul> <p>En plus des rejets urbains, cette partie de l'étang est caractérisée par l'influence des apports de l'Arc et de la Touloubre qui drainent de vastes bassins versants sur lesquels s'effectuent à la fois des rejets urbains et ceux liés à l'activité agricole. La grande plaine alluviale de l'Arc est particulièrement concernée avec de nombreuses terres agricoles. Le rejet des STEP de Berre et Rognac s'effectue sur cette partie du littoral (pointe de Berre).</p> <p>Les apports en azote et phosphore particulièrement forts dans cette zone sont favorables aux développements algaux. La présence régulière de peuplements algaux sous la forme de macroalgues (<i>Ulva</i> spp.) ou de phytoplancton a un effet négatif pour la transparence de l'eau (turbidité...) et donc pour la pratique de la baignade, des activités nautiques et peut être gênant pour la pêche</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes en relation avec l'usage du littoral</b></li> </ul> <p>Artificialisation de la côte rocheuse entre la pointe de Saint - Chamas et le port de Beau - Rivage.</p> <p>Fragilité du littoral sableux entre l'Arc et la pointe de Berre vis à vis de l'érosion et recul rapide et dangereux des falaises au nord du delta de l'Arc</p>

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	51

Dans la zone 3, l'arrêt des rejets EDF n'aura pas d'impact direct sur l'étang de Vaïne si ce n'est par le biais de la nouvelle circulation des masses d'eau. L'amélioration de la qualité du milieu sera soutenue par la déviation des rejets de la station de Rognac au niveau de la pointe de Berre et non plus dans l'étang de Vaïne. La nuisance principale dans cette zone restera sans doute les activités industrielles et les rejets associés.

<b>ZONE 3</b>	
(L'étang de Vaïne, de Berre - l'Etang au Nord de l'étang de Bolmon)	
<b>ATOUTS</b>	<b>CONTRAINTES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paysagers</b></li> </ul> <p>Présence des zones de salins (Salins de Berre et du Lion)</p> <p>Côte orientale dominée par le relief caractéristique des cuestas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Patrimoniaux</b></li> </ul> <p>Sites témoins de l'exploitation passée de l'étang : les anciens Salins de Berre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Balnéaires, nautiques</b></li> </ul> <p>Quelques sites de plages</p> <p>Activités nautiques bien développées</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Economiques</b></li> </ul> <p>Population importante donc fort potentiel d'utilisateurs directs et indirects de l'étang</p> <p>Fort potentiel de pratique de la pêche (nombreuses entreprises de pêche) malgré le petit nombre de ports de pêche</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes liées à la qualité de l'eau</b></li> </ul> <p>En plus des rejets urbains, cette partie de l'étang est caractérisée par une très forte activité industrielle et donc la présence de plusieurs rejets ponctuels industriels.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes en relation avec l'usage du littoral</b></li> </ul> <p>Zones urbaines, industrielles et infrastructures de transport denses et qui laissent peu de place aux espaces naturels</p> <p>Nuisances sonores (aéroport) et de qualité de l'air sont une gêne pour les activités récréatives</p> <p>Recul rapide des falaises bordant le Sud-Ouest de l'étang de Vaïne</p>

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	52

En zone 4, la qualité du milieu, aujourd'hui très dégradée, va s'améliorer sous réserve de la mise aux normes des stations d'épurations et des objectifs du SDAGE pour la Cadière. Le faible taux de renouvellement des masses d'eau de l'étang de Bolmon restera la contrainte majeure.

Ce n'est qu'après épuration du milieu (à long terme) que la restauration des usages nautiques et de la pêche dans l'étang de Bolmon sera envisageable.

La nouvelle circulation ne devrait pas modifier de manière significative les tensions s'exerçant sur le cordon du Jaï. Les plages du cordon resteront un lieu privilégié de baignade sous réserve d'un ramassage fréquent des macroalgues.

<b>ZONE 4</b> (L'étang de Bolmon et le cordon du Jaï)	
<b>ATOUTS</b>	<b>CONSTRAINTES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paysagers</b> Proximité de deux espaces naturels très différents : littoral sableux et marais Vignobles à proximité de l'étang Urbanisation très localisée</li> <li>• <b>Patrimoniaux</b> Espace organisé autour de zones naturelles protégées ou inventoriées : une zone humide et un cordon sableux (Conservatoire du Littoral, ZNIEFF, Natura 2000) Aménagements littoraux remarquables (bourdigues, canal de Marseille au Rhône)</li> <li>• <b>Balnéaires</b> Site remarquable pour la baignade (cordon du Jaï)</li> <li>• <b>Economiques</b> Activité industrielle peu développée Proximité de centres urbains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes liées à la qualité de l'eau</b> L'étang de Bolmon est "particulièrement dégradé" ce qui interdit la pratique de la pêche et des activités récréatives. En plus des rejets urbains, cette partie de l'étang est caractérisée par les apports dégradés de la Cadière, du canal du Rove. Cet étang est régulièrement soumis à des crises hypertrophiques.</li> <li>• <b>Contraintes en relation avec l'usage du littoral</b> Fragilité du cordon du Jaï en raison de menaces diverses : érosion, piétinement excessif, urbanisation sauvage, extension de la décharge de Marignane. Nécessité de contrôler l'urbanisation afin de préserver les espaces naturels tout proches Activités nautiques peu développées</li> </ul>

Dans la zone 5, les usages privilégiés sont la voile et la pêche. La STEP de la Mède rejette dans le canal du Rove.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	53

<b>ZONE 5</b>	
(La façade sud de l'étang de Berre, entre La Mède et le canal de Caronte)	
<b>ATOUTS</b>	<b>CONTRAINTES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paysagers</b> Plan d'eau dominé par les premières pentes de la chaîne de l'Estaque</li> <li>• <b>Patrimoniaux</b> Présence d'une ZNIEFF Géologique</li> <li>• <b>Economiques</b> Structures portuaires bien développées surtout concernant les navires de plaisance (port à sec) Proximité de centres urbains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contraintes liées à la qualité de l'eau</b> En plus du rejet de STEP de La Mède, La qualité de l'eau sur cette partie de l'étang est une contrainte surtout pour l'activité de pêche et le nautisme.</li> <li>• <b>Contraintes en relation avec l'usage du littoral</b> Pas de zone de baignade Littoral très artificialisé (villes, autoroute, digues du canal de Marseille au Rhône...)</li> </ul>

## 2.6 Les actions correctives et les mesures accompagnatrices

Ces mesures ciblent les déséquilibres trophiques causés par l'arrêt des rejets de la centrale EDF.

- **Le ramassage des ulves**

Leur enlèvement pendant 2 à 5 années successives, permettrait :

- une épuration contrôlée des éléments nutritifs (azote, phosphore) qui réduirait les risques d'anoxie,
- une épuration des altérants chimiques, dans la mesure où ceux-ci sont concentrés dans les algues,
- le nettoyage des abords de l'étang ce qui serait positif pour les plages (voire indispensable à leur fréquentation),

La valorisation des ulves récoltées, comme engrais, aliment pour animaux ou encore pâte à papier devra être étudiée.

- **La réimplantation d'individus composant les peuplements**

Les délais de recolonisation de l'étang par certains peuplements benthiques pourraient être raccourcis en procédant à des transplantations de phanérogames (*Zostères*, *Ruppia*...) ou de macrofaune benthique (espèces de l'assemblage des Sables Vaseux de Mode Calme...) dans certaines zones de l'étang de Berre.

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	54



Les modalités spatiales, temporelles, méthodologiques de telles opérations seraient à préciser afin de garantir une meilleure efficacité. Des zones pouvant servir de base au développement de ces peuplements existent : zones potentiellement pionnières de la pointe de Berre et la zone proche de La Mède pour les phanérogames, mais aussi le canal de Caronte pour la macrofaune des SVMC.

- **La maîtrise des apports à l'étang**

La poursuite des efforts en matière de réduction des flux polluants aboutissant à l'étang doit absolument accompagner son processus de restauration. Elle permettra de réduire les risques de dystrophies et de garantir la qualité des ressources de l'étang dont l'arrêt des rejets aura permis le développement.

- **Un suivi environnemental**

Dans sa phase de restauration, l'étang devra faire l'objet d'un suivi environnemental qui permettra de contrôler et comprendre son évolution physico-chimique, biologique et écologique, de prendre des dispositions pratiques et réglementaires quant aux conséquences écologiques et économiques de ces évolutions, de mieux cibler les actions curatives. Des éléments du suivi sont donnés dans le tableau ci-après.

Tableau 14. Eléments du suivi de la restauration de l'étang de Berre

Taxons	Paramètres	Fréquence	Stations
Phytoplancton	Biomasse et production	Mensuelle	Suivi hydrologique GIPREB
	Inventaire spécifique dont espèces toxiques	Mensuelle	idem
Zooplancton	Biomasse	Mensuelle	idem
	Inventaire spécifique	Mensuelle	
Ulvophyceae	Inventaire spécifique	Trimestrielle	A définir
	Biomasse	Trimestrielle	A définir
Phanérogames	Biomasse	Annuelle	Secteurs actuels d'implantations
	Inventaire spécifique	Annuelle	idem
	Limites inf et sup	Annuelle	idem
Macro-faune benthique	Biomasse	Annuelle	Parmi les stations sédimento GIPREB
	Inventaire spécifique	Annuelle	idem

La définition précise et les modalités de mise en œuvre du suivi devront faire l'objet d'une concertation avec le comité technique et le cortège d'experts.

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	56

## 3 Bilan : analyse systémique de l'ensemble des volets

Les compartiments se stabilisant en dernier lieu et pour lesquels une réelle "réhabilitation" s'effectuerait à long terme, seraient essentiellement ceux du domaine benthique.

Il n'y aura pas d'effets déterminants à Court Terme pour les peuplements benthiques, particulièrement la macroflore benthique.

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	57

### 3.1 Evolutions attendues à Court Terme (6 mois - 1 an)

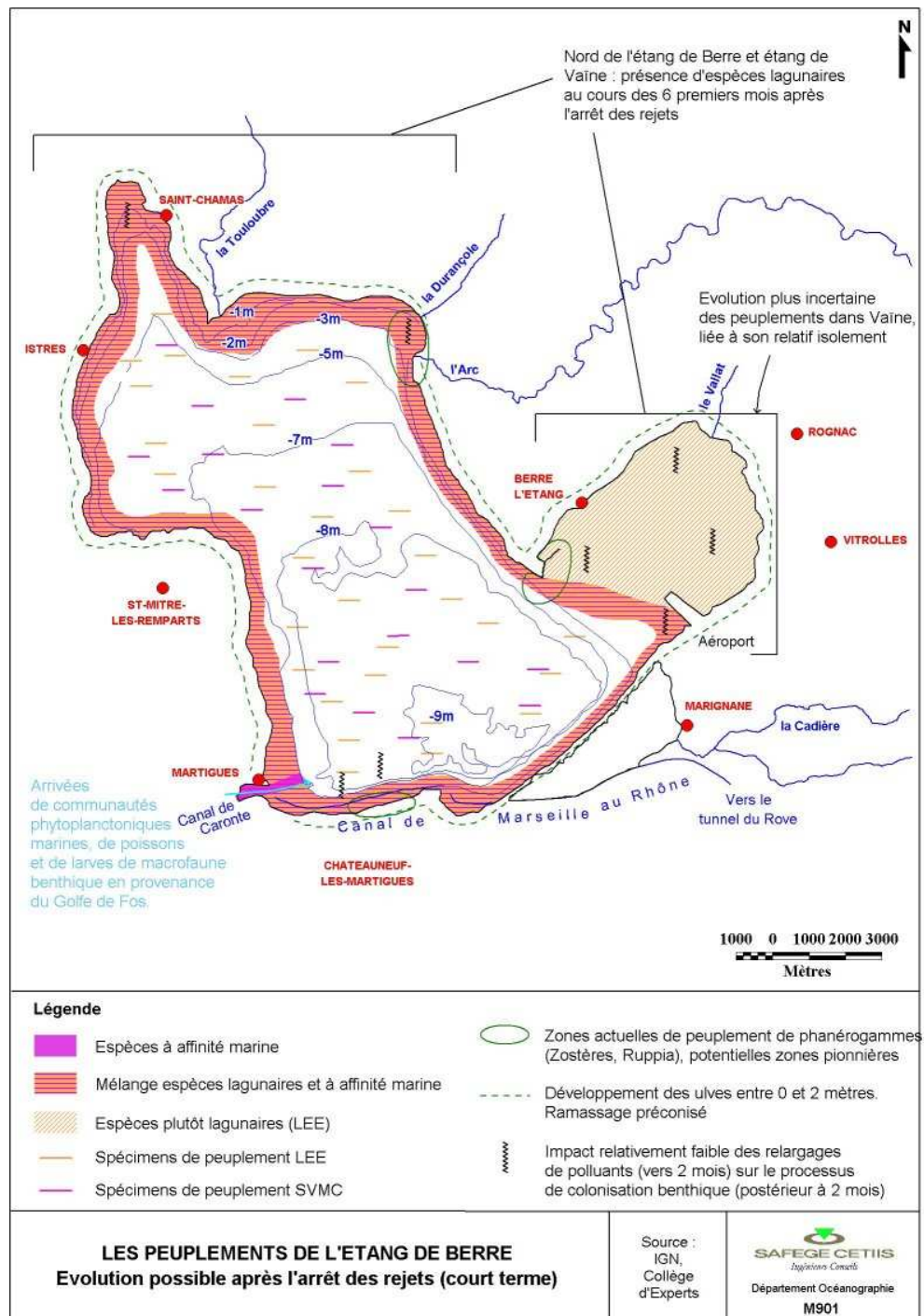


Figure 6. Evolution possible à court terme après arrêt des rejets

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	58

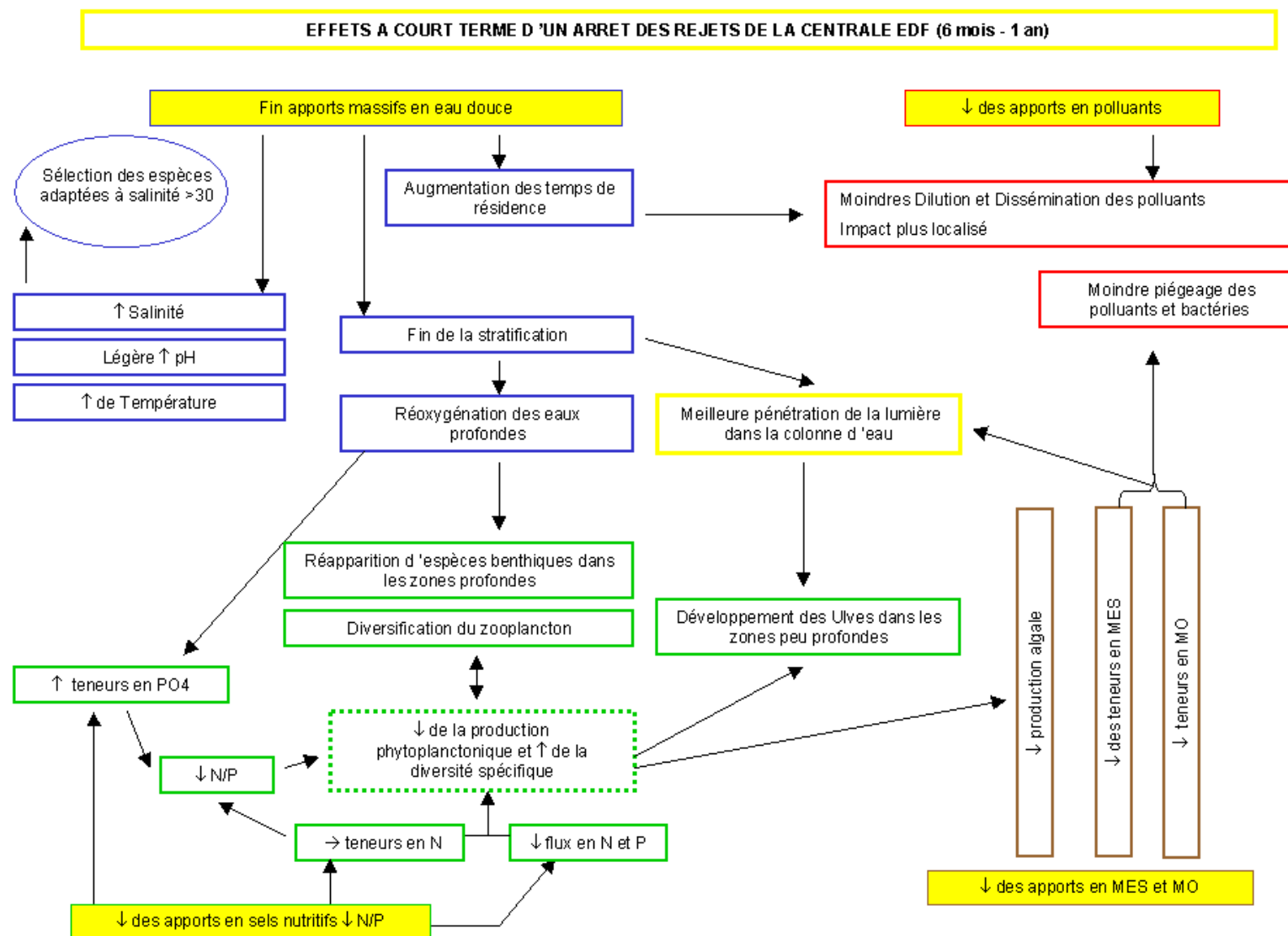


Figure 7. Mécanismes d'évolution de la qualité des eaux et du sédiment à court terme

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	59

## 3.2 Evolutions attendues à Moyen Terme (2 - 10 ans) et stabilisation attendue à long terme (+10 ans)

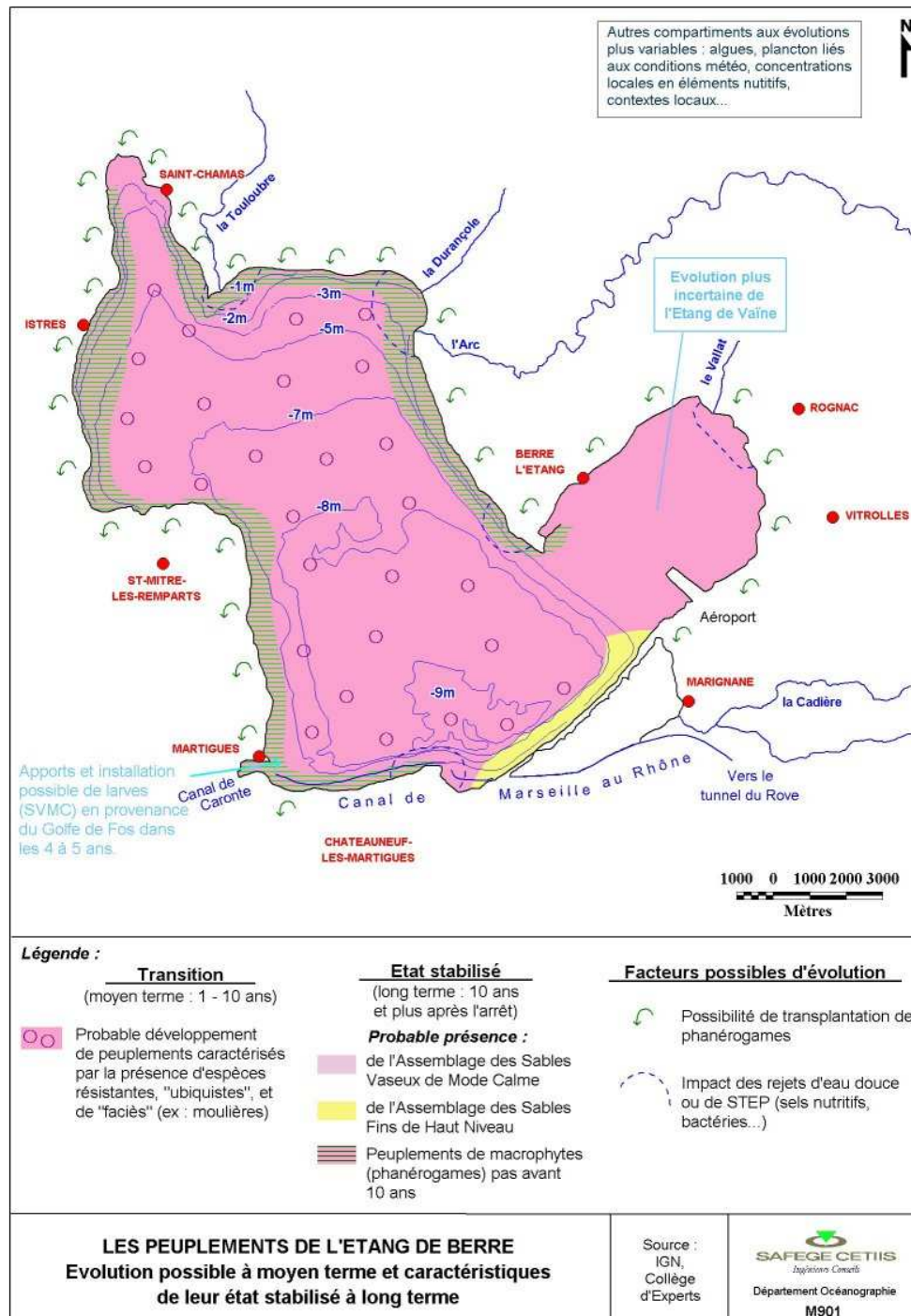


Figure 8. Evolution possible à moyen terme et caractéristiques de l'état stabilisé

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	60

### 3.3 Tableau de synthèse des effets de l'arrêt des rejets et incertitudes associées

En synthèse, est présenté un tableau récapitulatif des effets de l'arrêt des rejets (Tableau 16) à court terme (6 mois à 1 an), à moyen terme (1 à 10 ans ) et à long terme (plus de 10 ans). A chaque prévision d'effet, est associé un degré d'incertitude nul, faible, moyen ou élevé, traduit par un code couleur. Ce degré est fonction des sources d'information associées à cette prévision (Tableau 15).

Tableau 15. Niveau d'incertitude et code couleur associé

Nulle	Faible	Moyenne	Elevée
Résultats de modélisation validés	Expérience de l'arrêt complet de turbinage de juin à octobre 1990	Connaissance de l'état antérieur à 1966	Hypothèse forte d'évolution
Déjà en cours d'observation	Modélisation numérique	Analyse des évolutions récentes	
	Mécanismes connus	Difficulté de la prévision en raison de la multiplicité des interactions et des effets contraires en jeux	

Tableau 16. Effets de l'arrêt des rejets et incertitude associée

	Court Terme (6 mois - 1 an)	Moyen Terme (1 à 10 ans)	Long Terme (Plus de 10 ans)
<b>PHYSICO CHIMIE</b>			
Salinité	Stabilisation au bout de 7 mois à 32‰ en surface et profondeur et réduction des fluctuations journalières et de la variabilité spatiale (<1‰)	Salinité stabilisée	Salinité stabilisée
Stratification des masses d'eau	Disparition de la stratification haline sur la majeure partie de l'étang au bout de 4 mois et limitée à 4‰ dans la zone d'influence de Caronte	Absence de stratification excepté dans la zone d'influence de caronte	Absence de stratification excepté dans la zone d'influence de caronte
Transparence	Augmentation de la transparence corrélée à la baisse des apports de MES à l'étang mais temporisée par les proliférations algales		
Température	Augmentation mais peu significative	Légère augmentation et accentuation de la variation saisonnière	
Teneurs en azote	Baisse des concentrations corrélée à la baisse des apports	Baisse temporisée par : régénération de la matière organique	
Teneur en phosphore	Baisse si les teneurs des eaux marines sont supérieures à celles du canal	Baisse temporisée par : régénération de la matière organique	
Taux d'oxygène dissous	La destratification au bout de 4 mois conduira à une réoxygénation des zones de plus de 6m	Fonds oxygénés (risque d'anoxie ponctuelle)	Fonds oxygénés (risque d'anoxie ponctuelle)
<b>HYDRODYNAMISME</b>			
Circulation des masses d'eau	Baisse des temps de résidence des masses d'eau en surface		
	Baisse des temps de résidence des masses d'eau profondes (sous réserve de validation de la circulation profonde prédite par le modèle)		
	Modification du schéma de circulation		
<b>COMPARTIMENT BIOLOGIQUE</b>			
Macrofaune benthique	Au bout de 6 mois, apparition sur la bande côtière d'espèces marines et d'eau saumâtre (ex : <i>Venerupis aurea</i> ) avec une incertitude sur le délai de réaction	Colonisations successives avec <i>Capitella capitata</i> dans un premier temps puis réimplantation des espèces de type SVMC dans un délai de 4 à 5 ans	Développement et dynamique des assemblages de type SVMC et SFHN Pas de réelle réhabilitation avant 10 ans
	Colonisation des fonds anciennement azoïques par quelques espèces LEE et SVMC		
Phanérogames	Développement des zostères à partir des peuplements actuels dégradés ( <i>Z. marina</i> et <i>Z. noltii</i> ) avec une incertitude sur le délai de réaction	Extension des herbiers de zostères Freinée par la prolifération des macroalgues (ulves)	Stabilisation des herbiers
	Régression de <i>Potamogeton pectinatus</i>	Subsistance de <i>Potamogeton</i> uniquement à l'embouchure des cours d'eau	
Macroalgues	Prolifération d'ulves entre 0 et 2m et accumulation dans les secteurs confinés	Extension des ulves dans les zones entre 0 et 9m	Fin de la prolifération des ulves après épuration des nutriments (sous réserve d'actions correctives : ramassage des ulves)
Le phytoplancton	Réduction de la biomasse phytoplanctonique corrélée à la réduction des apports de nutriments	Stabilisation de la biomasse	
	Dominance des espèces néritiques de diatomées et de dinoflagellés au bout de 6 mois (cellules de plus grande taille)	Diversification spécifique liée à la stabilisation du biotope et au rééquilibrage de N/P	
	Subsistance du risque d'efflorescences mais plus localisé	Baisse des phénomènes de proliférations	
Phytoplancton toxique	Subsistance d'espèces toxiques	Apparition et prolifération ponctuelle d'espèces toxiques	
Zooplancton	Début de l'installation d'une communauté de type Fos au bout de 7-8 mois (affaiblissement de la population de <i>Acartia tonsa</i> et raréfaction du rotifère <i>Brachionus</i> )	Diversification du zooplancton de type néritique	Stabilisation des populations zooplanctoniques
Faune ichthyologique	Début d'un retour d'espèces migratrices (pour nourriture et non pour reproduction) intolérantes aux fortes fluctuations de salinité	Augmentation des stocks de poissons corrélée à l'amélioration des capacités trophiques et d'accueil de l'étang	Restauration des cycles biologiques des poissons de l'étang (restauration des herbiers)
	Retour d'espèces sédentaires adaptées aux eaux plus salées		
	Diminution du stock d'anguilles		



## 4 Les manques dans la connaissance de l'écosystème de l'étang de Berre

Les pronostics de l'évolution de l'étang de Berre, établis en cas d'arrêt des rejets de la centrale EDF, pourraient être consolidés, complétés et précisés en conduisant de nouvelles études sur les thèmes suivants :

- ✓ La circulation dans l'étang de Thau : mise en évidence de la circulation dans les secteurs profonds de l'étang.
- ✓ La production primaire de l'étang dans le nouveau contexte hydraulique et d'apports. Ce phénomène doit s'appuyer sur une analyse spatiale relativement fine et qui intègre la compétition entre macro-algues et phytoplancton.
- ✓ La dynamique sédimentaire de l'étang : répartition des matériaux apportés par les tributaires et le canal de Caronte, dynamique interne sous l'effet du vent et du clapôt, évolution du trait de côte, etc.
- ✓ Le suivi de l'étang de Berre, en appui aux réflexions précédentes et à la compréhension générale de l'évolution de l'étang après l'arrêt de Saint-Chamas.

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	63

## 5 Bibliographie

### PHASE 1

**ABOUSSOUAN A., GERBAL M.,** 1994. *Faune ichtyologique de l'Etang de Berre : diversité, écologie et exploitation*. Rapp. N°9401, EDF / GIS Posidonie, Marseille : 84 p.

**ARFI R.,** 1991. *Etang de Berre 1990 – Suivi exceptionnel du milieu. Qualité des eaux : hydrologie, matériel particulaire et plancton*. Rapport de convention Agence de l'Eau RMC : 156 p.

**ARNOUX A.** 1997. *Commentaires sur l'évolution récente des sédiments de l'étang de Berre (1994-1996)*.

**ARNOUX A., STORA G., DIANA C.,** 1985. *In situ experimental study of the evolution and recolonization of polluted sediments*. Marine Pollution Bulletin. Vol. 16, n°8, pp. 313 – 318.

**AUGIER H.** 1996. *L'étang de Berre et sa réhabilitation. Bilan, Enjeu et prospective*. J. rech.Océanographique. Vol 21 n°1 et 2 : 1 à 8.

**BEKER B.,** 1986. *Communautés phytoplanctoniques en milieu côtier à salinité variable (étang de Berre, golfe de Fos)*. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille II, 112 p.

**BELLAN G.,** 1972. *Effects of an artificial stream on marine communities*. Mar. Pollut. Bull. 3, pp : 74-77.

**BELLAN-SANTINI D.,LACAZE J.-C., POIZAT C.,** 1994. *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives*. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 246 p.

**BERNARD G., BONHOMME P., VERLAQUE M., CADIOU G., BOUDOURESQUE C-F.,** 2001. *Suivi des principales espèces de macrophytes dans les étangs de Berre et de Vaïne : campagne 2001*. Contrat GIS Posidonies / GIPREB. GIS Posidonie Publ., Marseille, Fr. : pp. 1-56 + annexes 1-3.

**BERTRANDY M-C., FAS C., BECK J-F.,** 1990. *Etang de Berre. Situation actuelle – évolution du milieu*. Rapport Service Maritime 13 : 53 p.

**BONHOMME P., BERNARD G.,** 1998. *Suivi des principales espèces de macrophytes dans les étangs de Berre et de Vaïne : campagne de 1998*. Contrat GIS Posidonie / Mission pour la Reconquête de l'Etang de Berre, GIS Posidonie publ., Marseille : 37 p.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	64

**BOUCET M.**, 2001. *Usages et objectifs de qualité du milieu dans le cadre de la réhabilitation de l'étang de Berre*. Rapport de stage de DESS "Economie et Environnement". Université Aix-Marseille II. 46 p. + annexes.

**BOUCHARD P.**, 1981. *Etude de l'état de pollution des sédiments de l'étang de Berre. 1<sup>ère</sup> partie : la pollution organique*. Thèse du laboratoire d'hydrologie et de Molysmologie Aquatique.

**BRUN L ., BELTRA S.**, 1994. *Etat des lieux et opportunités de conservation et de gestion des zones humides du pourtour de l'Etang de Berre*. Projet MedWet – DIREN PACA – Station Biologique de la Tour du Valat : 222 p.

**CHAUSSERIE-LAPREE J.**, 1988. *Le village gaulois de Martigues*. Dossiers Histoire et Archéologie, 128, juin 1988. 18 p.

**CHEVALLIER M-A.**, 1917. *L'Etang de Berre*. Annales de l'Institut Océanographique de Monaco. Tome VII, pp : 1 – 91.

**COMITE DE BASSIN RHONE MEDITERRANEE CORSE.**, 1993. Expertise des études réalisées en vue de la reconquête de l'étang de Berre. Conseil scientifique du comité de bassin Rhône Méditerranée Corse.

**CONSERVATOIRE DE L'ESPACE LITTORAL ET DES RIVAGES LACUSTRES.** 2001. *Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes. Ouvrage collectif. Les eaux. Tome 1.*

**DERBIER S.**, 1994. *Les effets du plan de reconquête de l'Etang de Berre*. Mémoire de DESS de l'Université Montpellier I. 132 p.

**DRIRE**, 1994. *Etude des pollutions en provenance des zones industrielles du bassin versant de l'étang de Berre*. Rapport de stage de DESS « Prévention des risques et des nuisances technologiques » réalisé par Sylvestre C. et Casassa T.

**FEBVRE J.**, 1968. *Etude bionomique des substrats meubles de l'Etang de Berre*. Rec. Trav. St. Marine d'Endoume 44 : pp. 302 – 352.

**FIANDINO M.**, 2001. *Evaluation des apports sédimentaires en provenance des principaux fleuves vers l'étang de Berre*. Thèse. Synthèse du rapport final. Université de Provence – Safege Cetiis. 11p.

**FRANCOUR P., SOLTAN D.** 1996. *Suivi des principales espèces de macrophytes et du macrobenthos dans les étangs de Berre et de Vaïne : mise en place d'une nouvelle stratégie d'échantillonnage et analyse des premiers résultats*. GIS Posidonie, publ., Marseille : 1-94.

**FRANCOUR P., SOLTAN D.**, 1997. *Suivis des principales espèces de macrophytes dans les étangs de Berre et de Vaïne : campagne de 1997*. Contrat GIS Posidonie / Mission pour la Reconquête de l'Etang de Berre, GIS Posidonie Publ., Marseille : 25 p.

**GARCIA F.**, 2000. *Bilan et intérêt du suivi écologique – Bilan de la Mission pour la Reconquête de l'Etang de Berre de 1994 à 1999*. GIPREB : 44 p.

**GARCIA F.**, 1997. *Mission pour la reconquête de l'étang de Berre. Suivi écologique. Rapport de synthèse de la phase exploratoire 1994-1995-1996*. Propositions des programmes pour le suivi écologique à long terme soumises au comité scientifique du 12 décembre 1997.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	65

**GARCIA F.**, 1997. *Suivi écologique – rapport de synthèse de la phase exploratoire 1994 - 1995 - 1996*. MREB - Service Maritime 13 : 53 p.

**GARLAN T.** 1992. *Evolution de la bathymétrie de l'étang de Berre*. Rapport d'étude N° 891 EPSHOM/CH/GG/NP du 28.08.92

**GATEAU F.** (sous la dir. de), 1996. *L'Etang de Berre, Carte archéologique de la Gaule*, Eds Fondation Maison des Sciences de l'Homme. 379 p.

**GAUDY R.**, 1992. *Biologie de la population du copépode Acartia tonsa dans un milieu semi-clos : l'Etang de Berre*. Annales de l'Institut Océanographique, 68 : pp. 159 - 168.

**GAUDY R., VERRIOPOULOS G., CERVETTO G.**, 1995. *Space and time distribution of zooplankton in a Mediterranean lagoon (Etang de Berre)*. Hydrobiologia 300/301 : pp. 219 - 236.

**GIORGETTI C.**, 1981. *Etude de l'état de la pollution des sédiments de l'étang de Berre. 2ème partie : la pollution inorganique*. Thèse de la faculté de pharmacie de Marseille.

**GIPREB**, 2002. *Etang de Berre. Bilan des connaissances. Etat de santé du milieu*. 189 pages.

**GOSSE P., De VILLELE X., ROYER T.**, 2000. *Evaluations d'apports d'azote et de phosphore dans le bassin versant de l'étang de Berre : résultats de la campagne de mesures mai - novembre 1999*.

**GOURRET P.**, 1907. *Topographie zoologique des étangs de Caronte, de Labillon, de Berre et de Bolmon. Flore, Faune, Migrations, etc.* Annales du Museum d'Histoire Naturelle de Marseille, 11 pp : 1 - 166.

**HUVE H., KIENER A., RIOUALL R.**, 1973. *Modifications de la flore et des populations ichtyologiques des étangs de Berre et de Vaïne (Bouches-du-Rhône) en fonction des conditions hydrologiques créées par le déversement de la Durance*. Bulletin du Museum d'Histoire Naturelle, 33, pp : 123 - 134.

**IFREMER**, Centre d'Océanologie de Marseille, Laboratoire d'Hydrologie. Juillet 1985. *Etude Régionale Intégrée. Etang de Berre. Etude des apports limniques (Canaux et Rivières)*.

**IARE (Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement)**, 1996. *Qualité biologique de l'étang de Bolmon*. Document de travail. Conservatoire du Littoral / Agence de l'Eau RMC / ARPE. 38p.

**IMBERT G., KERAMBRUN P, DEGIOVANNI**, 1999. *Hydrodynamisme et sédimentation liés à des rejets anthropiques dans un bassin littoral méditerranéen*. Earth and planetary sciences. 329, 205-209.

**JÉROME C.**, 1984. *Evolution récente des sédiments de l'étang de Berre*. Thèse de l'Université de Aix Marseille II.

**JORDA M.**, 1993. *Détritisme holocène et anthropisation dans la région de l'Etang de Berre. Interprétation morphosédimentaire de la carotte E3-DRASM*, in « Archéologie et Environnements : de la Sainte Victoire aux Alpilles. Publ. Univ. de Provence. pp. 407-417.

**KABOUCHE B., MAGNIN F.**, 1998. *Inventaire et distribution des gastéropodes terrestres et aquatiques sur le pourtour de l'étang de Bolmon, résumé in Site du Bolmon : rapport d'activité année 1998*. Document 3/3 Annexes 1998. SIBOJAI.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	66

**LAVAL H., MEDUS J. et ROUX M. R., 1991.** *Palynological and sedimentological records of holocene human impact from the Etang de Berre, SE France.* The Holocene, 1, 3. pp. 269-272.

**LEROY V., 2001.** *Traceurs palynologiques des flux biogéniques et des conditions hydrographiques en milieu marin côtier : exemple de l'étang de Berre.* DEA de l'Université Aix-Marseille III. 30 p.

**LEVEAU Ph. et PROVANSAL M., 1991,** *Construction deltaïque et histoire des systèmes agricoles, le cas d'un petit delta : l'Arc, Etang de Berre.* Revue Archéologique de la Narbonnaise. 90 p.

**LHMA. 1998.** *Sédiments.* Mission pour la reconquête de l'étang de Berre.

**MARS P., 1949.** *Contribution à l'étude biologique des étangs méditerranéens. Faune malacologique de l'Etang de Berre.* Bulletin du Museum d'Histoire Naturelle de Marseille. Tome IX, n° 2, pp : 65 - 116.

**MARS P., 1966.** *Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques.* Vie Milieu supp., 20 : 1-359.

**MINAS M., 1970.** *Résultats d'observations hydrologiques sur l'étang de Berre (années 1965, 1966 et 1967). Modification du régime hydrologique par suite du déversement des eaux apportées par le canal de dérivation de la Durance.* Cahiers Océanographiques, XXII, 1. pp. 73-88.

**MINAS M., 1973.** *Sur la synthèse et la dégradation de la matière organique dans l'écosystème de l'étang de Berre – Dynamique et bilan – Rapports avec le régime hydrologique – Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille : 339p*

**MINAS M., 1976 a.** *Production organique primaire dans un milieu saumâtre eutrophe (Etang de Berre). Effets d'une forte dilution (dérivation des eaux de la Durance).* Marine Biology, 35. pp. 13-29.

**MINAS M., 1976 b.** *Oxygène dissous et saturation dans un milieu de forte production organique (Etang de Berre).* Hydrobiologia, vol. 51, 2. pp. 149-162.

**MISE, 2000.** *Etang de Berre et son bassin versant. Objectifs de réduction des flux de substances polluantes.* Préfecture des Bouches du Rhône. DDAF Marseille. Version n° 4 du 30 septembre 2000.

**MORIN J.P. 1997.** *Etude de l'érosion du littoral de la commune de Berre l'Etang.* Cellule Etudes et Travaux du Service Maritime des Bouches du Rhône. Rapport de DESS de Géosciences appliquées de l'Université de Bordeaux I.

**MOSSE R-A., 1984.** *Etude cartographique et quantitative des peuplements à Pomatogeton pectinatus dans l'Etang de Berre.* Rapport IFREMER / Lab. Biol. Ecol. Benthos, Fac. Sci. Luminy, 31 p.

**NÉRINI D., 2000.** *Analyse statistique de processus physiques et chimiques en océanologie côtière à l'aide d'une méthode de régression et de classification par arbre décisionnel. Application à l'étude d'un milieu fortement perturbé : l'étang de Berre.* Thèse de l'Université de la Méditerranée, 98pp.

**PROVANSAL M., 1993,** *Les sédiments holocènes de l'Etang de Berre, témoins de la morphogénèse récente des paysages.* In LEVEAU Ph. et PROVANSAL M. (dir), *Archéologie et Environnement : de la Sainte-Victoire aux Alpilles*, publ. Univ. De Provence, pp :417-424.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	67

**PROVANSAL M.**, 1995, *Holocene sedimentary sequences in the Arc River delta and the Etang de Berre in Provence (southern France)*, in LEWIN J., MACKLIN M.J. and WOODWARD J.C., (eds) *Mediterranean Quaternary Rivers Environments*, pp :159-165.

**PROVANSAL M., MORHANGE C.**, 1996, *Seuils climatiques et réponses morphogéniques en basse Provence depuis 5000 ans*, *Quaternaire*, 5, 3-4, pp :113-118.

**RICO-RAIMONDINO V., FRANCOUR P.**, 1995. *Cartographie des peuplements de macrophytes benthiques (algues et phanérogames) dans les étangs de Berre et de Vaïne (Bouches-du-Rhône)*. Contrat GIS Posidonies / Mission pour la Reconquête de l'Etang de Berre / Service Maritime 13, GIS Posidonie Publ., : 69 p.

**ROMANA L.A.** (coord.), 1985. *Etude Régionale Intégrée. Etang de Berre. Bilan des connaissances écologiques*. IFREMER.

**ROMANA L.A.** (coord.), 1985. *Etude Régionale Intégrée. Etang de Berre. Etat de la pollution*. IFREMER.

**ROUX R.M.** 1983. *Les apports liquides et solides du canal EDF de Saint Chamas dans l'étang de Berre*. Centre d'Océanologie de Marseille. Contrat N° 82/6990

**ROUX, M. R.**, 1991. *Les sédiments holocènes de l'Etang de Berre, témoins de la pression anthropique holocène ?*. Méditerranée, 1991. 4. pp. 3-14.

**SAMIER R., GALLAND J.C.** 1998. *Etang de Berre. Modélisation numérique tridimensionnelle des champs de courants et de salinité*. Direction des Etudes et Recherches.

**SEMROUD S., PERGENT G., BERTRANDY M-C.**, 1990. *Cartographie des peuplements de macrophytes benthiques (algues et phanérogames) dans les étangs de Berre et de Vaïne (Bouches-du-Rhône) : Cartographie des phanérogames*. Contrat Agence de l'Eau / GIS Posidonie / Service Maritime 13 : 52 p.

**SOURNIA A., BELIN C., BERLAND B., ERARD-LE DENN E., GENTIEN P. GRZEBYK D., MARCAILLOU-LE BAUT, P. LASSUS et F. PARTENSKY.** 1991. *Le phytoplancton nuisible des côtes de France, de la biologie à la prévention*. Rapport Ifremer et CNRS.

**SPPPI, ECOPOL**, 1979. *Etude écologique de l'étang de Bolmon*. 2 fascicules.

**STORA G.**, 1982. *Recherche de Bionomie descriptive et expérimentale (in vivo et in vitro) dans quelques biotopes littoraux soumis à des variations naturelles ou artificielles des conditions du milieu (notamment dans l'étang de Berre et le golfe de Fos)*. Thèse Doc. ès Sciences, Université d'Aix Marseille II, 227 pp. + annexes 203 pp.

**STORA G., ARNOUX A.**, 1988. *Effects on Mediterranean lagoon macrobenthos of a river diversion: assessment and analytical review*. In *Natural and Man-Made Hazards*, (El-Sabh and Murphy, eds). Reidel Publishing Company XXX, pp: 525-546.

**STORA G., ARNOUX A., GALAS G.**, 1995. *Time and spatial dynamics of a Mediterranean lagoon macrobenthos during and exceptionally prolonged interruption of freshwater inputs*. *Hydrobiologia*, 300/301, pp : 123-132.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	68

**STORA G., GALLAS M.,** 1990. *Etang de Berre : suivi exceptionnel du milieu. Les peuplements macrobenthiques (juin-décembre 1990)*. COM, Station Marine d'Endoume : 9 p. + figures

**STORA G., GARCIA F., GILBERT F., NERINI D., RE C.,** 2001. *Dynamique des peuplements macrobenthiques de la partie centrale et de la bordure côtière de l'Etang de Berre, octobre 2000 – mars 2001*. MPREB : 13 p.

**STORA G., GARCIA F., GILBERT F., NERINI D., RE C.,** 1999. *Dynamique des peuplements macrobenthiques de la partie centrale et de la bordure côtière de l'Etang de Berre, janvier 98 – décembre 98*. MPREB : 13 p.

**STORA G., GARCIA F., GILBERT F., NERINI D., RE C.,** 1998. *Dynamique des peuplements macrobenthiques de la partie centrale et de la bordure côtière de l'Etang de Berre, janvier 97 – décembre 97*. MPREB : 16 p.

**STORA G., GARCIA F., GILBERT F., NERINI D., RE C.,** 1997. *Dynamique des peuplements macrobenthiques de la partie centrale et de la bordure côtière de l'Etang de Berre, mai 84 – décembre 96*. MPREB : 24 p.

**VOISIN P.,** 2002. *Facteurs de contrôle des populations phytoplanctoniques dans l'Etang de Berre de 1994 à 1998*. Rapport de stage de Maîtrise Sciences de l'Environnement. GIPREB, COM. 26 p.

## **PHASE 2 (ouvrages supplémentaires, cités en phase 2)**

**APOGEE.** Etang de Thau. 2003. *Méthodologie d'évaluation des rejets. Exemple de la Crique de l'Angle*. Etang de Thau. Etude SAFEGE CETIIS. Département Environnement

**CONSERVATOIRE DE L'ESPACE LITTORAL ET DES RIVAGES LACUSTRES.** 2001. *Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes. Ouvrage collectif. Les espèces. Tome 2.*

**CUGIER P.,** 1999. *Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et les sédiments des éléments majeurs (N, P, Si) rejetés par la Seine en baie de Seine*. Thèses doctorat Univ. Caen, 250 p.

**FIANDINO M.** 2001. *Evaluation des apports sédimentaires en provenance des principaux fleuves vers l'étang de Berre*. Thèse de l'université de Provence – Safege Cetiis.

**FRONTIER S., PICHOD-VIALE D.,** 1999. *Ecosystèmes. Structures. Fonctionnement. Evolution*. 2<sup>ème</sup> édition. DUNOD éditeur. 447 pp.

**GILBERT F., STORA G., BONIN P.** 1998. *Influence of bioturbation on nitrification activity in Mediterranean coastal sediments : an in situ experimental approach*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 163. 99-107.

**IFREMER,** Centre d'Océanologie de Marseille, Laboratoire d'Hydrologie. Juillet 1985. *Etude Régionale Intégrée*. Golfe de Fos. Bilan des connaissances écologiques.

**LE CORRE G., GARCIA F.** 1989. *Les ressources halieuthiques de l'étang de Berre*. Rapport interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER.

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	69

**MERCERON M.** 1999. Marées vertes en Bretagne. Etat actuel des connaissances. Actes de colloques. Pollution diffuse : du bassin versant au littoral. Ploufragan. 23-24 septembre 1999.

**RESEAU DE BASSIN RHÔNE MEDITERRANEE CORSE.** Site Internet. Données sur les stations d'épurations. Données SEQ : qualité des eaux superficielles des cours d'eau.

**SAUNIER B.** Mars 1993. Mesure de l'impact et hiérarchisation des sources de contamination microbiologique en zone littorale. Présentation au 72<sup>ème</sup> congrès de l'AGHTM en Martinique. SAFEGE. Saunier Eau et Environnement.

**SEPIA Conseils.** Mars 1993. Etude bibliographique des germes témoins de la contamination bactériologique et de son devenir en milieu marin, en vue d'une exploitation statistique.

**SERVICES MARITIMES 13.** 2000. Etang de Berre et son bassin versant. Objectifs de réduction des substances polluantes. Etude Safege Cetiis.

**YAMAMOTO T., Seike T.** 2003. Modelling the population dynamics of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in Hiroshima bay, Japan. II. Sensitivity to physical and biological parameters. *J. Plankton Res.* 25 (1). 63-81

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	70



## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Evolutions temporelles de la quantité de traceurs passifs dans l'étang, comparaison des 3 simulations. ....	8
Figure 2. Localisation des principaux rejets.....	13
Figure 3. Les peuplements macrobenthiques de l'étang de Berre en 1998.....	31
Figure 4. Successions phytoplanctoniques le long d'un gradient de concentration en nutriments et d'un gradient de turbulence (d'après Margalef, 1979).....	37
Figure 5. Evolution de l'écosystème après arrêt des rejets .....	47
Figure 6. Evolution possible à court terme après arrêt des rejets .....	58
Figure 7. Mécanismes d'évolution de la qualité des eaux et du sédiment à court terme.....	59
Figure 8. Evolution possible à moyen terme et caractéristiques de l'état stabilisé .....	60

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Durée nécessaire (en jours) à un abaissement de 50% des teneurs initiales en traceur. Deux valeurs sont proposées quand les teneurs présentent une évolution non strictement décroissante, la première valeur correspond au temps nécessaire pour obtenir une première valeur inférieure à 50 % des teneurs initiales et la seconde valeur correspond au temps nécessaire pour ne plus obtenir de valeurs qui dépassent le seuil de 50%. ....	9
Tableau 2. Evolution de la population des communes du pourtour de l'étang.....	14
Tableau 3. Ratios de calcul des flux entrants à traiter .....	15
Tableau 4. Réglementation sur les flux sortants.....	15
Tableau 5. Réglementation sur les flux de phosphore et d'azote dans les zones sensibles .....	16
Tableau 6. Récapitulatif des caractéristiques des stations d'épuration .....	17
Tableau 7. Rejets urbains en 1999, 2000, 2010 et 2015.....	18
Tableau 8. Rejets urbains actuels et futurs (kg/j) .....	19
Tableau 9. Récapitulatif des rejets à l'étang de 2000 à 2015(kg/j) .....	21
Tableau 10. Impacts de la prolifération de macroalgues .....	33
Tableau 11. Ratios N/P dans des apports des tributaires et du canal EDF .....	36
Tableau 12. Analyse de corrélation entre les facteurs environnementaux et le zooplancton de l'étang.....	41

Date	Nature de l'émission	Rédaction	Contrôle interne	Référence	Page
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	71

---

Tableau 13. Quelques caractéristiques des espèces fréquentant l'étang.....	44
Tableau 14. Eléments du suivi de la restauration de l'étang de Berre .....	55
Tableau 15. Niveau d'incertitude et code couleur associé.....	61
Tableau 16. Effets de l'arrêt des rejets et incertitude associée.....	62

<i>Date</i>	<i>Nature de l'émission</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Contrôle interne</i>	<i>Référence</i>	<i>Page</i>
02/04/08	Rapport provisoire Phase 2	KE/MC/OR		M 901	72