SUIVI PHYSIQUE ET ECOLOGIQUE DE L'ETANG DE BERRE

BILAN DE SYNTHESE

RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION
DES NOUVELLES MODALITES D'EXPLOITATION
DES CENTRALES DE SALON ET ST CHAMAS

nov. 2009

Dans le cadre du Décret d'Avenant à la concession d'exploitation de la chute Salon-Saint Chamas du 08/12/2006 et du Règlement d'eau associé du 28/12/2006

SOMMAIRE

PREAMBULE **4**

1 BILAN DES APPORTS **5**

1.1 APPORTS LIQUIDES 5
1.2 BILANS HYDRIQUES 8
1.3 APPORTS SOLIDES 12
1.4 APPORTS EXCEPTIONNELS 14
1.4.1 Production d'énergie pour la sûreté du réseau électrique 14
1.4.2 Chantiers sur les seuils 67 et 68 en Durance 15
1.5 ETATS REGLEMENTAIRES - EAU ET LIMONS 18
1.6 GESTION DES QUOTAS EAU ET LIMONS POUR L'EXPLOITANT 28
1.7 CONTROLE DE LA QUALITE DE L'EAU DU CANAL DE LA DURANCE 32
1.7.1 Substances eutrophisantes 32
1.7.2 Substances dangereuses 39
1.8 CONCLUSION SUR LES APPORTS D'EAU DOUCE ET DE LIMONS 43

2 INDICATEUR SALINITE **45**

2.1 EVOLUTION DES INDICATEURS DE SALINITE REGLEMENTAIRES 45
2.2 ANALYSE DE L'EVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA SALINITE DE L'ETANG DE BERRE 58
2.2.1 Vue à l'échelle annuelle de la salinité en fonction de la profondeur 59
2.2.2 Mesures en continu et suivi mensuel de la salinité 63
2.3 CONCLUSION SUR L'ANALYSE DE LA SALINITE 70

3 OXYGENE DISSOUS **72**

3.1 PROFILS MENSUELS 72
3.2 MESURES EN CONTINU 77
3.3 CONCLUSION SUR L'OXYGENE DISSOUS 83

4 HERBIERS DE ZOSTERES **84**

4.1 AXE 1 - SURFACE COUVERTE PAR LES HERBIERS 84
4.1.1 Apparition de nouvelles taches d'herbier 84
4.1.2 Evolution de la surface couverte sur deux sites témoins 86
4.1.3 Evolution de la surface couverte pour l'ensemble de l'étang 93
4.2 AXE 2 - CAPACITE DES HERBIERS EN PLACE A S'ETENDRE 93
4.2.1 Suivi de la croissance sur deux sites témoins 93
4.2.2 Suivi de la vitalité des herbiers sur deux sites témoins 94
4.2.3 Suivi de la reproduction 97
4.3 AXE 3 - CAPACITE DU MILIEU A PERMETTRE LE DEVELOPPEMENT DES HERBIERS 98
4.3.1 Salinité 98
4.3.2 Lumière disponible 98
4.3.3 Sédimentation et qualité du sédiment 102
4.3.4 Transplantation expérimentale de Zostera 102
4.4 CONCLUSION SUR LES HERBIERS DE ZOSTERA 105

5 POPULATIONS DE MOULES **106**

5.1 AXE 4 - EXTENSION ET QUALITE DES MOULIERES 106
5.1.1 Extension des moulières existantes pour l'ensemble de l'étang 106
5.1.2 Extension et Qualité des populations sur quatre sites témoins 107
5.2 AXE 5 - CAPACITE DES POPULATIONS EN PLACE A S'ETENDRE ET A SE REPRODUIRE 121
5.2.1 Viabilité des géniteurs 121
5.2.2 Captage de naissains sur les sites témoins 124
5.2.3 Réponse des individus aux variations des conditions du milieu 126
5.2.4 Compétition avec Musculista senhousia 127
5.3 AXE 6 - CAPACITE DU MILIEU A PERMETTRE LE DEVELOPPEMENT DES MOULIERES 130
5.3.1 Salinité 130
5.3.2 Oxygénation des eaux 130

5.3.3 Sédimentation et qualité du sédiment *131*
5.3.4 Niveau trophique *132*
5.3.5 Bioaccumulation de contaminants *134*
5.4 CONCLUSION SUR LES POPULATIONS DE MOULES 136
6 MACROFAUNE BENTHIQUE 138
6.1 AXE 7 - REPARTITION DES PEUPLEMENTS DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE 138
6.2 CONCLUSION SUR LA MACROFAUNE BENTHIQUE 154
7 SUIVI ICHTYOLOGIQUE 155
7.1 INVENTAIRE ICHTYOLOGIQUE 155
7.1.1 Méthodologie *155*
7.1.2 Captures *156*
7.1.3 Approche fonctionnelle *163*
7.1.4 Analyses pathologiques *166*
7.2 SUIVI DES PECHERIES 169
7.3 CONCLUSION SUR L'INVENTAIRE ICHTYOLOGIQUE 177
8 CONCLUSIONS 179

PREAMBULE

Ce rapport, co-écrit par le GIPREB et EDF, vise à présenter les résultats de l'expérimentation des nouvelles modalités d'exploitation (lissage) des centrales hydroélectriques de Salon et St Chamas définies dans le décret d'avenant à la concession de décembre 2006. Les dispositions de ce décret ont été anticipées par EDF et appliquées à partir de septembre 2005.

Le rapport regroupe les résultats des 4 années d'expérimentation, complète et synthétise les précédents bilans semestriels transmis depuis juin 2007 (rapports : « Suivi physique et écologique de l'Etang de Berre» de juin 2007, déc. 2007, mars 2008, mai 2008, nov. 2008, mai 2009).

Dans le détail, les données fournies concernent :

- les données du suivi physique (eau, limons, salinité) pour la période allant de novembre 2005 à octobre 2009 permettant de dresser le bilan des 4 exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009

- les résultats des analyses de qualité d'eau en substances dangereuses et substances eutrophisantes du canal EDF effectuées pendant ces 4 années

- les résultats du suivi des herbiers de zostères sur les 4 années de 2006 à 2009

- les résultats du suivi des populations de moules sur les 4 années de 2006 à 2009

- les résultats du suivi de la macrofaune benthique de décembre 2005 à octobre 2009

- les résultats des inventaires ichtyologiques sur la première année de suivi de juin 2008 à juin 2009

- les premiers résultats disponibles sur le suivi des pêcheries (étude en cours)

1 BILAN DES APPORTS

La première partie de ce document de synthèse est consacrée au bilan des apports d'eau et de limons à l'étang de Berre.
Les décomptes des apports sont réalisés annuellement du 1er novembre au 31 octobre de l'année suivante. Cette synthèse reprend le bilan des 4 années d'expérimentation, soit des exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008, et 2008/2009. Des bilans hydrologiques annuels de l'étang sur cette période sont également présentés.

1.1 Apports liquides

La figure 1 présente le bilan des apports liquides au pas hebdomadaire et à l'échelle annuelle sur les quatre exercices 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009.

Les 3 premières années ont été globalement marquées par des conditions hydro-météorologiques sèches, alors que la quatrième année 2008/2009 a été caractérisé par une hydrologie nettement plus élevée, avec notamment sur la période hivernale un stock de neige et des précipitations sur le bassin de la Durance supérieurs à la normale.
La variabilité des "années hydrologiques" est importante. Les turbinages sur les usines de Salon et St Chamas et donc les apports en eau à l'étang de Berre résultent de la gestion de la chaîne hydroélectrique Durance-Verdon elle même encadrée par plusieurs critères, et fonction de la disponibilité de la ressource en eau (enneigement et précipitations sur le bassin versant) : l'objectif de remplissage des lacs de tête (Serre Ponçon, Ste Croix), les prélèvements d'eau, et les contraintes liées à la turbidité de l'eau pour la gestion du quota en limons apportés à l'étang. La distribution sur l'année dans le cadre de la régulation hebdomadaire des rejets est fonction des besoins en énergie et des prix de marchés de l'électricité.

La Figure 2 présente les débits naturels reconstitués à Cadarache (*i.e*. débits naturels en l'absence des aménagements et des prélèvements d'eau sur la Durance et le Verdon) sur les quatre exercices annuels par rapport à la normale constituée par les séries hydrologiques de 41 années (moyenne interannuelle 1964-2005).

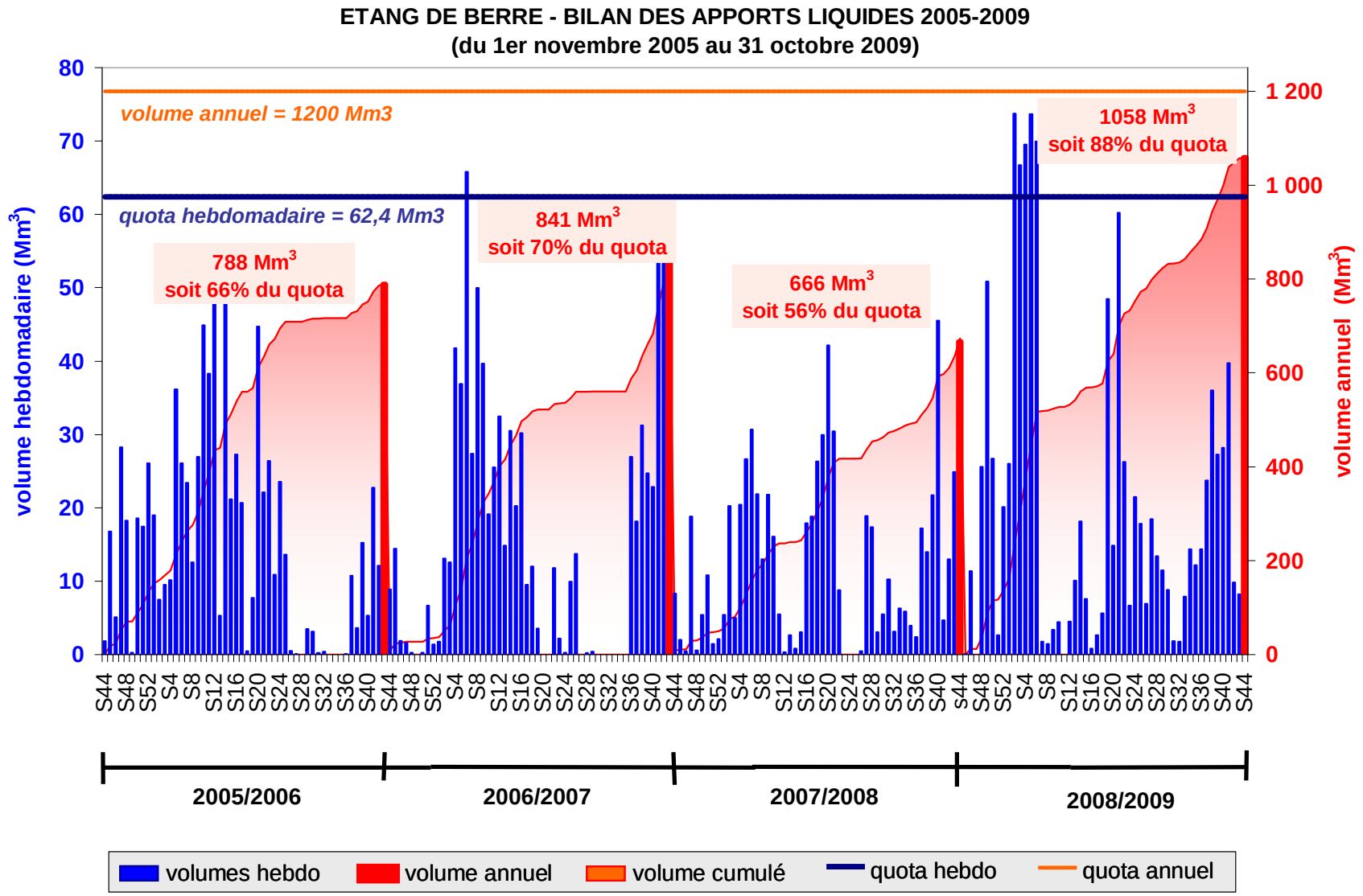


Figure 1. Bilan des apports liquides de novembre 2005 à fin octobre 2009

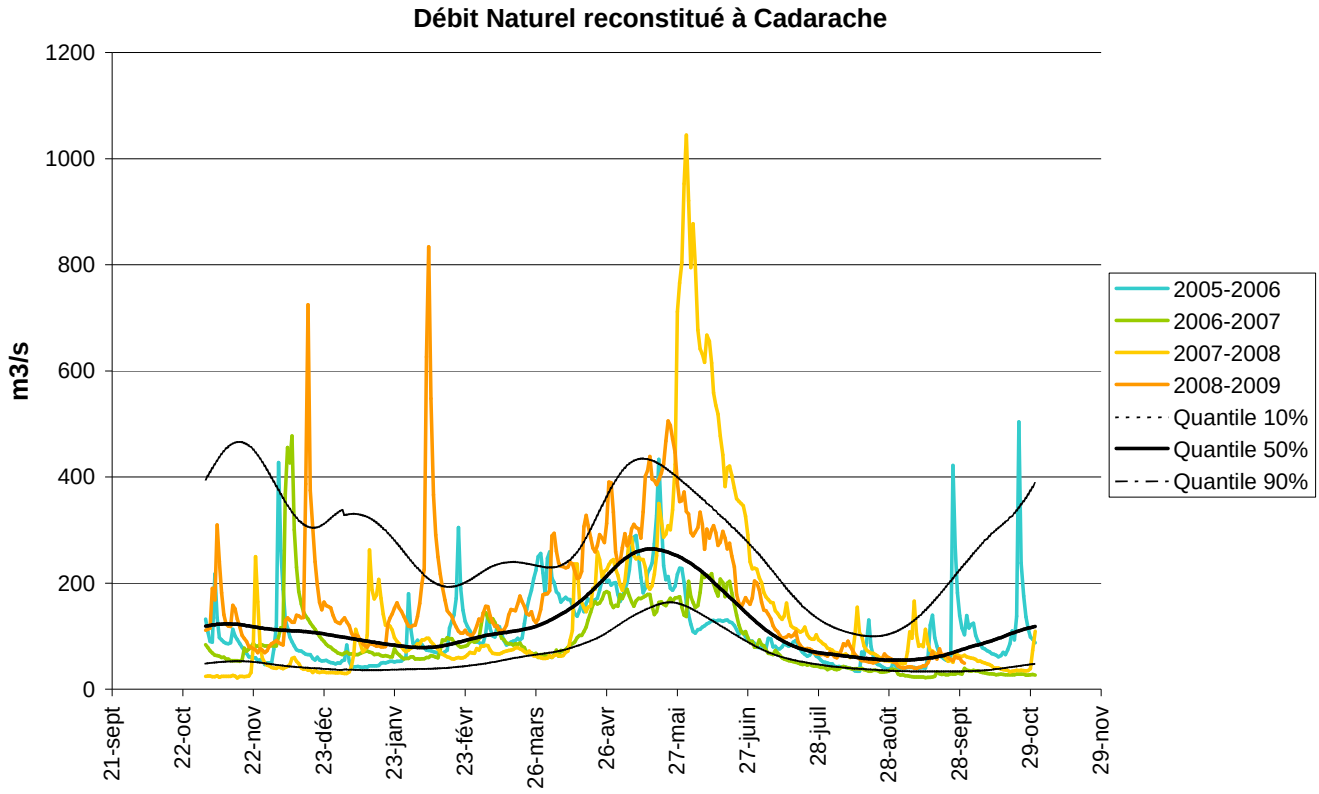


Figure 2. Débits naturels reconstitués à Cadarache pour les exercices annuels 2005/2006 à 2008/2009 en rapport à la normale (moyenne interannuelle 1964-2005).

Sur les exercices 2005/2006 et 2006/2007, la sécheresse a été globalement manifeste tout au long de l'année avec des débits naturels la plupart du temps inférieurs à la normale et proches du quantile 10%. Les débits naturels reconstitués importants sont globalement écrêtés par les aménagements (*i.e.* stockage dans les retenues) et génèrent en partie dans certains cas (débits supérieurs à la capacité des aménagements hydroélectriques) des débits de crues qui sont déversés en Durance aux niveaux des barrages (*e.g.* barrage de Cadarache).

Sur l'exercice 2007/2008 :

- la première moitié de l'année a été particulièrement sèche
- dans la seconde moitié, avec un contexte plus "humide" (débits naturels reconstitués supérieurs à la normale, avec en particulier les débits exceptionnellement élevés du printemps 2008) les apports en eau ont été restreints par la turbidité des eaux ; le quota maximal en limons ayant été atteint (cf. §1.3) pour un apport en eau représentant 56% du quota annuel autorisé.

Sur l'exercice 2008/2009, avec une hydraulicité plus élevée :

- la gestion des débits à l'étang de Berre a été marquée par un cumul de turbinages important pendant 5 semaines (couvrant les semaines 1 à 6) en lien avec des travaux consécutifs à la rupture du seuil 68 en Durance (cf. §1.4). Cette situation a conduit conformément au règlement d'eau à imputer au titre des rejets exceptionnels la fraction dépassant le quota hebdomadaire sur chaque semaine du chantier.
- les apports en eau douce à l'étang ont été marqués, en plus des volumes turbinés, par des apports naturels directs à l'étang conséquents liés aux précipitations locales (cf. §1.2).

Sur l'ensemble de la période, la contrainte en terme de quota hebdomadaire (hors rejets exceptionnels) a été respectée (nous rappelons qu'un dépassement du quota hebdomadaire 4 fois dans l'année est autorisé dès lors que l'on ne dépasse pas 82 Mm^3).

1.2 Bilans hydriques

Des bilans des flux hydriques à l'étang de Berre sont établis à partir des données de turbinage, de données hydrologiques et météorologiques, et des mesures de courant réalisées depuis septembre 2006 dans le canal de Caronte (Figure 3). Les flux entrants dans l'étang sont positifs, les flux sortants sont négatifs.
Le détail sur l'obtention des termes du bilan est le suivant :

- les volumes d'eau douce apportés par les turbinages sont des données EDF

- les précipitations sont des données journalières Météo-France ou du dispositif de mesures du suivi physique

- l'apport des rivières (Arc, Touloubre et Cadière) est issu des données de débits moyens journaliers de la Banque Hydro (*http://www.hydro.eaufrance.fr*)

  Nota : les données de débits de la Touloubre sont indisponibles sur la période du 02 fév. au 10. avril 2009. Le bilan hydrique sur l'exercice 2008/2009 n'intègre donc pas ces apports.

- les flux d'échanges nets d'eau au niveau du chenal de Caronte sont calculés à partir des mesures de courant réalisées dans le chenal.
  Dans le chenal de Caronte, les courants (entrants ou sortants) sont mesurés sur 17 niveaux de 1.5 à 9.5 m de profondeur au pas 50 cm.

Le débit total dans le canal de Caronte est tout d'abord calculé en sommant tous les débits des couches de 50 cm. Il faut noter que le courantomètre possède deux zones d'ombre pour lesquelles le débit ne peut être calculé : le premier mètre proche de la surface et le premier mètre proche du fond. Pour prendre en compte malgré tout ces deux couches dans le calcul du débit total, nous avons supposé que leur débit était égal à celui de leur couche directement voisine.

Nota 1 : Sur l'exercice 2007/2008, le courantomètre du chenal de Caronte n'a pas fonctionné du 9 au 31 octobre 2008. Pour ce mois d'octobre, les flux nets d'eau sont calculés à partir des débits disponibles sur les 8 premiers jours du mois d'octobre. Néanmoins, cette extrapolation sur une durée relativement importante introduit un biais dans le bilan 2007/2008, du fait des conditions de turbinage, de vent, *etc* rapidement variables dans l'étang.

Nota 2 : Sur l'exercice 2008/2009, le courantomètre du chenal de Caronte n'a pas fonctionné du 1er au 4 novembre 2008. Pour ces 4 jours, les flux nets d'eau sont calculés à partir des débits disponibles sur les 4 jours suivants (du 5 au 8 nov. 2008) qui correspondent à des conditions de turbinage quasi-nuls équivalentes.

- le flux des autres sorties d'eau incluant notamment l'évaporation est déduit des autres flux et corrigé de la variation de hauteur d'eau sur la période du bilan (Volume des autres sorties dont évaporation = Somme des volumes entrants - volume sortant net (échanges nets Caronte) - volume correspondant à la variation de hauteur d'eau).

La figure 3 présente les bilans hydriques annuels établis pour les exercices 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009.

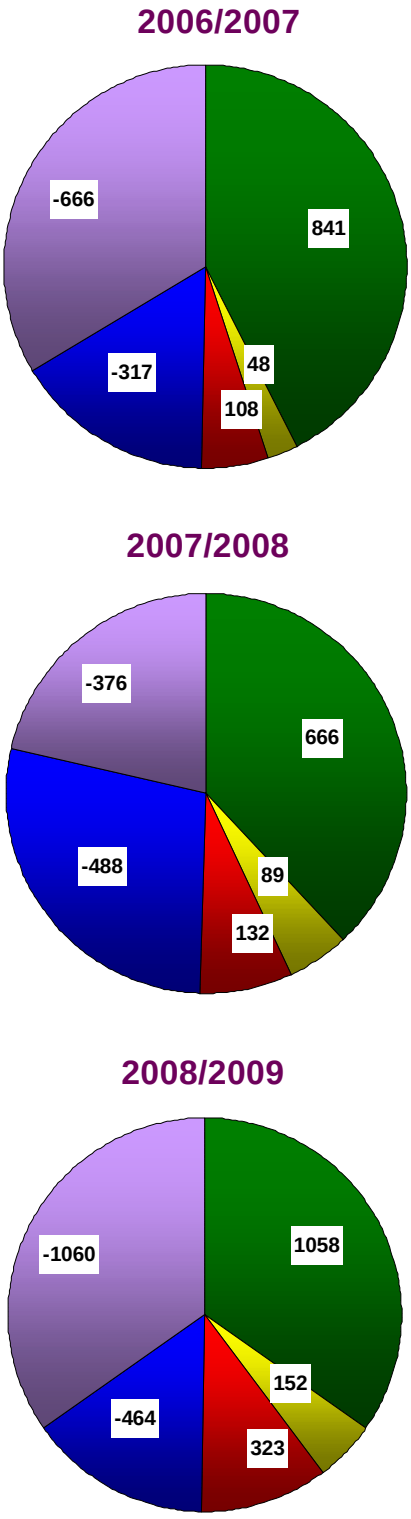


Figure 3. Bilans hydriques pour l'étang de Berre sur les exercices annuels 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009.

Ces bilans hydriques montrent les flux principaux : flux sortant net d'eau (les échanges importants au niveau de Caronte sont une caractéristique forte de l'étang de Berre), et apports d'eau douce sous l'action du turbinage.

En outre des sorties d'eau saumâtre par le chenal de Caronte, les autres flux sortants à l'étang ne sont pas négligeables. L'évaporation doit être le flux principal de cette catégorie ; des sorties d'eau saumâtre au niveau du canal peu profond de « Baussengue » au nord du chenal principal de Caronte sont également à noter. Il n'est pas exclu que d'autres sorties d'eau du système existent (*e.g.* infiltrations, système karstique…). Déduit des autres flux, ils sont aussi influencés par les incertitudes sur les autres mesures. Par ailleurs, les apports diffus n'ont pas été évalués et ne sont pas intégrés aux flux entrants.

On peut noter l'hydrologie plus élevée (turbinages, apports naturels) sur l'année 2008/2009 par rapport aux deux années précédentes.

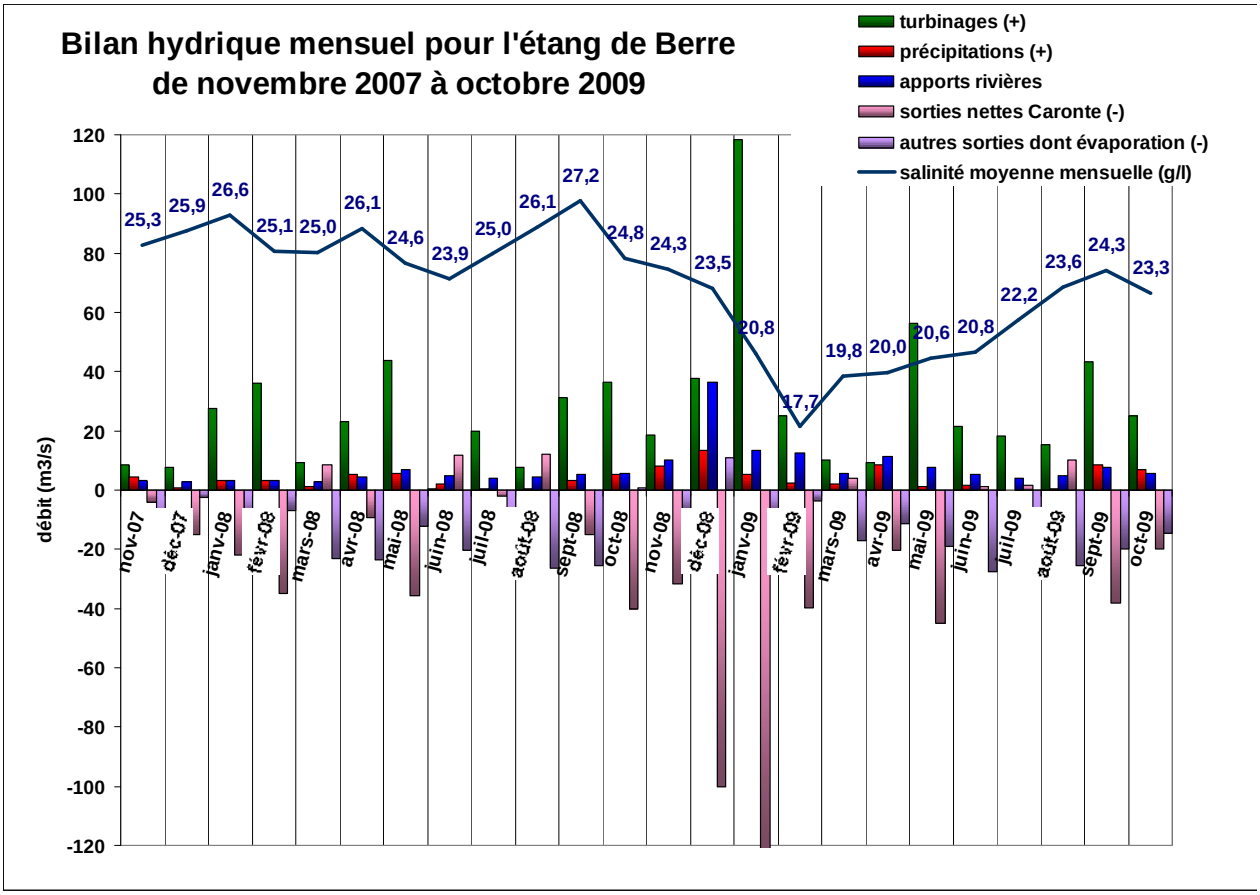


Figure 4. Bilan hydrique mensuel pour l'étang de Berre sur la période novembre 2007-octobre 2009.

La figure 4 représente l'évolution de la salinité moyenne de l'étang (calculée à partir de la station SA3-4m globalement représentative de la moyenne des stations) et la variation des différents flux nets entrants/sortants à l'échelle mensuelle sur la période novembre 2007 - octobre 2009. La salinité moyenne dans l'étang est de l'ordre de 25-26 g/l à l'automne 2007. Elle s'est globalement maintenue dans la même gamme de valeurs tout au long de l'exercice 2007-2008, variant entre 24 et 27 g/l. La salinité moyenne diminue globalement sur le 1er semestre de l'exercice 2008/2009, notamment à partir de décembre en lien avec des apports naturels directs conséquents (précipitations et apport des rivières) combinés aux turbinages et en janvier-février suite aux forts turbinages liés à l'épisode de travaux sur le seuil 68 en Durance (cf. §1.4). La réduction des turbinages en mars-avril a permis la ressalure de l'étang. La salinité moyenne est de l'ordre de 23.5 g/l à fin oct. 2009.

A noter : on retrouve à l'échelle mensuelle des flux d'évaporation (oct. et déc. 2008) qui apparaissent comme positifs, traduisant probablement la lacune des apports diffus au bilan, s'agissant de 2 mois à fortes précipitations.

1.3 Apports solides

La figure 5 présente le bilan des apports de limons de novembre 2005 à fin octobre 2009.
Le quota annuel a été formellement respecté, sur les 4 années de l'expérimentation.
Sur l'exercice annuel 2007/2008, les apports solides à l'étang de Berre ont atteint un tonnage légèrement supérieur au quota annuel (63 816 tonnes). Ce dépassement est du à des « rejets exceptionnels », essentiellement liés aux travaux du seuil 68 (cf. §1.4) et comptabilisés hors quota.

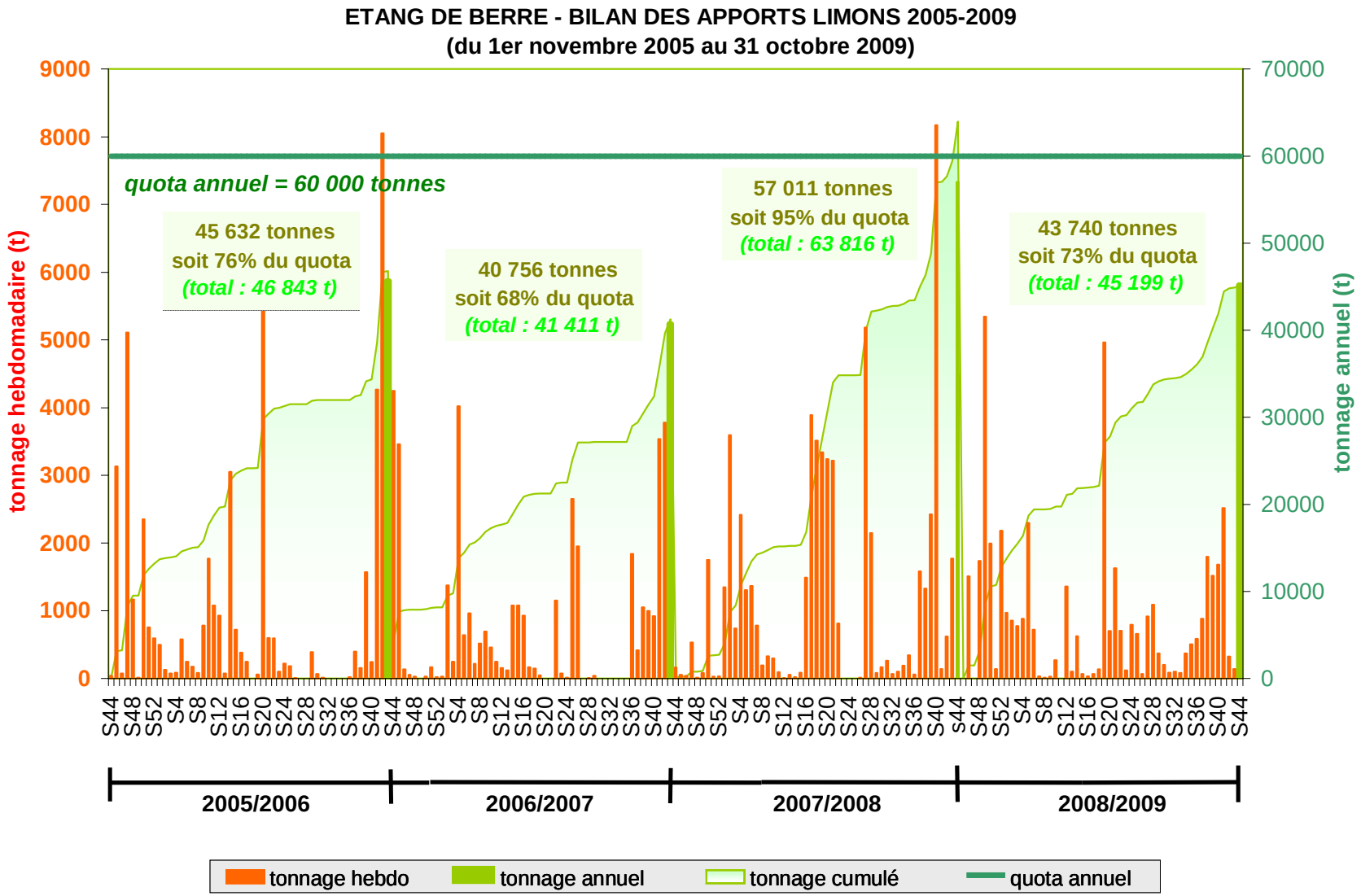


Figure 5. Bilan des apports de limons sur les 4 exercices annuels, de novembre 2005 à fin octobre 2009.

1.4 Apports exceptionnels

Selon l'article 2 du décret d'avenant à la concession de Salon-St Chamas du 8 décembre 2006, les rejets sont qualifiés d'exceptionnels s'ils sont effectués pour des raisons d'intérêt général, ou répondant à des objectifs de sécurité publique ou de sûreté du réseau électrique. Ces apports exceptionnels sont comptabilisés :

- hors quota annuel pour les limons
- hors quota hebdomadaire uniquement pour les volumes d'eau ; le quota annuel en eau incluant ces apports exceptionnels

Sur les 4 années de l'expérimentation, ces apports exceptionnels sont faibles (Tableau 1).

Tableau 1. Récapitulatif global des apports exceptionnels sur les exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009.

	Apports en eau « au titre des rejets exceptionnels » mais néanmoins intégrés au quota annuel (Mm^3)	Apports en eau totaux (exceptionnel compris) (Mm^3)	Apports en limons « exceptionnels décomptés hors quota » (tonnes)	Apports en limons totaux (exceptionnel compris) (tonnes)
2005/2006	41	788	1211	46843
2006/2007	56	841	655	41411
2007/2008	70	666	6805	63816
2008/2009	56	1058	1459	45199

L'origine de ces rejets exceptionnels est détaillée dans les paragraphes suivants.

1.4.1 Production d'énergie pour la sûreté du réseau électrique

Pour répondre à une situation critique sur le réseau électrique, le gestionnaire du réseau de transport RTE-SESE (*Service Electrique Sud-Est*) peut solliciter les aménagements de Salon et St Chamas sur la Durance. Cette demande de production d'énergie sur situation critique (« Ordre S ») est faite au pas demi-horaire et les apports liés à cette production sont comptabilisés en apports exceptionnels.

Tableau 2. Récapitulatif des apports exceptionnels pour la sûreté du réseau électrique sur les exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009.

	Apports en eau décomptés en « rejets exceptionnels » au titre de la sûreté du réseau électrique (Mm^3)	Apports en limons décomptés en «rejets exceptionnels» au titre de la sûreté du réseau électrique (tonnes)
2005/2006	semaines 48 50 51 52 1 2 3 6 volumes 0.33 0.13 0.77 16.65 7.80 2.38 2.10 6.44 semaines 7 8 9 20 29 30 38 volumes 1.44 0.43 0.50 0.91 0.73 0.24 0.29	1211
2006/2007	semaines 45 52 1 5 7 14 18 29 volumes 0.86 0.18 0.86 0.24 0.63 1.14 0.61 0.15	264
2007/2008	semaines 51 19 27 volumes 0.14 1.18 0.08	140
2008/2009	semaines 1 4 7 30 31 36 44 volumes 1.12 1.19 0.63 0.64 0.32 0.72 0.10	125

1.4.2 Chantiers sur les seuils 67 et 68 en Durance

Les seuils 67 et 68 sont des ouvrages situés à l'aval de la Durance au niveau d'Avignon. Ces ouvrages[1] construits en enrochements dans les années 70-80 (1974 et 1986 resp. pour les seuils 68 et 67) sont aujourd'hui gérés par le SMAVD[2]. Des travaux « hors d'eau » sur ces ouvrages nécessitant l'interruption complète des restitutions en Durance à Mallemort et l'orientation de l'intégralité des débits vers l'étang de Berre ont été réalisés pendant la période d'expérimentation. Ces travaux réalisés au titre de l'intérêt général pour la sécurité publique ont généré des apports exceptionnels.

- Des premiers travaux de confortement sur le seuil 68 ont été réalisés par le SMAVD en mars 2007 (du 12 au 22 mars). Pendant cette période sur l'exercice annuel 2006/2007, les rejets ont été comptabilisés au titre des rejets exceptionnels (Tableau 3).

[1] ces seuils ont été construits pour encadrer les anciennes gravières afin d'atténuer l'incidence des prélèvements de graviers sur l'abaissement de la nappe phréatique et la stabilité des berges de la Durance

[2] Syndicat Mixte de l'Aménagement du Val de Durance

Tableau 3. Décompte des apports à l'étang de Berre pendant la période de travaux du seuil 68 en Durance du 12 au 22 mars 2007, sur l'exercice annuel 2006/2007.

Apports en eau décomptés en « rejets exceptionnels » (Mm^3)			Apports en limons décomptés en «rejets exceptionnels» (tonnes)
semaines	11	12	391
volumes	25.15	26.18	

- Puis, suite à la rupture de ce seuil 68 en octobre 2008, des travaux de réparation de l'ouvrage ont été réalisés par le SMAVD en plusieurs phases :

<u>- Une première phase de sécurisation de la brèche formée dans la partie centrale du seuil 68 du 16 au 31 octobre 2008</u>

Pendant cette première phase sur l'exercice annuel 2007/2008, les rejets ont été comptabilisés au titre des rejets exceptionnels.

Tableau 4. Décompte des apports à l'étang de Berre pendant la période de travaux du seuil 68 en Durance du 16 au 31 octobre 2008, sur l'exercice annuel 2007/2008.

Apports en eau décomptés en « rejets exceptionnels » (Mm^3)				Apports en limons décomptés en «rejets exceptionnels» (tonnes)
semaines	42	43	44	6665
volumes	5.50	24.86	38.34	

<u>- Une seconde phase de 5 semaines (du 2 janvier au 5 février 2009) pour le confortement de la brèche du seuil 68</u>

Pendant cette seconde phase sur l'exercice annuel 2008/2009, les rejets en eau et limons ont été partiellement (*) décomptés au titre des rejets exceptionnels.

(*) seules les quantités qui n'auraient pas été apportées à l'étang de Berre en gestion normale sont décomptées en « exceptionnel ».

Une méthode de décompte basée sur (1) la turbidité de l'eau et (2) des volumes d'eau hebdomadaires maxima à l'étang de Berre a été retenue. Le principe est exposé ci-après.

(1) - Dans le cadre de la gestion du quota annuel en limons à respecter, une valeur d'usage est attribuée au stock de limons :

$V\ usage_{limons} = n \times turbidité$ (*n* est un coefficient fixé *a priori* au pas hebdomadaire)

Si la valeur d'usage est inférieure aux prix de marché de l'électricité (prix de marché *Powernext*), la gestion en exploitation « courante » aurait conduit le producteur à turbiner sur les usines de Salon-St Chamas ; les apports correspondants sont alors comptabilisés dans

le quota annuel. Sinon, les débits auraient été restitués en Durance à Mallemort, et les apports sont décomptés en rejets exceptionnels.

(2) - Dans le cadre de la gestion prévisionnelle des quotas hebdomadaires et annuels en eau et du respect des objectifs annuels de salinité, un volume maximal *p* d'eau est fixé *a priori*, qui peut être apporté à l'étang chaque semaine. Au-delà de *p*, les apports sont décomptés en rejets exceptionnels.

Au bilan, pour cette phase, les apports en limons ont été relativement limités (Tableau **5**), en particulier concernant les apports décomptés en rejets exceptionnels, du fait d'une turbidité de l'eau particulièrement faible. En revanche, le cumul de turbinages associé à des apports naturels importants (précipitations locales, crue de l'Arc en déc. 2008) a affecté le paramètre salinité et de fait la possibilité de turbiner les volumes prévus au vu du contexte hydrologique sur le reste de l'exercice annuel.

Tableau 5. Décompte des apports à l'étang de Berre pendant la période de travaux du seuil 68 en Durance du 2 janvier au 5 février 2009, sur l'exercice annuel 2008/2009.

Apports en eau (Mm^3)							Apports en limons (tonnes)	
Décompte en quota	dont décompte en «rejets exceptionnels»						Décompte en quota	Décompte en «rejets exceptionnels»
364	semaines	1	2	3	4	5	6	4441	1334
	volumes	1.94	11.34	4.32	8.67	20.28	7.53		

Compte tenu du contexte de sécheresse marqué des années précédentes de l'expérimentation, et afin de tester un volume d'eau proche du quota maximal autorisé pour cette dernière année de l'expérimentation, l'article 2 du règlement d'eau de Salon-St Chamas qui prévoit « des objectifs moins stricts de salinité pour les périodes de rejets exceptionnels et de crue des affluents naturels de l'étang » a été appliqué. L'objectif de salinité 20 g/l a été ramené à 70% (« 70% des valeurs hebdomadaires sur l'année > 20 g/l ») au lieu de 75%, avec l'obligation de ne pas dégrader la salinité en valeur absolue sur le reste de l'exercice annuel et de garantir une salinité moyenne à 23 g/l minimum à fin octobre 2009. Cet assouplissement des objectifs n'a pas *in fine* été utilisé ; les objectifs de salinité initiaux du règlement d'eau ayant été respectés à la fin de l'exercice annuel.

<u>- Une troisième phase de confortement du seuil 67 et de complément de travaux (parement amont) sur le seuil 68</u>

Ces travaux réalisés du 6 juillet au 14 août 2009 ont permis la réfection totale du seuil 67 amont et la finition des travaux engagés sur le seuil 68. Pendant cette période, la méthode de décompte partielle en rejets exceptionnels retenue pour la phase de janvier-février 2009 a

été mise en œuvre. Du fait de la période estivale favorable, ces travaux n'ont eu aucune incidence sur les apports, avec au bilan aucun rejet décompté en exceptionnel.

1.5 Etats réglementaires - eau et limons

Les Tableaux 6 et 7 (a, b, c, d) sont extraits des "Etats réglementaires" transmis tous les mois par EDF[1], et présentent pour chaque exercice annuel les apports d'eau et de limons à l'étang à l'échelle mensuelle et hebdomadaire.

[1] à l'attention de la DREAL PACA (DREAL-SECAB *Service énergie, construction, air et barrages* et DREAL-SBEP *Service biodiversité, eau, paysages*), de la Sous-préfecture d'Istres, du Gipreb, et des Services Maritimes (DDE)

Tableau 6a. Bilan mensuel des apports d'eau et de limons pour la campagne 2005-2006.

bilan récapitulatif des apports (eau et limons) dans l' Etang de Berre campagne 2005 / 2006

	Apports en eau totaux en Mm^3	Apports en limons "résultant de la production énergétique EDF" en tonnes	Apports en limons "exceptionnels" en tonnes	Apports en limons totaux en tonnes
NOVEMBRE 2005	63,0	9 136,7	40,5	9 177,2
DECEMBRE 2005	71,7	3 605,2	485,3	4 090,6
JANVIER 2006	66,1	638,5	279,8	918,4
FEVRIER 2006	88,9	1 370,6	72,7	1 443,2
MARS 2006	150,9	4 089,8	6,7	4 096,4
AVRIL 2006	119,0	4 406,0	0,0	4 406,0
MAI 2006	99,3	6 583,3	258,0	6 841,3
JUIN 2006	50,5	541,4	0,0	541,4
JUILLET 2006	6,8	412,2	57,2	469,4
AOUT 2006	0,3	0,0	0,0	0,0
SEPTEMBRE 2006	30,8	2 164,2	10,9	2 175,0
OCTOBRE 2006	41,0	12 684,1	0,0	12 684,1
TOTAUX	788,2	45 632	1 211	46 843
	Mm3	tonnes	tonnes	tonnes
rappel quotas	1 200	60 000		60 000
pourcentage	65,7%	76,1%		78,1%

Tableau 6b. Bilan mensuel des apports d'eau et de limons pour la campagne 2006-2007.

bilan récapitulatif des apports (eau et limons) dans l' Etang de Berre campagne 2006 / 2007

	Apports en eau totaux en Mm^3	Apports en limons "résultant de la production énergétique EDF" en tonnes	Apports en limons "exceptionnels" en tonnes	Apports en limons totaux en tonnes
NOVEMBRE 2006	26,7	7 645,4	250,8	7 896,2
DECEMBRE 2006	8,7	252,1	3,2	255,3
JANVIER 2007	88,2	5 998,4	16,4	6 014,7
FEVRIER 2007	192,6	2 630,2	2,5	2 632,7
MARS 2007	101,3	684,9	357,9	1 042,9
AVRIL 2007	88,7	3 223,7	13,6	3 237,3
MAI 2007	16,7	282,8	4,7	287,5
JUIN 2007	36,7	5 750,4	0,0	5 750,4
JUILLET 2007	0,6	40,1	6,1	46,2
AOUT 2007	0,0	1,3	0,0	1,3
SEPTEMBRE 2007	106,3	4 426,6	0,0	4 426,6
OCTOBRE 2007	174,9	9 819,9	0,0	9 819,9
TOTAUX	841,4	40 756	655	41 411
	Mm3	tonnes	tonnes	tonnes
rappel quotas	1 200	60 000		60 000
pourcentage	70,1%	67,9%		69,0%

Tableau 6c. Bilan mensuel des apports d'eau et de limons pour la campagne 2007-2008.

bilan récapitulatif des apports (eau et limons) dans l' Etang de Berre campagne 2007 / 2008

	Apports en eau totaux en Mm^3	Apports en limons "résultant de la production énergétique EDF" en tonnes	Apports en limons "exceptionnels" en tonnes	Apports en limons totaux en tonnes
NOVEMBRE 2007	22,2	647,9	0,0	647,9
DECEMBRE 2007	20,3	1 908,2	2,2	1 910,4
JANVIER 2008	73,6	9 267,3	0,0	9 267,3
FEVRIER 2008	90,7	2 798,7	0,0	2 798,7
MARS 2008	25,3	470,7	0,0	470,7
AVRIL 2008	59,9	8 550,1	0,0	8 550,1
MAI 2008	117,4	10 896,1	134,5	11 030,6
JUIN 2008	0,9	23,5	0,0	23,5
JUILLET 2008	53,7	7 812,1	3,2	7 815,3
AOUT 2008	20,0	718,6	0,0	718,6
SEPTEMBRE 2008	83,3	9 775,1	0,0	9 775,1
OCTOBRE 2008	98,2	4 142,7	6 665,1	10 807,8
TOTAUX	665,6	57 011	6 805	63 816
	Mm3	tonnes	tonnes	tonnes
rappel quotas	1 200	60 000		60 000
pourcentage	55,5%	95,0%		106,4%

Tableau 6d. Bilan mensuel des apports d'eau et de limons pour la campagne 2008-2009.

bilan récapitulatif des apports (eau et limons) dans l' Etang de Berre campagne 2008 / 2009				
	Apports en eau totaux en Mm^3	Apports en limons "résultant de la production énergétique EDF" en tonnes	Apports en limons "exceptionnels" en tonnes	Apports en limons totaux en tonnes
NOVEMBRE 2008	48,4	3 841,0	0,0	3 841,0
DECEMBRE 2008	101,1	9 547,9	27,4	9 575,3
JANVIER 2009	307,1	4 178,2	1 184,5	5 362,7
FEVRIER 2009	67,1	494,0	198,0	692,0
MARS 2009	27,1	1 821,7	0,0	1 821,7
AVRIL 2009	24,8	784,7	0,0	784,7
MAI 2009	151,2	8 038,2	0,0	8 038,2
JUIN 2009	58,0	1 707,1	0,0	1 707,1
JUILLET 2009	48,7	2 587,5	18,0	2 605,4
AOUT 2009	41,0	1 258,0	0,0	1 258,0
SEPTEMBRE 2009	115,9	5 474,4	26,3	5 500,8
OCTOBRE 2009	67,4	4 007,1	4,6	4 011,7
TOTAUX	**1 057,8**	**43 740**	**1 459**	**45 199**
	Mm3	tonnes	tonnes	tonnes
rappel quotas	1 200	60 000		60 000
pourcentage	**88,2%**	**72,9%**		**75,3%**

Tableau 7a. Bilan hebdomadaire des apports d'eau et de limons pour la campagne 2005-2006.

ETANG DE BERRE : SUIVI HEBDOMADAIRE DES APPORTS - CAMPAGNE 2005 / 2006

(1)	Apport Liquide "résultant de la production énergétique EDF" en (Mm3)	Apport Liquide "exceptionnel" (1) en (Mm3)	Apport Liquide total Etang de Berre en (Mm3)	Apport Limons "résultant de la production énergétique EDF" en (t)	Apport de Limons "Exceptionnel" (1) en (t)	Apport Limons total Etang de Berre en (t)
S44	1,81	0,00	1,81	37,42	0,00	37,42
S45	16,76	0,00	16,76	3126,83	0,00	3126,83
S46	5,10	0,00	5,10	71,26	0,00	71,26
S47	28,25	0,00	28,25	5112,05	0,00	5112,05
S48	17,90	0,33	18,23	1121,05	40,48	1161,54
S49	0,26	0,00	0,26	13,35	0,00	13,35
S50	18,45	0,13	18,58	2347,97	4,26	2352,23
S51	16,68	0,77	17,45	707,00	47,86	754,86
S52	9,44	16,65	26,09	156,38	433,22	589,60
S1	11,21	7,80	19,01	260,09	236,61	496,70
S2	5,05	2,38	7,43	102,65	26,54	129,19
S3	7,41	2,10	9,50	57,89	16,69	74,58
S4	10,11	0,00	10,11	88,61	0,00	88,61
S5	36,12	0,00	36,12	580,15	0,00	580,15
S6	19,65	6,44	26,09	191,99	57,89	249,89
S7	21,97	1,44	23,41	165,74	11,18	176,92
S8	12,09	0,43	12,53	77,85	3,60	81,46
S9	26,46	0,50	26,96	772,37	6,66	779,03
S10	44,84	0,00	44,84	1771,67	0,00	1771,67
S11	38,28	0,00	38,28	1074,03	0,00	1074,03
S12	48,47	0,00	48,47	930,60	0,00	930,60
S13	5,27	0,00	5,27	73,82	0,00	73,82
S14	49,94	0,00	49,94	3050,71	0,00	3050,71
S15	21,17	0,00	21,17	722,22	0,00	722,22
S16	27,22	0,00	27,22	384,37	0,00	384,37
S17	20,65	0,00	20,65	248,69	0,00	248,69
S18	0,43	0,00	0,43	0,31	0,00	0,31
S19	7,69	0,00	7,69	59,00	0,00	59,00
S20	43,76	0,91	44,67	5363,07	258,01	5621,08
S21	22,12	0,00	22,12	596,15	0,00	596,15
S22	26,35	0,00	26,35	592,74	0,00	592,74
S23	10,89	0,00	10,89	100,05	0,00	100,05
S24	23,50	0,00	23,50	224,95	0,00	224,95
S25	13,56	0,00	13,56	182,88	0,00	182,88
S26	0,52	0,00	0,52	5,51	0,00	5,51
S27	0,09	0,00	0,09	1,94	0,00	1,94
S28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S29	2,72	0,73	3,46	339,43	51,54	390,97
S30	2,87	0,24	3,11	58,83	5,64	64,47
S31	0,17	0,00	0,17	11,98	0,00	11,98
S32	0,35	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
S33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S36	0,09	0,00	0,09	22,22	0,00	22,22
S37	10,71	0,00	10,71	396,26	0,00	396,26
S38	3,34	0,29	3,63	141,92	10,86	152,78
S39	15,21	0,00	15,21	1570,53	0,00	1570,53
S40	5,27	0,00	5,27	241,57	0,00	241,57
S41	22,72	0,00	22,72	4267,31	0,00	4267,31
S42	12,10	0,00	12,10	8051,68	0,00	8051,68
S43	1,99	0,00	1,99	146,26	0,00	146,26
S44	8,90	0,00	8,90	4248,32	0,00	4248,32

rappel quotas 62,4 Mm3 hebdo (2)

(1) "exceptionnel" : intérêt général, sûreté système électrique, application consigne de crue de Mallemort,.....
(2) 82 Mm3 en situation de rattrapage, 4 semaines par an au maximum
nb : Les semaines débutent le samedi à 0h et se terminent le vendredi à 24h.

Tableau 7b. Bilan hebdomadaire des apports d'eau et de limons pour la campagne 2006-2007.

ETANG DE BERRE : SUIVI HEBDOMADAIRE DES APPORTS - CAMPAGNE 2006 / 2007							
(1)	Apport Liquide "résultant de la production énergétique EDF" en (Mm3)	Apport Liquide "exceptionnel" (1) en (Mm3)	Apport Liquide total Etang de Berre en (Mm3)	Apport Limons "résultant de la production énergétique EDF" en (t)	Apport de Limons "Exceptionnel" (1) en (t)	Apport Limons total Etang de Berre en (t)	Production électrique Saint-Chamas en Mwh
S44	8,90	0,00	8,90	4248,32	0,00	4248,32	1 428
S45	13,57	0,86	14,43	3208,41	250,80	3459,21	2 330
S46	1,85	0,00	1,85	134,60	0,00	134,60	238
S47	1,56	0,00	1,56	54,09	0,00	54,09	146
S48	0,26	0,00	0,26	29,73	0,00	29,73	28
S49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
S50	0,26	0,00	0,26	28,25	0,00	28,25	33
S51	6,65	0,00	6,65	169,84	0,00	169,84	1 051
S52	1,21	0,18	1,38	19,39	3,16	22,55	168
S1	0,87	0,86	1,73	17,94	10,37	28,30	228
S2	13,06	0,00	13,06	1376,56	0,00	1376,56	2 149
S3	12,53	0,00	12,53	245,75	0,00	245,75	2 062
S4	41,75	0,00	41,75	4015,35	0,00	4015,35	6 858
S5	36,65	0,24	36,89	632,73	5,99	638,71	6 063
S6	65,78	0,00	65,78	965,21	0,00	965,21	10 563
S7	26,76	0,63	27,39	209,65	2,51	212,16	4 392
S8	49,94	0,00	49,94	518,17	0,00	518,17	8 080
S9	39,66	0,00	39,66	693,09	0,00	693,09	6 291
S10	19,09	0,00	19,09	460,87	0,00	460,87	3 010
S11	0,35	25,14	25,49	4,98	247,42	252,39	4 093
S12	6,31	26,18	32,49	49,77	107,48	157,25	5 119
S13	14,86	0,00	14,86	121,76	0,00	121,76	2 359
S14	29,36	1,14	30,50	1058,06	16,66	1074,71	4 807
S15	20,22	0,00	20,22	1077,52	0,00	1077,52	3 258
S16	30,15	0,00	30,15	926,48	0,00	926,48	4 783
S17	9,47	0,00	9,47	168,27	0,00	168,27	1 480
S18	11,38	0,61	11,99	142,50	4,66	147,16	1 879
S19	3,54	0,00	3,54	48,61	0,00	48,61	524
S20	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0
S21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
S22	11,79	0,00	11,79	1148,03	0,00	1148,03	1 880
S23	2,15	0,00	2,15	77,19	0,00	77,19	344
S24	0,25	0,00	0,25	14,78	0,00	14,78	17
S25	9,94	0,00	9,94	2649,12	0,00	2649,12	1 528
S26	13,70	0,00	13,70	1952,98	0,00	1952,98	2 157
S27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
S28	0,18	0,00	0,18	8,90	0,00	8,90	14
S29	0,23	0,15	0,38	31,20	6,08	37,28	54
S30	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0
S31	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0
S32	0,01	0,00	0,01	1,33	0,00	1,33	0
S33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
S34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
S35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
S36	26,95	0,00	26,95	1834,72	0,00	1834,72	4 316
S37	18,11	0,00	18,11	417,13	0,00	417,13	2 856
S38	31,22	0,00	31,22	1049,10	0,00	1049,10	5 160
S39	24,72	0,00	24,72	997,12	0,00	997,12	3 897
S40	22,85	0,00	22,85	921,48	0,00	921,48	3 619
S41	57,91	0,00	57,91	3534,10	0,00	3534,10	9 397
S42	56,76	0,00	56,76	3779,22	0,00	3779,22	9 244
S43	34,78	0,00	34,78	1560,12	0,00	1560,12	5 606
S44	8,30	0,00	8,30	159,06	0,00	159,06	1 304

rappel quotas	62,4 Mm3 hebdo (2)

(1) "exceptionnel" : intérêt général, sûreté système électrique, application consigne de crue de Mallemort,,,,,,

(2) 82 Mm3 en situation de rattrapage, 4 semaines par an au maximum

nb : Les semaines débutent le samedi à 0h et se terminent le vendredi à 24h.

Tableau 7c. Bilan hebdomadaire des apports d'eau et de limons pour la campagne 2007-2008.

ETANG DE BERRE : SUIVI HEBDOMADAIRE DES APPORTS - CAMPAGNE 2007 / 2008							
(1)	Apport Liquide "résultant de la production énergétique EDF" en (Mm3)	Apport Liquide "exceptionnel" (1) en (Mm3)	Apport Liquide total Etang de Berre en (Mm3)	Apport Limons "résultant de la production énergétique EDF" en (t)	Apport de Limons "Exceptionnel" (1) en (t)	Apport Limons total Etang de Berre en (t)	Production électrique Saint-Chamas en Mwh
S44	8,30	0,00	8,30	159,06	0,00	159,06	1304,00
S45	1,98	0,00	1,98	56,35	0,00	56,35	265,00
S46	0,46	0,00	0,46	38,63	0,00	38,63	60,00
S47	18,81	0,00	18,81	533,54	0,00	533,54	2945,00
S48	0,55	0,00	0,55	13,83	0,00	13,83	73,00
S49	5,43	0,00	5,43	83,49	0,00	83,49	762,00
S50	10,79	0,00	10,79	1750,91	0,00	1750,91	1680,00
S51	1,28	0,14	1,41	26,38	2,17	28,54	198,00
S52	2,09	0,00	2,09	34,10	0,00	34,10	237,00
S1	5,39	0,00	5,39	1346,40	0,00	1346,40	845,00
S2	20,24	0,00	20,24	3591,65	0,00	3591,65	3149,00
S3	4,99	0,00	4,99	738,87	0,00	738,87	798,00
S4	20,41	0,00	20,41	2416,01	0,00	2416,01	3221,00
S5	26,63	0,00	26,63	1307,64	0,00	1307,64	4097,00
S6	30,64	0,00	30,64	1369,56	0,00	1369,56	4463,00
S7	21,87	0,00	21,87	778,21	0,00	778,21	3227,00
S8	12,96	0,00	12,96	198,44	0,00	198,44	1988,21
S9	21,76	0,00	21,76	332,63	0,00	332,63	3556,27
S10	16,08	0,00	16,08	297,38	0,00	297,38	2403,48
S11	5,46	0,00	5,46	93,36	0,00	93,36	826,62
S12	0,34	0,00	0,34	10,01	0,00	10,01	38,92
S13	2,61	0,00	2,61	51,84	0,00	51,84	305,66
S14	0,80	0,00	0,80	18,08	0,00	18,08	128,70
S15	3,06	0,00	3,06	86,12	0,00	86,12	467,81
S16	17,90	0,00	17,90	1485,50	0,00	1485,50	2829,91
S17	18,79	0,00	18,79	3890,97	0,00	3890,97	3081,60
S18	26,31	0,00	26,31	3514,55	0,00	3514,55	4058,63
S19	28,76	1,18	29,94	3201,01	134,53	3335,54	3874,52
S20	42,12	0,00	42,12	3237,97	0,00	3237,97	6988,11
S21	30,43	0,00	30,43	3218,44	0,00	3218,44	4919,00
S22	8,75	0,00	8,75	811,61	0,00	811,61	1383,00
S23	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	2,00
S24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S26	0,45	0,00	0,45	15,18	0,00	15,18	54,01
S27	18,80	0,08	18,87	5176,77	3,24	5180,01	3071,76
S28	17,37	0,00	17,37	2144,24	0,00	2144,24	2921,52
S29	3,02	0,00	3,02	81,93	0,00	81,93	442,49
S30	5,48	0,00	5,48	171,16	0,00	171,16	832,55
S31	10,24	0,00	10,24	263,96	0,00	263,96	1557,07
S32	3,12	0,00	3,12	68,17	0,00	68,17	435,63
S33	6,29	0,00	6,29	98,06	0,00	98,06	868,59
S34	5,85	0,00	5,85	189,61	0,00	189,61	888,57
S35	3,91	0,00	3,91	345,08	0,00	345,08	621,96
S36	2,38	0,00	2,38	59,47	0,00	59,47	365,64
S37	17,18	0,00	17,18	1579,79	0,00	1579,79	2738,65
S38	13,94	0,00	13,94	1325,55	0,00	1325,55	2202,64
S39	21,75	0,00	21,75	2420,22	0,00	2420,22	3436,27
S40	45,48	0,00	45,48	8169,19	0,00	8169,19	6366,53
S41	4,65	0,00	4,65	143,70	0,00	143,70	628,67
S42	7,45	5,50	12,96	219,87	401,18	621,05	2021,07
S43	0,00	24,86	24,86	0,00	1771,20	1771,20	4065,21
S44	0,00	38,34	38,34	0,00	4492,73	4492,73	6245,64

rappel quotas 62.4 Mm3 hebdo (2)

(1) "exceptionnel" : intérêt général, sûreté système électrique, application consigne de crue de Mallemort,,,,,,

(2) 82 Mm3 en situation de rattrapage, 4 semaines par an au maximum

nb : Les semaines débutent le samedi à 0h et se terminent le vendredi à 24h.

Tableau 7d. Bilan hebdomadaire des apports d'eau et de limons pour la campagne 2008-2009.

ETANG DE BERRE : SUIVI HEBDOMADAIRE DES APPORTS - CAMPAGNE 2008 / 2009							
(1)	Apport Liquide "résultant de la production énergétique EDF" en (Mm3)	Apport Liquide "exceptionnel" (1) en (Mm3)	Apport Liquide total Etang de Berre en (Mm3)	Apport Limons "résultant de la production énergétique EDF" en (t)	Apport de Limons "Exceptionnel" (1) en (t)	Apport Limons total Etang de Berre en (t)	Production électrique Saint-Chamas en Mwh
S45	0,08	0,00	0,08	0,46	0,00	0,46	8,94
S46	11,38	0,00	11,38	1509,97	0,00	1509,97	1820,49
S47	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	2,41
S48	25,59	0,00	25,59	1734,91	0,00	1734,91	3985,30
S49	50,84	0,00	50,84	5344,90	0,00	5344,90	8242,68
S50	26,67	0,00	26,67	1991,20	0,00	1991,20	4305,47
S51	2,58	0,00	2,58	139,11	0,00	139,11	369,14
S52	20,11	0,00	20,11	2183,81	0,00	2183,81	3329,25
S1	24,09	1,94	26,03	917,23	51,21	968,44	4299,41
S2	62,40	11,34	73,74	703,60	152,00	855,60	12198,43
S3	62,40	4,32	66,72	714,35	60,85	775,20	11031,00
S4	60,84	8,67	69,52	634,43	250,09	884,52	11550,48
S5	53,37	20,28	73,65	1595,71	697,79	2293,50	12197,64
S6	62,40	7,53	69,93	531,13	187,41	718,54	11684,05
S7	1,08	0,63	1,71	19,86	10,61	30,47	239,87
S8	1,42	0,00	1,42	12,63	0,00	12,63	228,68
S9	3,38	0,00	3,38	25,68	0,00	25,68	540,30
S10	4,40	0,00	4,40	267,41	0,00	267,41	722,94
S11	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	3,50
S12	4,50	0,00	4,50	1356,75	0,00	1356,75	754,37
S13	10,07	0,00	10,07	100,51	0,00	100,51	1541,51
S14	18,13	0,00	18,13	623,61	0,00	623,61	2763,89
S15	7,58	0,00	7,58	69,15	0,00	69,15	1166,90
S16	0,79	0,00	0,79	33,06	0,00	33,06	116,34
S17	2,60	0,00	2,60	70,47	0,00	70,47	380,07
S18	5,58	0,00	5,58	133,55	0,00	133,55	905,32
S19	48,44	0,00	48,44	4959,55	0,00	4959,55	7999,02
S20	14,85	0,00	14,85	697,17	0,00	697,17	2360,83
S21	60,21	0,00	60,21	1626,02	0,00	1626,02	9932,13
S22	26,26	0,00	26,26	709,46	0,00	709,46	4281,52
S23	6,63	0,00	6,63	122,66	0,00	122,66	1033,07
S24	21,45	0,00	21,45	795,25	0,00	795,25	3450,58
S25	17,81	0,00	17,81	662,45	0,00	662,45	2884,22
S26	6,87	0,00	6,87	69,21	0,00	69,21	1401,60
S27	18,44	0,00	18,44	916,26	0,00	916,26	2934,21
S28	13,39	0,00	13,39	1092,87	0,00	1092,87	2138,70
S29	11,48	0,00	11,48	367,70	0,00	367,70	1772,62
S30	8,19	0,64	8,83	187,71	11,35	199,05	1359,23
S31	1,48	0,32	1,80	80,50	6,61	87,11	264,09
S32	1,76	0,00	1,76	98,23	0,00	98,23	254,46
S33	7,87	0,00	7,87	83,55	0,00	83,55	1178,44
S34	14,32	0,00	14,32	368,88	0,00	368,88	2195,42
S35	12,14	0,00	12,14	505,19	0,00	505,19	1795,85
S36	13,63	0,72	14,35	559,91	26,34	586,25	2253,38
S37	23,69	0,00	23,69	884,57	0,00	884,57	3661,59
S38	35,98	0,00	35,98	1798,57	0,00	1798,57	5871,66
S39	27,22	0,00	27,22	1516,27	0,00	1516,27	4320,83
S40	28,16	0,00	28,16	1685,11	0,00	1685,11	4456,22
S41	39,74	0,00	39,74	2516,08	0,00	2516,08	6456,02
S42	9,81	0,00	9,81	320,93	0,00	320,93	1473,69
S43	8,21	0,00	8,21	140,18	0,00	140,18	1257,46
S44	0,97	0,10	1,06	153,75	4,57	158,33	158,40

rappel quota 62,4 Mm3 hebdo(2)

(1) "exceptionnel" : intérêt général, sûreté système électrique, application consigne de crue de Mallemort,,,,,,

(2) 82 Mm3 en situation de rattrapage, 4 semaines par an au maximum

nb : Les semaines débutent le samedi à 0h et se terminent le vendredi à 24h.

Commentaires : les apports exceptionnels des semaines 1 à 6 sont liés à la période de travaux du seuil 68 en Durance (excepté en partie au 23/01 : sollicitation sécurité réseau).

La figure 6 présente la distribution à l'échelle mensuelle des apports en eau et en limons totaux entre les 4 exercices annuels. La distribution de ces apports présentant des différences relativement importantes aussi bien inter-annuelles qu'infra-annuelles met en évidence que :

- les tonnages de limons sont très variables et peuvent être parfois très concentrés
- il n'y a pas de corrélation entre les volumes d'eau turbinés et la charge en MES

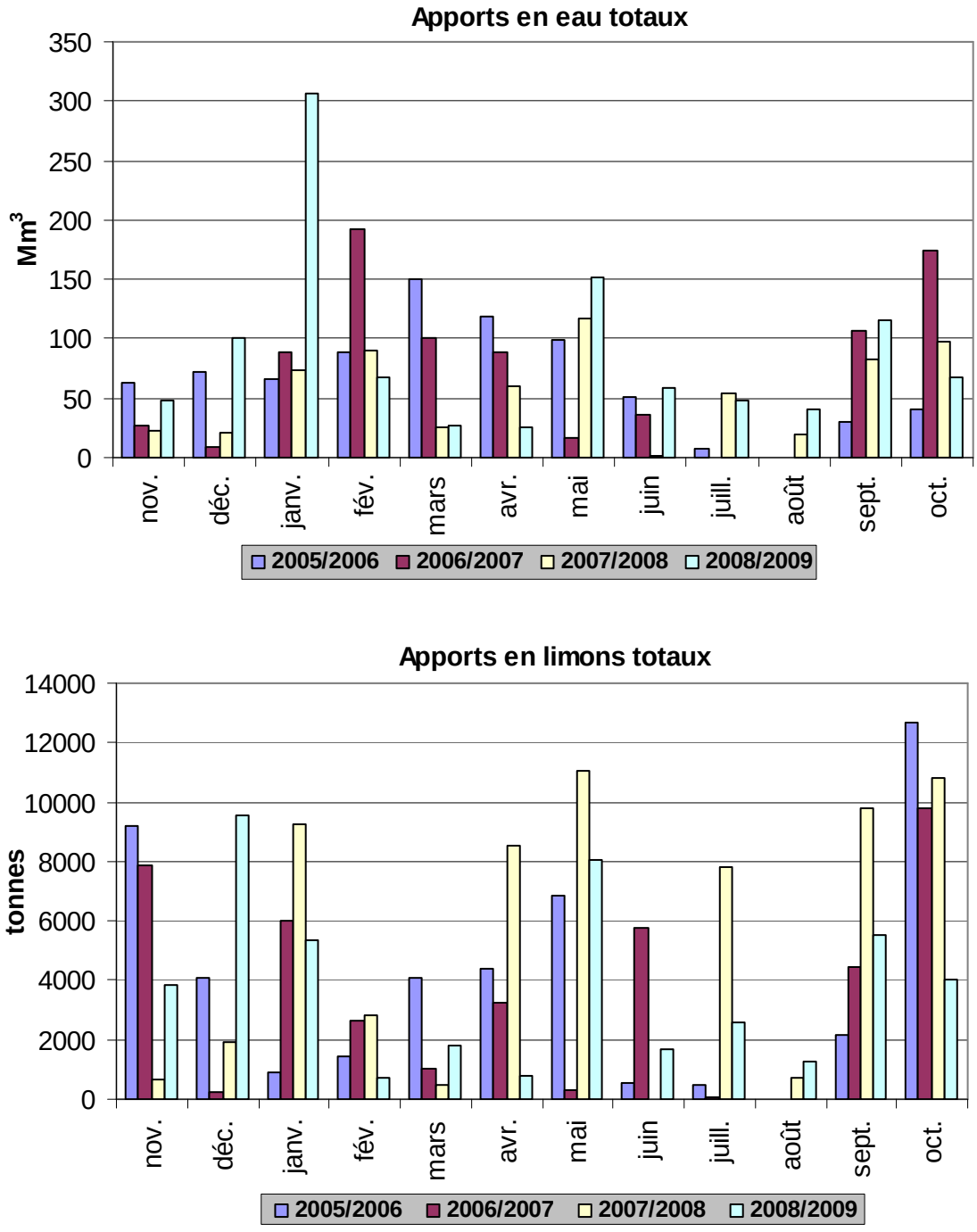


Figure 6. Distribution mensuelle des apports en eau et en limons totaux sur les exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009.

1.6 Gestion des quotas eau et limons pour l'exploitant

Pendant ces 4 années d'expérimentation, l'exploitant EDF a intégré les nouveaux quotas dans la gestion des turbinages au niveau des usines de Salon et St Chamas et sur l'ensemble de l'aménagement Durance-Verdon affecté par les nouvelles modalités d'exploitation du décret d'avenant.

Les grandes tendances ainsi que les évènements marquants de la gestion de ces 4 années sont présentés.

La figure 7 met en regard l'évolution au pas hebdomadaire des apports liquides et solides par rapport aux quotas annuels pour chaque exercice.

Des courbes "guide" ont été établies a priori pour viser le respect des contraintes (quotas annuels eau et limons) en fin d'exercice ; elles fixent un horizon limite à ne pas dépasser en cours d'année pour ne pas risquer d'atteindre prématurément les quotas. Sur l'exercice annuel 2008/2009, une courbe guide supplémentaire en volume d'eau a été établie pour assurer le respect de la contrainte salinité. Deux scénarios de cette "courbe guide salinité" sont présentés (hypothèses avec et sans le chantier sur les seuils en Durance), sachant qu'en début d'exercice annuel, la perspective des travaux sur les seuils à l'hiver 2009 était déjà annoncée (rupture du seuil en oct. 2008). En deçà de ces courbes guides, la gestion des turbinages intégrant des prévisions d'apports vise à rechercher l'optimum économique. A noter que ces courbes guides (ici présentées avec la vision de début d'exercice annuel) sont réajustées en permanence au cours de l'année en fonction de l'évolution des prévisions hydro-météorologiques et des prix de marché de l'électricité.

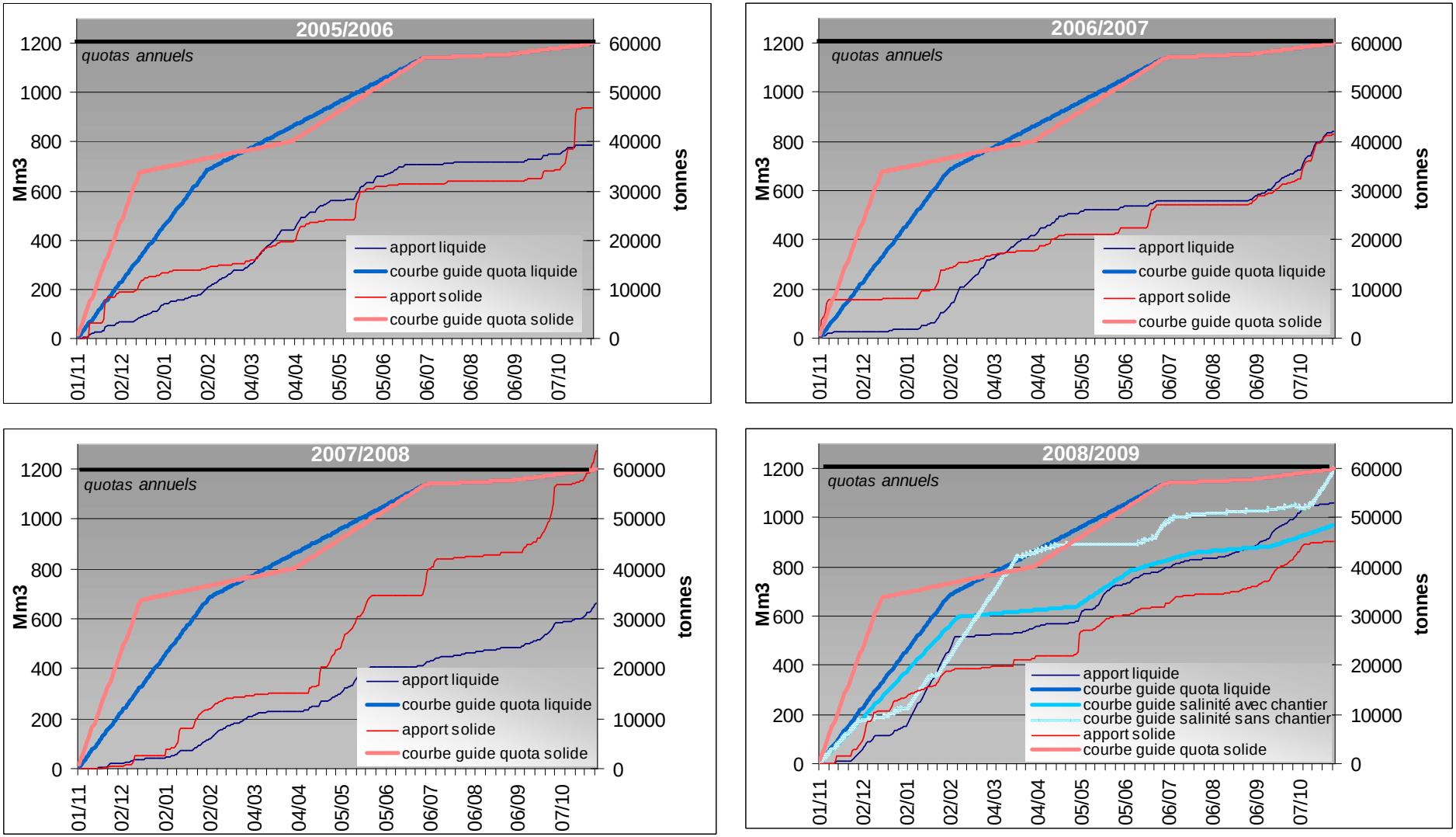


Figure 7. Cumul des apports liquides et solides sur les exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009 (voir texte).

Les exercices annuels 2005/2006, 2006/2007 et 2007/2008 se sont déroulés en années sèches. C'est la contrainte sur les limons qui a été limitante sur ces années. En effet, bien que le quota limons n'ait été atteint qu'en 2007/2008 et pas sur les exercices 2005/2006 et 2006/2007, c'est bien dans la gestion prévisionnelle, l'horizon fixé sur le quota solide qui a limité les apports liquides sur ces 3 exercices (alors qu'une lecture a posteriori, en 2005/2006 et 2006/2007 pourrait laisser penser qu'une partie des débits restitués en Durance auraient pu être turbinés sur les usines de Salon et St Chamas).

Remarque : Il convient de rappeler que la gestion prévisionnelle consiste à intégrer à l'horizon annuel les contraintes de façon à les satisfaire au mieux en fin d'exercice. Il en résulte, sur la base de prévisions d'apports naturels sur le bassin versant à l'échelle de l'année, une gestion économe, empreinte d'une certaine prudence et qui se trouve parfois contredite par les faits ; l'hydraulicité de l'année (sèche ou humide) n'étant par définition connue qu'*a posteriori* une fois l'année terminée. Les contraintes sont prises en compte dans la gestion prévisionnelle et produisent leurs effets (désoptimisation de la production) y compris lorsque l'année se révèle en cours et en fin d'exercice comme une année sèche.

→ La crue de mai-juin 2008

La période annuelle 2007/2008 a également été marquée par un épisode de crue exceptionnelle en Durance de 5 semaines en mai-juin 2008. Lors de cette crue, des dépôts "fatals" de limons dans les biefs du canal EDF de Salon et St-Chamas se sont produits, alors que les deux centrales étaient à l'arrêt, en raison de l'obligation de fourniture d'eau pour l'agriculture au niveau de Lamanon (cf. figure 8) inscrite au cahier des charges de la concession de Salon-St Chamas. Les débits modérés de ces prélèvements agricoles (dotation maximale ~50 m^3/s) par rapport au dimensionnement du canal (250 m^3/s) provoquent en effet une décantation efficace. Ces limons déposés qui ne résultent pas de l'exploitation d'EDF pour la production énergétique sont apportés à l'étang suite à leur remobilisation ultérieure (*i.e.* remise en suspension) lors de la reprise de turbinages soutenus. Si ce phénomène se produit chaque année lors de la campagne estivale d'irrigation alors que les turbinages sont faibles voire nuls, il a conduit pendant la crue de mai-juin 2008 en raison de son caractère durable à des dépôts de plusieurs milliers de tonnes pouvant représenter jusqu'à un quart du quota annuel (~ 16 000 tonnes estimées, à partir des débits et des turbidités mesurés à la vanne au point triple ; cf. figure 8).

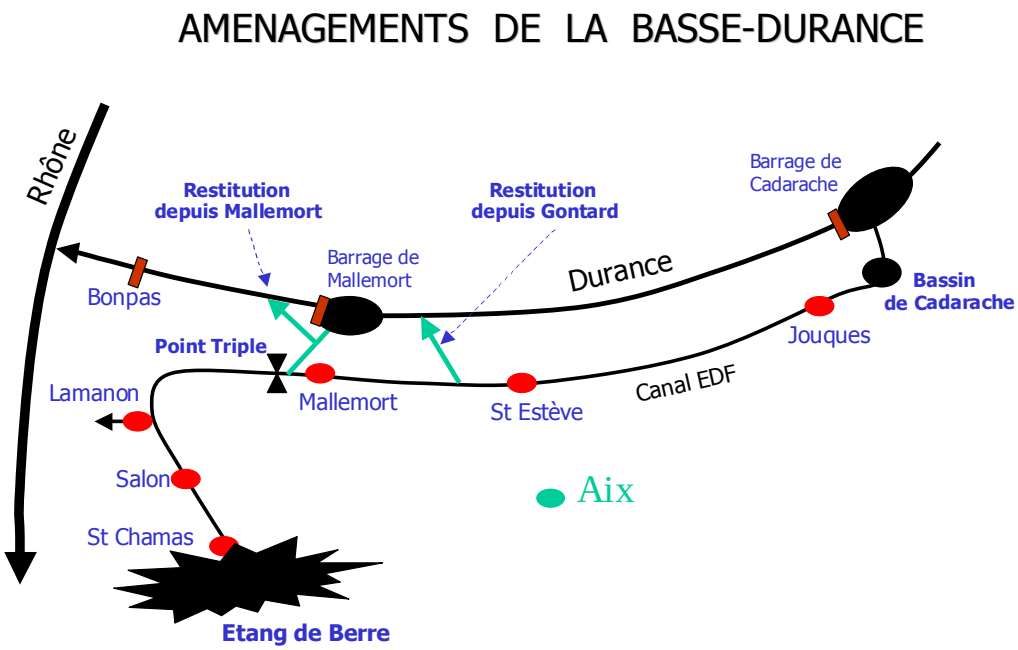


Figure 8. Schéma de fonctionnement des aménagements en Basse Durance. Suite à la mise en place du plan de reconquête de l'étang de Berre et des premiers quotas sur les rejets de limons à l'étang, la Vanne au Point Triple a été installée sur le canal de Salon pour répondre à l'objectif suivant : pouvoir restituer en Durance à Mallemort, les débits turbinés diminués des besoins agricoles prélevés sur les biefs de Salon et Saint-Chamas. Ces débits agricoles peuvent être délivrés dans le canal de Salon par un clapet de déversement alors que la vanne au point triple est fermée.

L'exercice annuel 2008/2009 a connu une hydraulicité beaucoup plus élevée. En revanche, cet exercice a été marqué par un cumul de turbinages important lié aux travaux de 5 semaines sur le seuil 68 en Durance associé à des apports d'eau douce naturels élevés (crues de l'Arc en décembre 2008, fortes précipitations localisées sur l'étang). Le paramètre salinité a été affecté par ces apports d'eau douce concentrés, limitant pour le respect des objectifs de salinité les possibilités de turbinage ultérieur en dépit d'un contexte hydrologique favorable. C'est la contrainte sur la salinité qui a donc constitué le facteur limitant sur cet exercice. Malgré une certaine relaxation accordée aux objectifs de salinité initiaux suite à ces impacts externes sur la gestion de l'exercice annuel, le quota liquide n'a pas été complètement utilisé. Une turbidité importante ayant été observée dans les tout derniers jours de l'exercice, le risque de voir pénaliser la gestion du quota solide de l'exercice suivant (du fait des dépôts engendrés dans les canaux lors de l'arrêt des turbinages, et de leur remobilisation ultérieure à la reprise des débits), a conduit à restituer en Durance les volumes d'eau disponibles.

A noter que compte tenu des apports naturels locaux particulièrement élevés, sur cet exercice l'étang de Berre a reçu un total sensiblement supérieur au quota annuel [~1500 Mm^3, avec 1058 Mm^3 de turbinages et 475 Mm^3 d'apports naturels évalués par l'impluvium direct et les débits des affluents Arc et Touloubre, non compris les apports directs diffus (ruissellement)]. Les apports naturels des années précédentes étaient plus faibles, de l'ordre de 150-200 Mm^3 (cf. §1.2).

1.7 Contrôle de la qualité de l'eau du canal de la Durance

Le règlement d'eau associé au décret d'avenant à la concession des centrales de Salon et St Chamas de décembre 2006 introduit un programme de suivi de la qualité d'eau de la Durance.

Les substances suivies sont de deux types :

- les substances eutrophisantes
- les substances dangereuses

1.7.1 Substances eutrophisantes

Les substances eutrophisantes (azote, phosphore) sont suivies à raison de 10 prélèvements annuels en période de turbinage.

Les résultats des analyses ont été rapportés par périodes dans les bilans semestriels précédemment transmis.

De 2005 à 2007, les prélèvements ont été réalisés au moyen d'un preleveur automatique asservi au débit turbiné, placé au niveau de la restitution de la centrale de St Chamas (analyses : Centre d'Océanologie de Marseille).

En 2008, les prélèvements ont été réalisés :

- dans un premier temps, par des prélèvements ponctuels à l'occasion des prélèvements pour l'analyse des substances dangereuses. Ces prélèvements ont été réalisés dans le canal EDF de la Durance au niveau de Lamanon en amont de St Chamas (analyses : Laboratoire Départemental de la Drome).
- puis lors d'une journée d'échantillonnage spécifique pour suivre la remobilisation des sédiments déposés dans le canal EDF pendant la période estivale à débits faibles lors de la reprise de débits plus soutenus. Ces prélèvements ont été réalisés à la fois en amont de la centrale de St Chamas dans le canal EDF au niveau de la chambre d'eau et en aval de la centrale depuis le pont routier au niveau des rejets des 3 groupes de turbinage (analyses : Centre d'Océanologie de Marseille).

Ces résultats comprenant les concentrations mesurées et les flux associés calculés en fonction du débit sont récapitulés dans les Tableaux 8a et 8b.

On peut noter, sur la base de ces analyses, une variabilité importante des concentrations qui se répercute, en lien avec la variabilité des volumes turbinés, sur les flux de matière. La variabilité de ces concentrations peut être en lien avec les périodes échantillonnées, notamment en partie en fonction de la charge en matières en suspension.

La gamme de variation des concentrations mesurées et flux calculés est récapitulée ci-après :

- **$N\text{-}NO_3^-$:** 49 - 649 µgN/l ; 8.8 - 1 705 kg N/jour
- **$N\text{-}NO_2^-$:** 0.3 - 98.0 µgN/l ; 0.3 - 166.5 kg N/jour
- **$N\text{-}NH_4^+$:** 10.1 - 186.7 µgN/l ; 2.3 - 321.2 kg N/jour
- **N tot :** 356 - 2 532 µgN/l ; 70 - 28 679 kgN/jour
- **$P\text{-}PO_4^{3-}$:** 3.6 - 200.3 µgP/l ; 0.3 - 369 kgP/jour
- **Ptot :** 6 - 412 µgP/l ; 4 - 5 113 kgP/jour
- **MES :** 7 - 687 mg/l ; 1 - 5 851 tonnes/jour

Tableau 8a. Mesures des concentrations et calculs de flux en substances eutrophisantes (N, P) dissoutes du canal EDF de 2005 à 2008.

période	n	méthode	dates	Q moyen (m^3/s)		Concentration (µg/l)					Flux * (kg/jour)			
						$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NO_2^-$	$N\text{-}NH_4^+$	$P\text{-}PO_4^{3-}$		$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NO_2^-$	$N\text{-}NH_4^+$	$P\text{-}PO_4^{3-}$
Sept-05 à juin 06	10	preleveur automatique usine analyses COM[1]			médiane	408	4,6	33,4	15,7	médiane	505	6,7	86,3	37,2
					moyenne	429	5,2	30,3	12,7	moyenne	556	8,8	136,9	45
					min	338	2,1	21,8	3,6	min	8,8	0,3	2,3	1,3
					max	649	10	36,6	15,3	max	1147	25,3	321,2	122,7
Oct-nov 06	6	preleveur automatique usine analyses COM[1]	06/10, 04/11, 05/11, 06/11, 14/11		médiane	347	77,9	n.m	80,6	médiane	109	32,3	n.m	36,5
					moyenne	338	64,8	n.m	75,7	moyenne	150	47,8	n.m	77,3
					min	188	11,6	n.m	3,5	min	8,8	0,6	n.m	0,3
					max	456	98,0	n.m	200,3	max	466	166,5	n.m	369
2007	11	preleveur automatique usine analyses COM[1]	19/01, 21/ 01, 22/01, 07/02, 27/02, 04/09, 12-13/09, 24-25/09, 26/09, 11-12/09, 26/10	63 (1-136)	médiane	301	3,3	52,1	36,9	médiane	1313	10	268	166
					moyenne	300	5.5	67.7	44.4	moyenne	1705	25	302	236
					min	49	0.3	31.9	20.6	min	42	1	3	3
					max	490	16.1	186.7	75.4	max	4748	120	880	680
2008	4	prelevement Lamanon analyses LDA[2]	29/04/2008	21	mesures ponctuelles	632	6.1	62.2	< 4.9	mesures ponctuelles	1147	11.0	112.8	< 8.8
			30/06/2008	4		294	6.1	< 38.9	< 4.9		101	2.1	< 13.2	< 1.6
			16/09/2008	23		429	6.1	< 38.9	< 19.6		853	11.2	< 77	<38.8
			26/11/2008	37		452	9.1	< 38.9	< 48.9		1444	29.2	< 124.4	< 156.6
	Pendant un épisode de remobilisation des MES													
	11	prelevement EDF analyses COM[1]	25/08/2008	120-160	médiane	395	4,2	13,2	5,9	flux intégré **	1276	15.5	50.6	21.2
					moyenne	395	4.9	16.3	5.9					
					min	364	4.3	10.1	3.9					
					max	424	6.1	24.9	9.5					

La concentration est indiquée en termes d'azote (N) et de phosphore (P). (1) = Centre d'Océanologie de Marseille ; (2) = Laboratoire Départemental Agréé de la Drome.

* Les flux journaliers sont calculés à partir des concentrations et des débits turbinés moyens journaliers.

** L'échantillonnage du 25/08/2008 correspond à un suivi sur une durée de 5 heures pendant un épisode de reprise des turbinages après les débits faibles de la période estivale pour observer la remobilisation des MES. Les apports journaliers sont calculés à partir des débits (mesurés toutes les minutes) et des concentrations (mesurées sur une période de 5 heures et extrapolées sur l'ensemble de la journée d'échantillonnage) par intégration selon la méthode des trapèzes.

Tableau 8b. Mesures des concentrations et calculs de flux en substances eutrophisantes (N, P) totales du canal EDF de 2005 à 2008.

période	n	méthode	dates	Q moyen (m^3/s)	Concentration (µg/l N ou P ; mg/l MES)				Flux * (kg/jour N ou P ; tonnes/jour MES)			
						N-total	P-total	MES		N-total	P-total	MES
Sept-05 à juin 06	10	preleveur automatique usine analyses COM[1]			médiane	1531	299	76	médiane	8201	1206	365
					moyenne	1631	412	138	moyenne	10006	2152	1165
					min	757	38	7	min	219	25	1
					max	2532	986	551	max	28679	5113	5851
Oct-nov 06	6	preleveur automatique usine analyses COM[1]	06/10, 04/11, 05/11, 06/11, 14/11		médiane	1394	222	517	médiane	1941	249	717
					moyenne	1290	176	409	moyenne	2636	330	1033
					min	356	6	43	min	74	34	9
					max	1782	332	687	max	7902	1500	3376
2007	11	preleveur automatique usine analyses COM[1]	19/01, 21/ 01, 22/01, 07/02, 27/02, 04/09, 12-13/09, 24-25/09, 26/09, 11-12/09, 26/10	63 (1-136)	médiane	580	50	37	médiane	2052	207	139
					moyenne	580	60	38	moyenne	3120	310	226
					min	400	40	13	min	70	10	4
					max	760	90	83	max	7380	650	617
2008	4	prelevement Lamanon analyses LDA[2]	29/04/2008	21	mesures ponctuelles	n.m	<5	77	mesures ponctuelles	n.m	<9	140
			30/06/2008	4		n.m	12	15		n.m	4	5
			16/09/2008	23		n.m	17	189		n.m	34	376
			26/11/2008	37		n.m	20	28		n.m	64	90
	Pendant un épisode de remobilisation des MES											
	11	prelevement EDF analyses COM[1]	25/08/2008	120-160	médiane	886	131	183	flux intégré **	2825	367	519
					moyenne	820	98	143				
					min	716	54	29				
					max	1028	145	278				

(1) = Centre d'Océanologie de Marseille ; (2) = Laboratoire Départemental Agréé de la Drome.

* Les flux journaliers sont calculés à partir des concentrations et des débits turbinés moyens journaliers.

** L'échantillonnage du 25/08/2008 correspond à un suivi sur une durée de 5 heures pendant un épisode de reprise des turbinages après les débits faibles de la période estivale pour observer la remobilisation des MES. Les apports journaliers sont calculés à partir des débits (mesurés toutes les minutes) et des concentrations (mesurées sur une période de 5 heures et extrapolées sur l'ensemble de la journée d'échantillonnage) par intégration selon la méthode des trapèzes.

Sur l'exercice annuel 2008/2009, un suivi "haute-fréquence" a été mis en oeuvre, afin de mieux cerner la variabilité des concentrations et des flux de matière. Un prélèvement par préleveur automatique *ISCO* pour analyse des substances eutrophisantes a été réalisé chaque jour de turbinage pendant une année complète. A noter qu'une thèse[1] a permis d'établir un premier bilan des apports du canal EDF ainsi que des affluents naturels Arc et Touloubre sur les années 2005-2006. Néanmoins, le nombre de prélèvements au niveau du canal EDF dans cette thèse a été limité (4 et 15 prélèvements par an resp. en 2005 et 2006) ce qui soulève la question de la représentativité d'un tel bilan. Une estimation plus fine des flux des substances eutrophisantes (fonction des concentrations et des débits) a été obtenue à l'issue de ce suivi "haute-fréquence". Les résultats sur les concentrations et flux sont fournis respectivement dans les tableaux 9a et 9b.

Tableau 9a. Concentrations des formes de l'azote et du phosphore mesurées au cours du "suivi haute-fréquence" de novembre 2008 à octobre 2009 (n = 198 échantillons). Les concentrations des éléments organiques dissous (*i.e.* POD et NOD) sont déduites de la mesure des formes dissoutes totales et minérales (*e.g.* POD = P total – P particulaire - PO_4^{3-})

	médiane	moyenne	écart-type	min	max
MES (mg/l)	21	32	37	0.2	250
P-PO_4^{3-} (µgP/l)	1	2	2	0.3	14
N-NO_3^- (µgN/l)	354	394	149	149	900
N-NO_2^- (µgN/l)	5	5	2	2	12
N-NH_4^+ (µgN/l)	0.4	8	32	0	209
P-particulaire (µg/l)	15	23	21	0	134
N-particulaire (µg/l)	50	68	52	0	326
POD (µgP/l)	4	5	4	0	28
NOD (µgN/l)	457	470	206	89	1668
P-total (µgP/l)	24	29	22	5	141
N-total (µgN/l)	929	946	254	488	2303

[1] Bilan de matière de l'étang de Berre, influence des apports des tributaires et des processus de régénération dans le maintien de l'eutrophisation ; E. Gouze, 2008. Université de la Méditerranée.

Tableau 9b. Flux d'apports mensuels à l'étang (en MES, N et P) par le canal EDF, évalués à partir du suivi haute-fréquence 2008-2009.

	Nov. 08	Déc. 08	Janv. 09	Fév. 09	Mars 09	Avr. 09	Mai 09	Juin 09	Juill. 09	Août 09	Sept. 09	Oct. 09	Total annuel
Eau (Mm^3)	48	101	307	67	27	25	151	58	49	41	116	67	**1058 Mm3**
MES CEMETE* (tonnes)	3 841	9 575	5 363	692	1 822	785	7 992	1 725	2 605	1 258	5 501	4 012	**45 216 tonnes**
MES (tonnes)	3 467	7 482	4 991	646	1 418	552	7 488	1 303	2 316	912	4567	3 272	**38 447 tonnes**
$P\text{-}PO_4^{3-}$ (kgP)	249	478	340	49	30	41	233	69	79	68	123	163	**2 tonnes**
$N\text{-}NO_3^-$ (kgN)	21 869	57 350	210 114	44 827	11 022	9 722	55 019	20 409	15 029	10 175	32 976	21 014	**510 tonnes**
$N\text{-}NO_2^-$ (kgN)	347	638	1 540	321	163	134	657	264	162	165	502	268	**5 tonnes**
$N\text{-}NH_4^+$ (kgN)	32	51	99	231	26	35	337	2911	21	29	36	21	**4 tonnes**
P-particulaire (kgP)	1 386	2 849	2 407	608	656	390	4 305	607	1 380	1 051	5 472	3 068	**24 tonnes**
N-particulaire (kgN)	3 425	7 285	8 187	1 578	2 079	865	6 614	2 050	4 604	5 012	13 664	7 586	**63 tonnes**
POD (kgP)	307	247	1 157	126	109	124	576	273	193	266	519	280	**4 tonnes**
NOD (kgN)	14 750	29 102	163 152	29 519	7 155	6 926	83 151	38 841	22 574	18 094	53 711	36 612	**504 tonnes**
P total (kgP)	1 942	3 574	3 857	783	795	554	5 114	949	1 651	1 262	6 113	3 512	**30 tonnes**
N-total (kgN)	40 162	94 427	382 771	76 476	20 444	17 683	145 778	64 474	42 389	33 010	100 889	65 001	**1 085 tonnes**

* Les mesures réglementaires sont réalisées par le laboratoire CEMETE.

Ce bilan annuel complet amène, avec les nouvelles modalités d'exploitation et la réduction des quotas en eau et limons à revoir le bilan des apports en azote et phosphore à l'étang par le canal EDF.
En 1999, les flux d'apports en azote et phosphore total étaient évalués respectivement à 2800 et 50 tonnes (Bilan des connaissances GIPREB). En 2008/2009, ils sont respectivement de 1085 et 30 tonnes.

Par ailleurs, ce suivi particulier s'inscrit dans le cadre d'un suivi plus large concernant les bilans de matière dans l'étang. En effet, un modèle biogéochimique tridimensionnel de l'étang représentant de façon précise les hétérogénéités spatiales aussi bien horizontales que verticales (gradient de salinité, stratification, hypoxie des masses d'eau profondes) a été développé par EDF. Ce modèle est couplé au modèle TELEMAC 3D d'hydrodynamique et de salinité. La validation de ce modèle couplé a déjà été réalisée à partir des mesures des paramètres biogéochimiques en 2005 et 2006 (thèse E. Gouze, 2008). Des mesures supplémentaires sont, depuis début 2008, enregistrées en continu dans l'étang : chlorophylle *a*, nitrates, oxygène dissous à différentes stations en surface et au fond.

1.7.2 Substances dangereuses

Des campagnes de mesure des substances dangereuses ont été réalisées à partir de l'année 2005. Les résultats sont récapitulés dans le Tableau 10.

Les substances analysées sont :

- Soit, de 2005 à 2007, les substances du décret n°20 05-378 du 20 avril 2005 relatif au programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses, et de ses arrêtés d'application (arrêté du 20 avril modifié par les arrêtés du 27 avril et 6 septembre 2005 et du 21 mars 2007 ; et arrêté du 30 juin 2005 modifié par l'arrêté du 21 mars 2007),
- Soit, à partir de 2008, celles relatives au programme du contrôle de surveillance DCE comprenant les 41 substances prioritaires de la Directive Cadre sur l'eau 2000/60/CE ainsi que les autres substances pertinentes au titre du programme national de réduction des substances dangereuses (voir Tableaux 1 à 4 de la Circulaire « surveillance » DCE 2006/16 du 13 juillet 2006 relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance DCE pour les eaux douces de surface).

Sur l'ensemble des substances dangereuses analysées lors de ces prélèvements (> 200 substances), les substances décelées (substances dont les concentrations atteignent ou dépassent les seuils de quantification[1]) sont peu nombreuses.

Parmi les substances décelées, aucune ne présente un niveau supérieur à la valeur de la norme de qualité environnementale provisoire (NQEp)[1] définie dans la Circulaire du 7 mai 2007[2] (sous réserve du bruit de fond géochimique pour le zinc et l'uranium). De même les normes de qualité définies dans la Directive Européenne 2008/105/CE du 16 déc. 2008 ne sont pas dépassées.

Nota : le tributylétain (TBT), une substance prioritaire de la DCE, a été mesuré à l'occasion du prélèvement du 13/09/2007 en concentration supérieure à la valeur de la norme de qualité provisoire définie dans la Circulaire du 7 mai. Il est à noter que cette mesure ponctuelle de concentration ne correspond pas formellement à un dépassement de la norme de qualité qui est établie sur la base d'une valeur moyenne annuelle ; les mesures réalisées ultérieurement n'ayant pas permis de déceler à nouveau ce composé.

[1] Seuil de quantification : valeur au dessous de laquelle il est difficile de quantifier avec une incertitude acceptable.

[1] La norme de qualité environnementale provisoire est fondée sur une moyenne de concentrations annuelle.

[2] Circulaire du 7 mai 2007 définissant les "normes de qualité environnementale provisoires" (NQEp) des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau.

Tableau 10 : Mesures 2005-2009 de qualité d'eau du canal EDF à Lamanon - Tableau de synthèse des substances détectées

Comparaison des mesures de concentrations des composés décelés dans le canal EDF de la Durance à Lamanon lors des prélèvements réalisés de 2005 à 2009 (n.m = non mesuré). Les concentrations mesurées supérieures ou égales au seuil de quantification (SQ) [1] sont indiquées en bleu ; l'indication "< (valeur du seuil de quantification)" est reportée pour les composés non décelés. A noter que les seuils de quantification du Laboratoire ont évolué au cours des 4 ans pour certaines substances. Les seuils de quantification et les normes de qualité environnementale provisoires [2] actuels sont rappelés. A titre d'information les Normes de Qualité environnementales de la nouvelle Directive 2008/105/CE du 16/12/2008 [3] sont indiquées.

	support	unité	2005		2006	2007	2008				2009		SQ	NQEp	NQE 2008 [3]	
			06-juil	15-nov	19-sept	13-sept	29-avr	30-juin	16-sept	26-nov	29-av	09-juin			MA	CMA
P_{total}	eau brute	mg/l	0.010	0.014	0.014	0.010	< 0.005	0.012	0,017	0,020	0,027	0,067	0.005	-	-	-
	eau filtrée		<0.010	0.006	0.012	0.021	n.m	< 0.005	n.m	0,010	< 0.005	< 0.005	0.005	0.2	-	-
NO_2^-	eau brute	mg/l	<0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0,02	0,03	0,02	0,02	0.02	-	-	-
	eau filtrée		n.m	0.03	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m		0.3	-	-
B	eau brute	µg/l	<10	27	68	15	37	80	41	20	112	18	5	-	-	-
	eau filtrée		<10	27	66	170	n.m	80	n.m	18	111	18		bruit de fond géochimique** + 218 (µg/l)	-	-
Ba	eau brute	µg/l	35	56	32	36	46	41	52	41	48	39	5	-	-	-
	eau filtrée		25	55	31	33	n.m	40	n.m	43	46	36		bruit de fond géochimique** + 58 (µg/l)	-	-
Fluorures	eau brute	µg/l	70	113	102	54	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	50	-	-	-
	eau filtrée		n.m	103	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m		370	-	-
Zn	eau brute	µg/l	12	5	<2	<2	< 2	<2	14	<2	6	6	2	-	-	-
	eau filtrée		<10	3	<2	<2	n.m	<2	n.m	5	4	4		bruit de fond géochimique** + 3.1 ou + 7.8 selon dureté de l'eau (µg/l)	-	-
Cu	eau brute	µg/l	< 10	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	3	*2*	-	-	-
	eau filtrée		< 10	< 2	n.m	< 2	n.m	< 2	n.m	3	< 2	3		2000	-	-
Hg	eau brute	µg/l	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	< 0.1	<0.1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0.1	1	-	-
	eau filtrée		n.m	<0.1	<0.1	<0.1	n.m	< 0.1	n.m	< 0,1	< 0,1	< 0,1		0.05	0,05	0,07
Arsenic	eau brute	µg/l	< 10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	0,4	0,8	0,2	-	-	-
	eau filtrée		< 10	< 5	n.m	< 5	n.m	< 5	n.m	< 5	0,4	0,6		10	-	-
Uranium	eau brute	µg/l	< 10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	0,9	1,3	0,2	-	-	-
	eau filtrée		< 10	< 5	n.m	< 5	n.m	< 5	n.m	< 5	0,9	1,2		bruit de fond géochimique** + 0,3 (µg/l)	-	-
Benzo(ghi)pérylène	eau brute	µg/l	<0.01	0.006*	<0.01	< 0.005	< 0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	0.002	0,002	-
	eau filtrée		n.m	0.007*	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m		-	-	-
Benzo(a)pyrène	eau brute	µg/l	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0,010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.05	0,05	0,1
Phénanthrène	eau brute	µg/l	n.m	n.m	n.m	n.m	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,11	-	-
Diuron	eau brute	µg/l	n.m	n.m	présence*	<0.02	< 0.02	<0.02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0.020	0.2	0,2	1,8
2,4-D	eau brute	µg/l	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	présence*	0,020	1,5	-	-
Monobutylétain	eau brute	µg Sn/l	<0.020	< 0.020	<0.020	0.020	0.020	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	0.020	-	-	-
Dibutylétain	eau brute	µg Sn/l	<0.005	< 0.005	<0.005	0.034	< 0.005	< 0.010***	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0.005	-	-	-
Tributylétain	eau brute	µg Sn/l	<0.010	< 0.010	<0.010	0.016	< 0.005	< 0.024***	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	0.005	0.0002 µg TBT/l (équivalent à 8.10^{-5} µg Sn/l)	0,0002	0,0015
Tétrabutylétain	eau brute	µg Sn/l	<0.005	< 0.005	<0.005	0.006	< 0.005	< 0.015***	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0.005	-	-	-
Monooctylétain	eau brute	µg Sn/l	<0.005	< 0.005	<0.005	0.093	1.980	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	0.005	-	-	-

	support	unité	2005		2006	2007	2008				2009		SQ	NQEp	NQE 2008 [3]	
			06-juil	15-nov	19-sept	13-sept	29-avr	30-juin	16-sept	26-nov	29-av	09-juin			MA	CMA
Composés mesurés hors substances dangereuses																
MES	eau brute	mg/l	40	16	13	6	77	15	189	28	16	43	1	-	-	-
nitrates	eau brute	mg NO_3/l	n.m	n.m	n.m	1.2	2.8	1.3	1,9	2,0	1,9	2,3	1	-	-	-
ammonium	eau brute	mg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.08	<0.05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0.05	-	-	-
orthophosphates	eau brute	mg/l	n.m	n.m	n.m	0.006	< 0.005	<0.005	< 0,03	< 0,03	< 0,005	0,005	0.005	-	-	-

* Dans son rapport officiel, le laboratoire LDA (Laboratoire Départemental Agrée) indique désormais « présence » lorsque les concentrations sont supérieures au seuil de detection et inférieures au seuil de quantification.

****** L'estimation de la concentration du bruit de fond géochimique est basée sur la meilleure information disponible relative à la concentration dans le même type de milieu naturel soumis à une faible pression anthropique.

*** Les mesures sont indiquées ici en µg par litre de di/tri/ou tétra – butylétain

[1] Seuil de quantification : valeur au dessous de laquelle il est difficile de quantifier avec une incertitude acceptable.

[2] La Circulaire du 7 mai 2007 définit les « normes de qualité environnementale provisoires » (NQEp) des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau. La NQEp est fondée sur une moyenne de concentrations annuelle.

[3] La Directive du 16 décembre 2008 définit les « normes de qualité environnementale » (NQE) dans le domaine de l'eau en terme de moyenne annuelle (MA) et de concentration maximale admissible (CMA). Les Etats membres doivent mettre en vigueur les dispositionbs nécessaires pour se conformer à cette directive au plus tard le 13 juillet 2010.

1.8 Conclusion sur les apports d'eau douce et de limons

Le bilan des apports sur les 4 exercices annuels, depuis la mise en place du lissage des apports par EDF en septembre 2005 et la publication du décret d'avenant à la concession de Salon St Chamas en décembre 2006 est récapitulé dans le tableau suivant :

Apports à l'étang de Berre	**2005/2006**	**2006/2007**	**2007/2008**	**2008/2009**
Apports en eau totaux (Mm^3)	**788**	**841**	**666**	**1058**
% quota liquide	66%	70%	56%	88%
Apports en limons totaux (tonnes)	**46 843**	**41 411**	**63 816**	**45 199**
Apports en limons comptabilisés dans le quota annuel (tonnes)	45 632	40 756	57 011	43 740
% quota solide	76%	68%	95%	73%

Les quotas annuels en eau douce et limons, ainsi que les quotas hebdomadaires sur les apports d'eau douce ont été respectés.

Les apports d'eau douce à l'étang de Berre résultent de la gestion de la chaîne hydroélectrique Durance-Verdon elle même encadrée par plusieurs critères : l'objectif de remplissage des réservoirs de tête (Serre Ponçon, Ste Croix), les prélèvements d'eau et les contraintes liées à l'hydrologie naturelle (*e.g.* sécheresse, crues).

Il est à noter que les quotas annuels maximums n'ont pas été atteints. Cela résulte de la combinaison du contexte hydrologique (sécheresse marquée des années 2005, 2006 et 2007), de la gestion prévisionnelle en avenir incertain sur les apports du bassin versant qui conduit à une gestion prudente notamment lors de périodes hivernales relativement sèches (préservation de stocks disponibles dans les réservoirs de tête), et du caractère limitant pour la gestion des débits turbinés des limons (exercices 2005/2006, 2006/2007 et 2007/2008) ou des objectifs de salinité (exercice 2008/2009).

Les quantités restituées en Durance à Mallemort sur ces 4 exercices annuels sont récapitulées dans le tableau suivant :

Apports en Durance	**2005/2006**	**2006/2007**	**2007/2008**	**2008/2009**
Apports en eau totaux (Mm^3)	**558**	**857**	**753**	**2 647**
Apports en limons totaux (tonnes)	**714 697**	**548 226**	**473 071**	**269 514**

Enfin, les mesures de qualité d'eau confirment que les eaux de la Durance sont de bonne qualité, avec aucune mesure de substance dangereuse ne dépassant les normes établies. Par ailleurs, un bilan complet des apports en azote et phosphore réalisé pendant la période d'expérimentation amène à réviser, avec la réduction des quotas les apports à l'étang en substances eutrophisantes par le canal EDF : 1085 tonnes d'azote et 30 tonnes de phosphore sur une année à 1058 Mm^3 d'eau turbinée.

2 INDICATEUR SALINITE

La deuxième partie de ce document de synthèse est consacrée à l'étude de l'indicateur salinité. La tenue des états réglementaires et des indicateurs de salinité hebdomadaires pour les 4 exercices annuels est présentée ; puis une analyse de l'évolution spatiale et temporelle de la salinité est proposée sur la base de l'ensemble des données disponibles pour identifier les grandes tendances importantes pour analyser l'évolution des indicateurs biologiques.

2.1 Evolution des indicateurs de salinité réglementaires

Le suivi réglementaire de la salinité de l'étang de Berre s'appuie sur la mesure de salinité en continu sur 16 points de contrôle. Nous présentons en figure 9 la localisation de ces points ainsi que les profondeurs auxquelles sont effectuées les mesures.

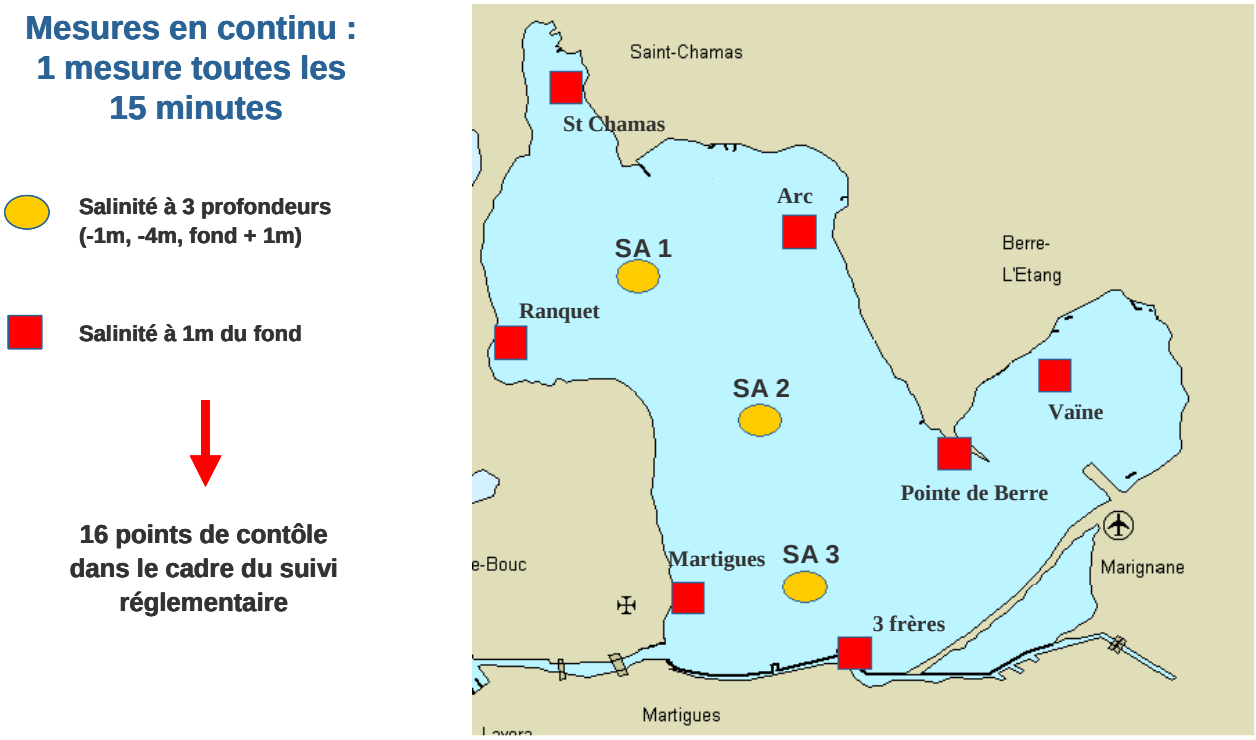


Figure 9. Localisation des points de contrôle du suivi réglementaire de la salinité.

Les stations SA3, Martigues, Ranquet, Arc et Pointe de Berre sont opérationnelles depuis septembre 2006 (phase 1). Les stations SA1, SA2, 3 frères, St Chamas et Vaïne complétant le dispositif ont été mises en service en mars 2007 (phase 2).

A partir de ces mesures en continu, sont calculées les moyennes hebdomadaires pour chaque point de contrôle.
La Figure 10 présente l'évolution de la salinité en moyenne hebdomadaire pour les 16 points de contrôle du suivi réglementaire sur la période novembre 2006 - octobre 2009. Les exercices 2006/2007 (nov. 2006-oct. 2007), 2007/2008 (nov. 2007-oct. 2008) et 2008/2009 (nov. 2008-oct. 2009) sont distingués.

Les grandes tendances de l'évolution temporelle de la salinité sont décrites ci-après.
Sur l'exercice 2006/2007, pour les stations SA3, Arc, Martigues, Pointe de Berre et Ranquet opérationnelles en début d'exercice, on constate une diminution de la salinité après les turbinages de la période hivernale, passant de ~27-28 g/l en novembre 2006 à 20-22 g/l à fin avril 2007. Sur les 6 mois suivants, une hausse de la salinité assez nette est observée pendant la période estivale sans turbinage, les valeurs de salinité en fin d'exercice atteignant les 23-26 g/l selon la profondeur.
Au cours de l'exercice 2007/2008, les valeurs de salinité se sont globalement maintenues dans les mêmes gammes, avec des turbinages moins soutenus sur la période hivernale qu'à la même période sur l'exercice précédent, et une hausse estivale moins marquée en lien avec la plus courte durée d'interruption des turbinages pendant l'été (interruption pendant la crue en juin 2008). En surface (-1 m), de novembre 2007 à octobre 2008, l'amplitude de variation maximale de salinité hebdomadaire est de 6 unités de salinité (elle est relevée en SA1 : variation des valeurs hebdomadaires entre 19.6 et 26,0 g/l ; cf. tableau 11b). On observe globalement des valeurs hebdomadaires homogènes, voire très homogènes aux stations littorales. Seule la salinité au fond à la station SA3, présente des variations temporelles plus marquées en raison de l'influence du coin salé.

Nota 1 : La diminution globale de la salinité en SA3 au fond à partir de septembre 2007 est liée à un déplacement de la sonde de mesure (après manipulation) à une profondeur plus faible (+ 30 cm, en septembre 2007) ; la profondeur de la sonde a de nouveau été remontée en décembre 2007 (+ 30 cm, lors du changement de la bouée flottante qui supporte la ligne de mouillage des sondes de mesure).

Nota 2 : pour la campagne 2007/2008, les indicateurs hebdomadaires de salinité à la station littorale des Trois-Frères ne sont pas disponibles sur les semaines 32 à 35. Suite à une erreur de reprogrammation de la sonde de mesure à sa remise à l'eau lors de la campagne mensuelle de lecture des données, aucune donnée n'a été enregistrée pour cette période. Une procédure de vérification du bon fonctionnement des sondes de mesure avant remise à l'eau a été mise en place pour éviter ces incidents.

Sur l'exercice 2008/2009, la salinité en période hivernale a présenté une diminution marquée de novembre 2008 à février 2009. Les valeurs de salinité sont passées sous le seuil de 20 g/l. Le minimum de 14.5 intervient en surface à la station centrale SA1 au Nord de l'étang. C'est essentiellement à ce point de contrôle que la salinité présente les valeurs les plus faibles, ce dernier étant le plus proche de l'usine hydroélectrique de Saint-Chamas et directement dans le panache des rejets d'eau douce ainsi que sous l'influence des apports de l'Arc, dont l'influence peut être significative en cas de crue (décembre).
Cette diminution importante de la salinité est liée :
- aux apports naturels locaux dus aux précipitations, à l'origine d'une diminution globale de la salinité de plusieurs g/l
- au cumul de turbinages liés au chantier sur le seuil 68 de janvier-février 2009 (cf. §1.4).
Nota : en l'absence de la contrainte relative au chantier, les volumes turbinés auraient été moins concentrés sur cette période, mieux répartis sur l'hiver et auraient eu pour un volume équivalent un moindre impact global sur la salinité.
On observe ensuite sur la période fév.-avril 2009 suivant le chantier du seuil 68 avec des turbinages limités, une remontée progressive des valeurs de salinité. Toutefois, des apports naturels relativement élevés sur la suite de l'exercice (*e.g.* avril 2009) ont freiné cette remontée. Les valeurs sont de l'ordre de 23-24 g/l en fin d'exercice (28 g/l en SA3 -9m).

Malgré des apports annuels en eau douce différents (841, 666, 1058 Mm^3), les indicateurs de salinité hebdomadaire en fin d'exercice (*i.e.* fin octobre) sont du même ordre de grandeur entre ces 3 exercices annuels : de l'ordre de 23-25 g/l en surface et 23-27 g/l en profondeur. Sur la base de ce constat, il semble que l'évolution de la salinité soit plus influencée par la distribution des apports en eau dans le temps que par le volume d'apport annuel. Ainsi, pour un volume annuel turbiné supérieur, l'impact sur la salinité en fin d'exercice peut être moindre selon la distribution des turbinages.

Les Figures 11 et 11 bis reprennent en vision plus globale les variations moyennes de la salinité pour l'ensemble des points de contrôle.

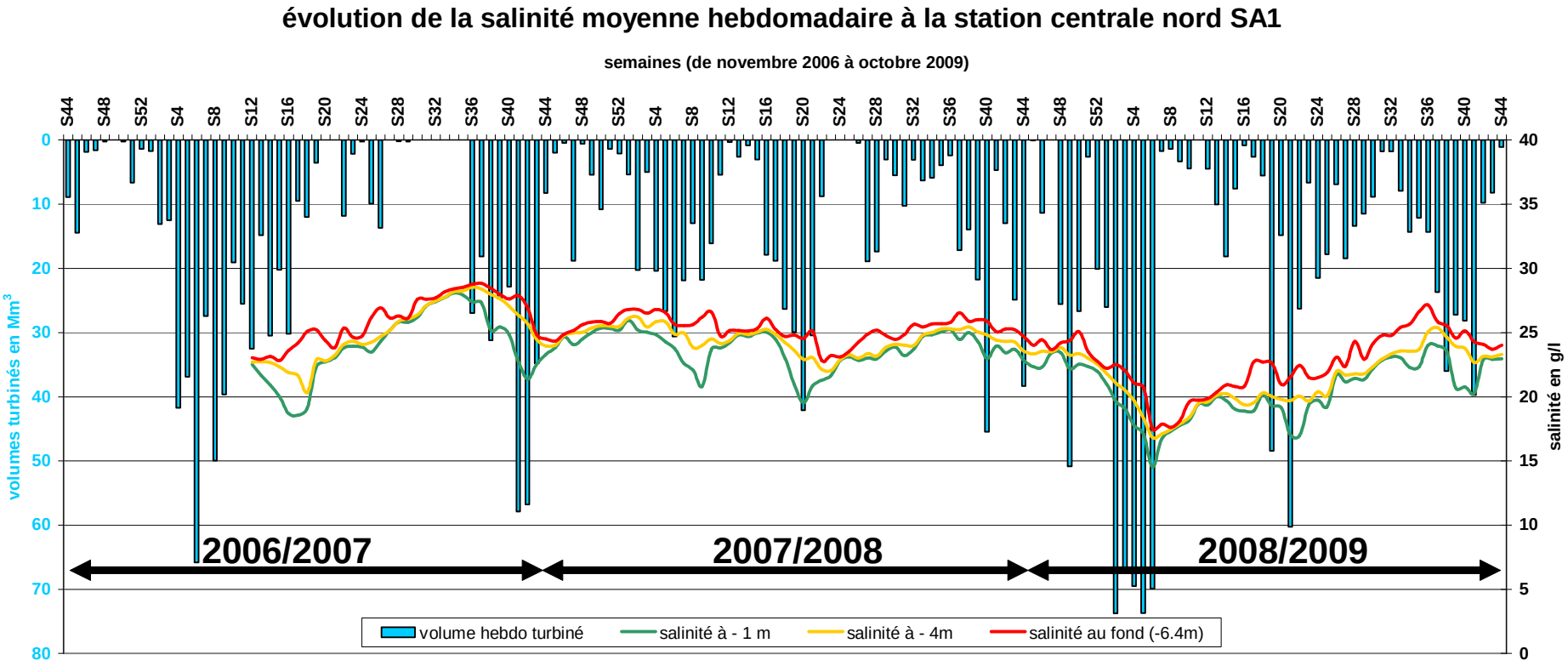


Figure 10 (1/4). Evolution de la moyenne hebdomadaire de la salinité aux profondeurs réglementaires du suivi à la station SA1 et volumes hebdomadaires turbinés de novembre 2006 à octobre 2009.

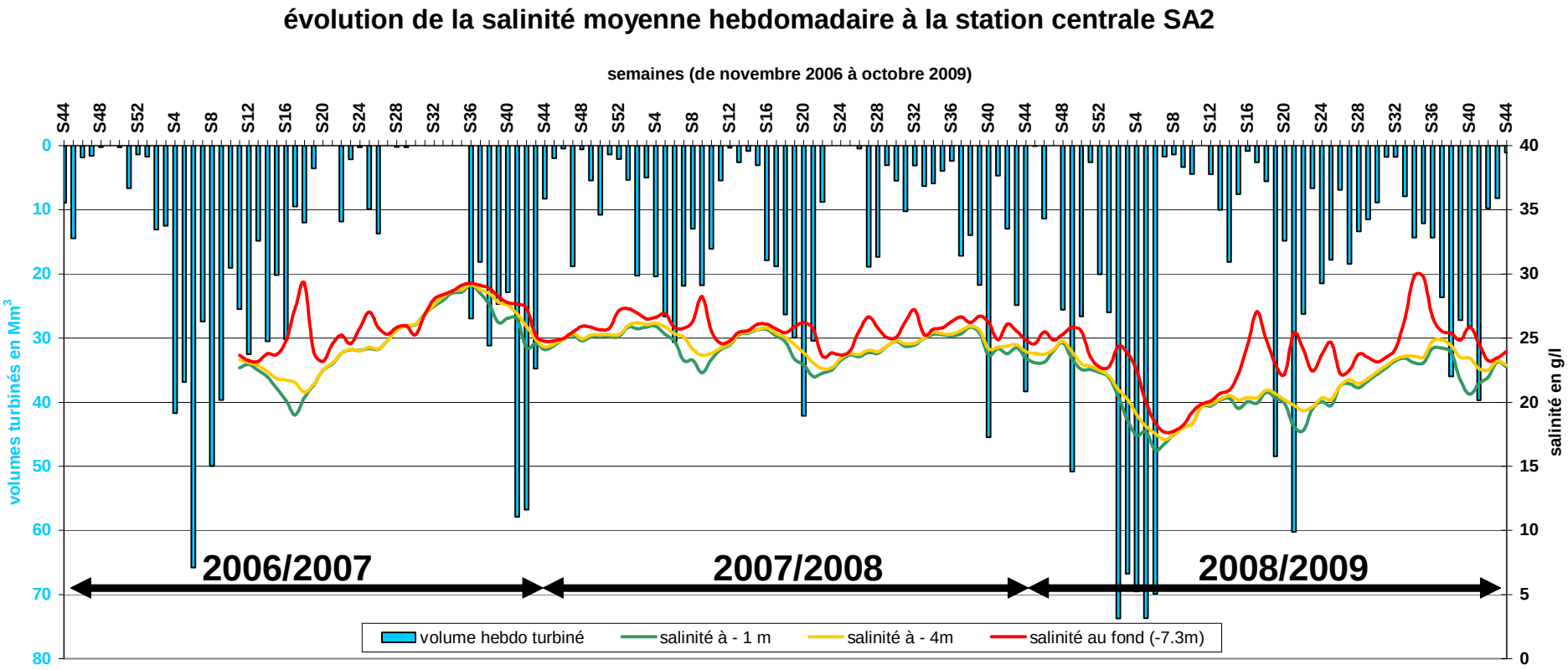


Figure 10 (2/4). Evolution de la moyenne hebdomadaire de la salinité aux profondeurs réglementaires du suivi à la station SA2 et volumes hebdomadaires turbinés de novembre 2006 à octobre 2009.

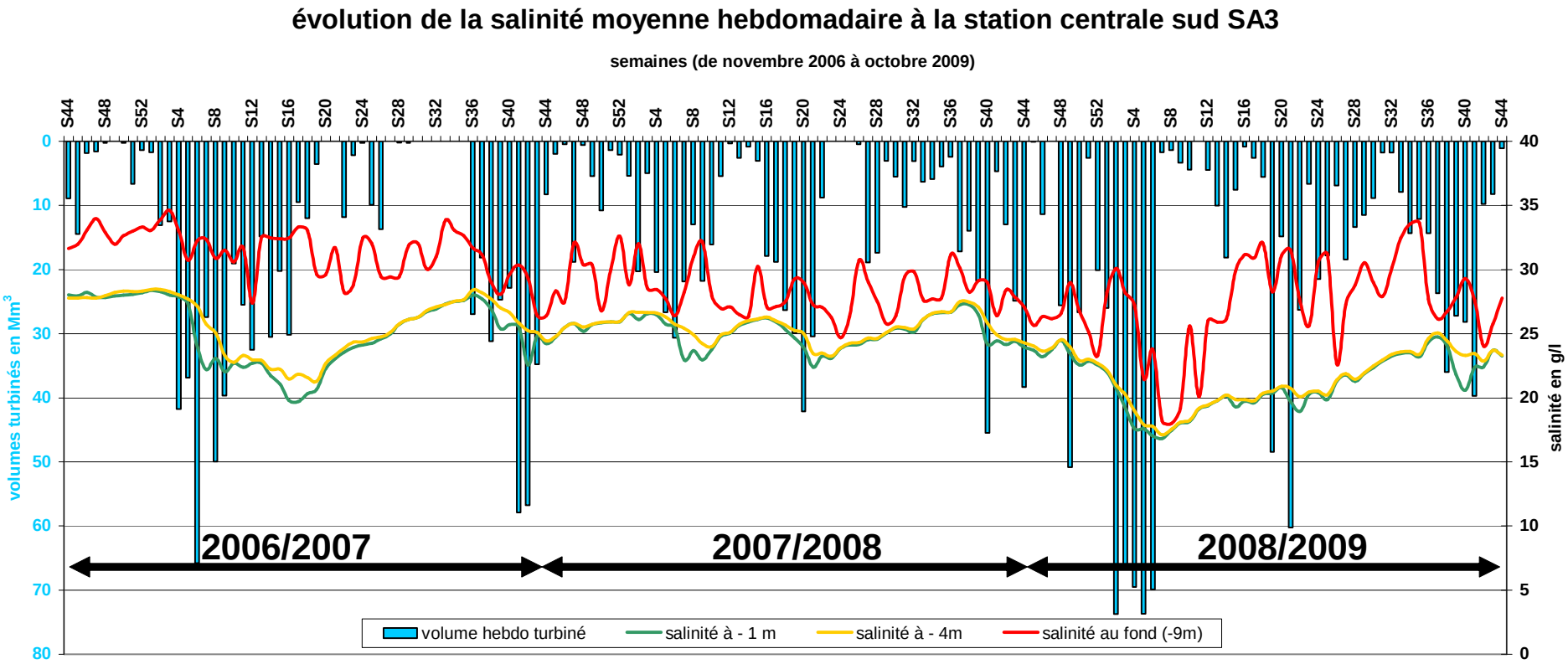


Figure 10 (3/4). Evolution de la moyenne hebdomadaire de la salinité aux profondeurs réglementaires du suivi à la station SA3 et volumes hebdomadaires turbinés de novembre 2006 à octobre 2009.

Nota : la diminution globale de la salinité en SA3 au fond à partir de septembre 2007 est liée à un déplacement de la sonde de mesure (après manipulation) à une profondeur plus faible (+ 30 cm, en septembre 2007) ; la profondeur de la sonde a de nouveau été remontée en décembre 2007 (+ 30 cm, lors du changement de la bouée flottante qui supporte la ligne de mouillage des sondes de mesure).

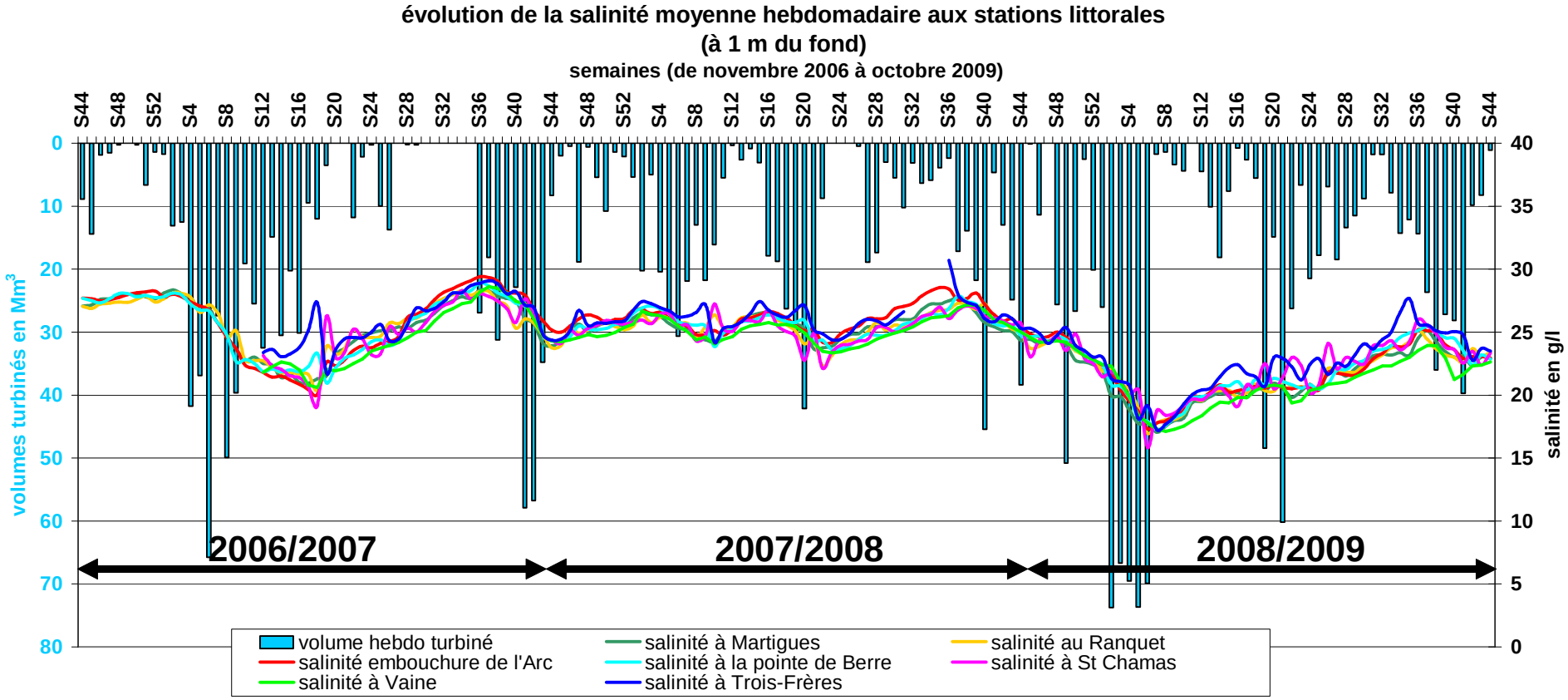


Figure 10 (4/4). Evolution de la moyenne hebdomadaire de la salinité aux profondeurs réglementaires du suivi aux stations littorales de l'Arc, Martigues, Pointe de Berre, Ranquet, St Chamas, Trois Frères et Vaine ; et volumes hebdomadaires turbinés de novembre 2006 à octobre 2009.

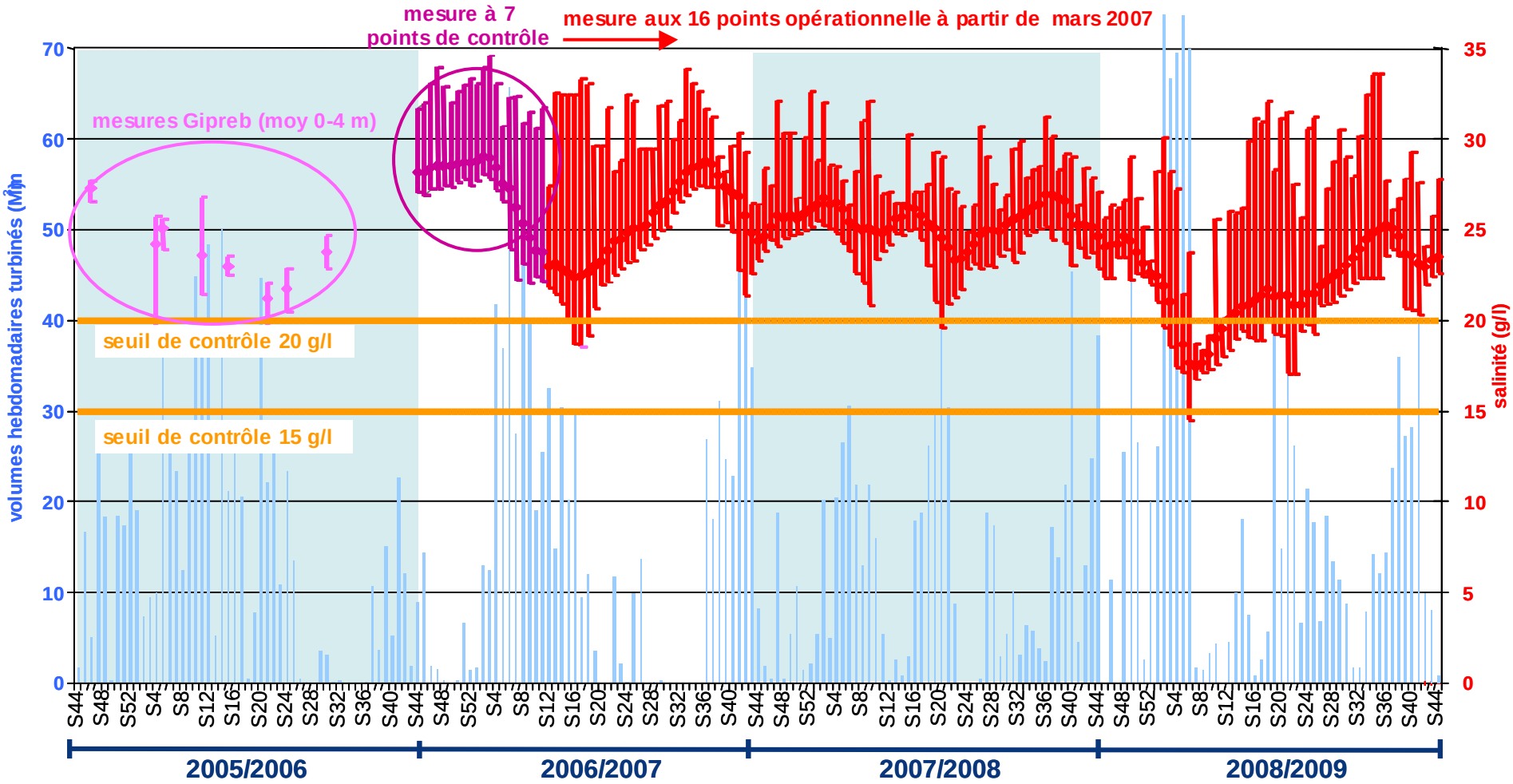


Figure 11. Variations moyennes et valeurs minimales et maximales des 16 points de mesure réglementaires de salinité, mis en œuvre à partir de mars 2007. Les mesures de salinité précédent cette période sont indiquées à titre indicatif (mesures du Gipreb en 2005/2006 et mesures à partir du dispositif de contrôle partiel mis en place en début d'exercice 2006/2007).

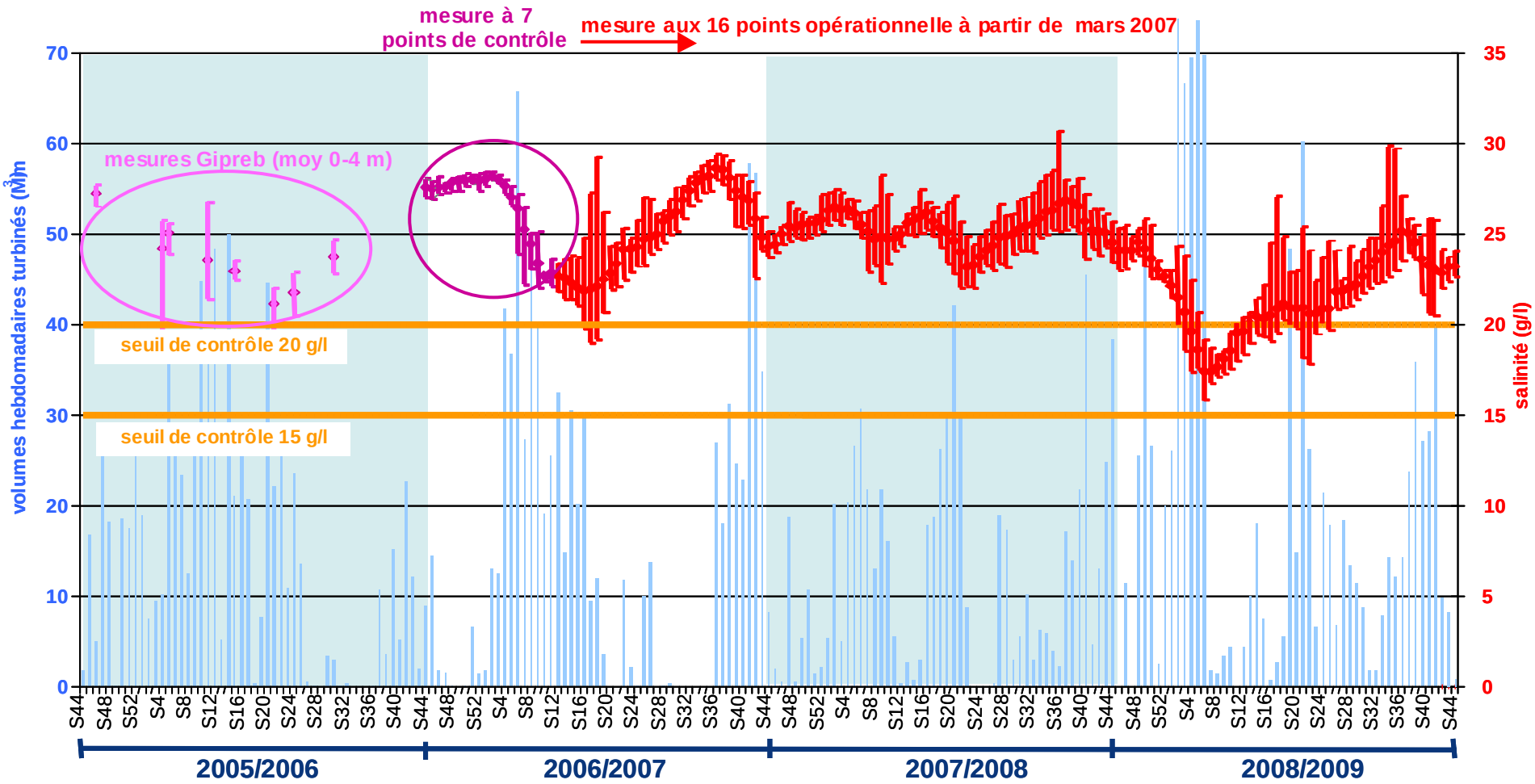


Figure 11 bis. **Variations moyennes et valeurs minimales et maximales de 14 points de mesure réglementaires de salinité sur les 16 mis en œuvre à partir de mars 2007. Les données extrêmes de la sonde SA1(-1m) fortement influencée par les turbinages, et de la station SA3(-9m) fortement influencée par les entrées d'eaux marines sont exclues des variations présentées. Les mesures de salinité précédent cette période sont indiquées à titre indicatif (mesures du Gipreb en 2005/2006 et mesures à partir du dispositif de contrôle partiel (SA3 -9m exclue) mis en place en début d'exercice 2006/2007).**

Les tableaux 11a, 11b, 11c extraits des états réglementaires rassemblent pour les exercices 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009 l'ensemble des valeurs hebdomadaires pour les 16 points de contrôle.

Sur toute cette période, les objectifs de salinité annuels (95% des valeurs en moyennes hebdomadaires sur l'année supérieures à 15 g/l et 75% des valeurs supérieures à 20 g/l) ont été respectés.

Tableau 11a. Etang de Berre. Contrôle de la salinité – campagne 2006-2007.

étang de Berre : contrôle de la salinité - campagne 2006 / 2007																			
	Salinité moyenne hebdomadaire en g/l																	suivi indicateurs de salinité	
	stations centrales									stations littorales (CTD 1 à 7)									
	nord (SA1)			centre (SA2)			sud (SA3)			Martigues	Ranquet	Saint Chamas	Arc	Pointe de Berre	Vaïne	3 frères			
semaine	-1m	-4m	fond	-1m	-4m	fond	-1m	-4m	fond									nombre de valeurs hebdo >15 g/l	nombre de valeurs hebdo >20 g/l
sem 44	mesures indisponibles en 1ère phase						28,0	27,8	31,6	27,1	27,0	id.	27,7	27,7	id.			7	7
sem 45							27,9	27,8	32,0	27,2	26,9		27,6	27,5				7	7
sem 46							28,2	27,8	33,1	27,6	27,2		27,5	27,3				7	7
sem 47							27,9	27,8	34,0	27,6	27,3		27,6	27,7				7	7
sem 48							27,8	28,0	32,9	27,9	27,4		27,8	28,0				7	7
sem 49							28,0	28,2	32,0	28,0	27,4		28,0	28,1				7	7
sem 50							28,0	28,3	32,7	28,0	27,6		28,1	27,8				7	7
sem 51							28,1	28,3	33,0	27,8	27,9		28,2	27,9				7	7
sem 52							28,2	28,3	33,3	27,6	27,4		28,2	27,7				7	7
sem 1							28,4	28,5	33,0	28,1	27,6		27,8	27,8				7	7
sem 2							28,3	28,5	33,9	28,3	28,1		28,0	28,1				7	7
sem 3							28,0	28,3	34,6	28,0	28,1		27,8	27,9				7	7
sem 4							27,9	28,0	33,0	27,7	27,7		27,4	27,2				7	7
sem 5							27,3	27,7	30,7	26,7	26,6		27,1	26,7				7	7
sem 6							23,9	27,1	32,3	26,8	27,2		26,8	26,7				7	7
sem 7							22,2	25,7	32,4	25,7	26,5		25,7	25,7				7	7
sem 8							23,1	25,1	30,9	24,7	24,6		24,6	24,7				7	7
sem 9							22,0	23,3	31,5	23,6	25,1		23,6	22,6				7	7
sem 10							22,7	22,8	30,6	22,7	22,8		22,4	22,8				7	7
sem 11				22,7	23,3	23,7	22,4	23,3	31,7	23,0	22,7		22,1	22,5				10	10
sem 12	22,5	22,7	23,0	22,9	23,1	23,2	22,7	23,0	27,4	22,5	22,7	23,1	21,8	21,9	21,8	23,4		16	16
sem 13	21,7	22,7	22,9	22,5	22,9	23,2	22,7	22,9	32,5	22,4	22,1	22,3	21,4	22,1	22,3	23,6		16	16
sem 14	20,9	22,7	23,1	22,0	22,4	23,8	21,7	22,2	32,4	21,4	21,8	22,0	21,5	21,8	22,6	23,0		16	16
sem 15	**20,0**	22,3	22,8	21,1	21,8	23,7	21,1	22,2	32,4	21,7	21,8	21,5	21,2	22,0	22,5	23,3		16	15
sem 16	**18,7**	21,9	23,6	20,1	21,7	24,8	**19,8**	21,5	32,5	21,0	21,7	21,4	20,8	21,8	22,0	23,8		16	14
sem 17	**18,6**	21,7	24,2	**19,0**	21,5	27,3	**19,7**	21,8	33,3	20,9	21,6	20,7	20,4	22,3	20,8	25,1		16	13
sem 18	**19,1**	20,3	25,1	20,4	20,8	29,3	20,3	21,6	33,0	21,3	20,4	**19,2**	20,1	23,3	20,6	27,3		16	14
sem 19	22,3	22,8	25,2	21,3	21,4	23,9	20,6	21,3	29,6	21,5	23,8	26,2	22,6	21,0	22,0	21,8		16	16
sem 20	22,7	22,8	24,4	22,5	22,5	23,2	22,3	22,7	29,6	23,2	23,2	23,0	22,3	22,1	21,9	23,6		16	16
sem 21	23,0	23,2	23,8	23,0	23,0	24,5	23,0	23,3	31,7	23,7	23,7	23,4	22,8	22,9	22,1	24,5		16	16
sem 22	23,8	24,1	25,3	23,8	23,8	25,2	23,5	23,9	28,2	24,3	25,2	25,2	23,5	23,2	22,5	24,6		16	16
sem 23	23,9	24,3	24,6	24,1	24,1	24,6	23,9	24,3	28,8	24,7	24,7	24,5	23,9	23,6	22,9	24,5		16	16
sem 24	23,9	24,1	24,8	24,0	24,0	25,8	24,1	24,3	32,5	24,9	24,6	23,2	23,8	24,2	23,5	25,0		16	16
sem 25	23,5	24,3	26,2	24,2	24,3	27,0	24,3	24,6	32,1	25,1	24,7	23,3	24,1	24,4	23,7	25,6		16	16
sem 26	24,3	24,7	26,9	24,1	24,1	25,8	24,6	24,7	29,5	25,1	25,7	25,4	24,3	24,0	23,9	24,3		16	16
sem 27	25,2	25,2	26,2	24,8	24,8	25,3	25,0	25,1	29,4	25,4	25,7	24,8	24,6	24,3	24,2	24,5		16	16
sem 28	25,8	25,9	26,3	25,6	25,6	25,8	25,7	25,8	29,4	25,3	26,1	25,3	26,2	25,7	24,5	25,6		16	16
sem 29	25,8	26,1	26,1	26,0	26,0	26,0	26,1	26,1	31,9	25,8	26,1	25,0	26,4	26,2	25,0	26,9		16	16
sem 30	26,2	26,4	27,6	26,0	26,1	25,3	26,3	26,3	32,0	26,0	26,6	25,8	26,9	26,5	25,1	26,7		16	16
sem 31	27,1	27,1	27,6	26,9	26,9	26,8	26,7	26,8	30,0	26,5	27,3	26,6	27,6	27,2	25,9	26,9		16	16
sem 32	27,4	27,5	27,7	27,5	27,6	28,0	26,9	27,1	31,0	27,1	27,7	27,1	28,2	27,5	26,6	27,4		16	16
sem 33	27,7	27,8	28,2	27,9	28,2	28,4	27,3	27,3	33,9	27,5	28,0	27,4	28,4	28,1	26,9	28,1		16	16
sem 34	28,1	28,2	28,4	28,5	28,7	28,7	27,5	27,5	33,1	27,8	28,3	28,3	28,8	28,1	27,3	28,1		16	16
sem 35	27,9	28,2	28,5	28,6	28,8	29,1	27,6	27,7	32,6	27,7	27,9	27,6	29,1	28,3	27,4	28,7		16	16
sem 36	27,4	28,5	28,8	29,1	29,2	29,3	28,0	28,4	31,7	28,3	28,2	28,0	29,4	28,9	28,2	28,9		16	16
sem 37	27,3	28,4	28,8	28,5	28,7	29,1	27,7	28,2	31,2	28,3	28,2	27,8	29,3	28,7	28,6	29,1		16	16
sem 38	25,2	28,0	28,4	27,6	28,5	28,9	26,9	27,7	29,0	27,9	27,5	27,5	29,0	28,1	28,5	28,9		16	16
sem 39	25,4	27,6	28,0	26,2	27,8	28,2	25,4	27,0	28,1	27,7	27,1	26,8	28,2	27,8	28,1	28,0		16	16
sem 40	24,8	27,0	27,6	26,6	27,6	27,7	25,7	26,7	29,6	27,5	25,3	25,8	28,1	27,3	27,5	28,2		16	16
sem 41	22,7	26,4	27,9	26,4	26,9	27,7	25,5	25,8	30,3	26,1	26,1	27,7	27,9	27,1	27,3	27,1		16	16
sem 42	21,4	25,7	26,9	24,3	25,9	27,3	22,5	25,2	29,3	25,7	25,7	26,3	26,8	26,7	26,0	26,9		16	16
sem 43	22,6	24,5	24,8	24,6	24,9	25,2	24,8	25,1	26,4	24,1	24,7	24,8	25,9	24,8	24,7	24,8		16	16
sem 44																			

NB : le calcul des indicateurs de salinité est réalisé sur toute la période depuis le début de la campagne ; il reste provisoire jusqu'à la dernière semaine de la campagne

indicateurs salinité	100,0%	98,8%
objectifs salinité	> 95%	> 75%

observations éventuelles :

Tableau 11b. Etang de Berre. Contrôle de la salinité – campagne 2007-2008.

étang de Berre : contrôle de la salinité - campagne 2007 / 2008

	Salinité moyenne hebdomadaire en g/l																suivi indicateurs de salinité	
	stations centrales									stations littorales (CTD 1 à 7)								
	nord (SA1)			centre (SA2)			sud (SA3)			Martigues	Ranquet	Saint Chamas	Arc	Pointe de Berre	Vaine	3 frères	nombre de valeurs hebdo >15 g/l	nombre de valeurs hebdo >20 g/l
semaine	-1m	-4m	fond	-1m	-4m	fond	-1m	-4m	fond									
sem 44	23,3	24,0	24,5	24,1	24,3	24,8	24,2	24,4	26,4	23,9	23,7	24,4	25,2	24,3	24,3	24,4	16	16
sem 45	23,8	24,0	24,3	24,4	24,5	24,8	24,7	24,8	28,3	24,3	24,0	24,1	25,0	24,3	24,2	24,4	16	16
sem 46	24,7	24,8	24,9	24,9	24,9	25,0	25,5	25,5	27,5	25,1	25,3	25,1	25,5	24,6	24,4	25,1	16	16
sem 47	24,1	25,0	25,2	25,2	25,4	25,5	25,8	25,8	32,1	25,6	24,9	24,7	26,0	25,5	24,6	26,7	16	16
sem 48	24,5	25,0	25,6	24,8	24,9	25,9	25,2	25,5	30,4	25,0	25,2	25,3	26,4	25,2	24,8	25,5	16	16
sem 49	25,0	25,4	25,8	25,1	25,2	25,9	25,7	25,7	30,4	25,5	25,6	25,5	26,2	25,2	24,7	25,7	16	16
sem 50	25,3	25,6	25,9	25,2	25,3	25,6	25,9	25,9	26,8	25,7	25,7	25,9	25,8	25,3	24,7	25,7	16	16
sem 51	25,3	25,5	25,7	25,1	25,3	25,8	25,9	25,9	30,0	25,7	25,4	25,8	26,0	25,6	25,0	25,8	16	16
sem 52	25,2	25,5	26,5	25,1	25,2	27,2	25,9	26,0	32,6	25,5	25,2	25,6	26,1	25,8	25,4	25,9	16	16
sem 1	26,0	26,1	26,8	25,9	26,0	27,3	26,6	26,6	28,8	26,1	25,5	25,8	26,7	26,5	25,6	26,7	16	16
sem 2	25,2	26,2	26,8	25,7	26,2	27,0	26,1	26,7	32,0	26,5	26,3	26,0	26,8	26,9	26,7	27,4	16	16
sem 3	25,0	25,5	26,5	25,9	26,1	26,5	26,5	26,6	28,5	26,4	25,8	25,7	26,5	27,1	26,4	27,3	16	16
sem 4	24,8	25,8	26,8	25,9	26,2	26,6	26,5	26,6	28,4	26,2	26,2	26,4	26,6	26,9	26,3	26,9	16	16
sem 5	24,3	25,8	26,6	25,3	25,9	26,9	25,7	26,3	27,7	25,7	26,3	26,5	26,3	26,4	26,1	26,7	16	16
sem 6	23,8	24,9	25,6	24,8	25,3	25,8	25,4	25,7	26,4	25,3	25,7	25,5	25,7	25,8	25,5	26,2	16	16
sem 7	22,6	25,0	25,5	23,2	25,1	25,8	22,9	25,4	28,2	25,2	25,7	25,6	25,5	25,6	25,0	26,3	16	16
sem 8	22,1	23,8	25,6	23,3	24,1	26,3	23,7	24,9	31,0	24,6	24,6	24,3	24,8	25,5	24,4	26,5	16	16
sem 9	20,8	24,0	26,2	22,3	23,6	28,2	23,0	24,2	32,1	24,4	25,5	24,7	24,8	25,5	24,6	27,2	16	16
sem 10	23,7	24,5	26,6	23,3	23,8	25,5	23,8	24,0	28,0	24,2	26,4	27,2	25,1	23,8	24,1	24,2	16	16
sem 11	23,8	24,2	24,7	24,1	24,2	24,6	24,8	24,9	27,0	25,1	25,4	25,3	24,8	24,9	24,4	25,3	16	16
sem 12	24,2	24,4	25,2	24,5	24,6	24,8	25,0	25,1	27,1	25,3	25,4	25,1	25,2	25,2	24,7	25,4	16	16
sem 13	24,8	24,9	25,2	25,3	25,3	25,5	25,6	25,7	26,5	26,1	26,1	25,9	26,0	25,8	25,2	25,8	16	16
sem 14	24,7	24,9	25,1	25,4	25,4	25,6	25,9	26,0	26,4	26,3	26,2	25,9	26,1	25,9	25,5	26,5	16	16
sem 15	25,0	25,0	25,3	25,6	25,7	26,1	26,1	26,2	30,3	26,5	26,4	25,8	26,4	26,1	25,6	27,4	16	16
sem 16	25,0	25,3	26,1	25,7	25,8	26,1	26,2	26,3	27,0	26,6	26,6	26,8	26,6	26,4	25,8	26,7	16	16
sem 17	24,5	24,8	25,2	25,2	25,3	25,7	25,9	26,0	27,1	26,3	26,0	25,5	26,5	26,1	25,6	26,3	16	16
sem 18	23,0	24,2	24,7	24,7	25,0	25,4	25,3	25,7	27,5	25,8	25,6	25,0	26,1	25,8	25,6	26,2	16	16
sem 19	21,0	23,6	24,8	23,4	24,5	25,9	24,7	25,3	29,3	25,6	25,0	24,7	25,5	25,8	25,4	26,7	16	16
sem 20	19,6	22,9	24,5	22,9	23,8	26,2	23,9	25,0	29,0	25,2	24,1	22,8	25,1	25,9	24,9	27,1	16	15
sem 21	20,9	23,1	25,1	22,0	23,1	25,7	22,4	23,5	27,2	23,7	24,4	24,9	25,2	24,3	24,1	25,2	16	16
sem 22	21,3	22,1	22,8	22,3	22,6	23,6	23,2	23,5	27,0	23,8	22,3	22,1	24,2	24,3	23,5	24,9	16	16
sem 23	21,7	22,0	23,2	22,5	22,7	23,8	23,1	23,2	26,3	23,9	23,2	23,4	24,2	23,6	23,3	24,4	16	16
sem 24	22,8	22,9	23,1	23,3	23,4	23,7	23,9	23,9	24,7	24,4	24,0	24,0	24,9	23,6	23,4	24,4	16	16
sem 25	23,1	23,3	23,6	23,7	23,8	24,0	24,1	24,2	26,3	24,8	24,4	24,0	25,2	23,9	23,7	24,9	16	16
sem 26	22,8	23,0	24,3	23,6	23,7	25,6	24,1	24,3	30,7	24,9	24,5	24,3	25,5	24,4	23,8	25,7	16	16
sem 27	23,0	23,4	24,9	23,9	24,1	26,6	24,5	24,7	29,0	25,4	25,0	24,4	26,1	24,8	24,0	26,0	16	16
sem 28	22,9	23,2	25,2	23,8	23,9	25,7	24,6	24,6	27,5	25,4	25,8	25,4	26,1	24,7	24,4	25,9	16	16
sem 29	23,6	23,9	24,7	24,3	24,4	25,0	25,0	25,1	25,8	25,5	25,2	25,4	26,1	24,7	24,7	25,6	16	16
sem 30	23,9	24,1	24,5	24,8	24,8	25,1	25,5	25,5	26,4	26,0	25,6	25,0	26,9	25,1	24,9	26,1	16	16
sem 31	23,2	24,0	24,8	24,4	24,5	26,3	25,3	25,5	29,5	26,0	25,5	25,3	27,1	25,6	25,1	26,6	16	16
sem 32	23,7	24,0	25,6	24,5	24,6	27,2	25,1	25,4	29,8	26,0	25,8	25,7	27,3	25,8	25,4		15	15
sem 33	24,7	24,8	25,4	25,0	25,0	25,2	26,1	26,1	27,6	26,8	26,1	26,2	27,9	26,1	25,8		15	15
sem 34	24,8	25,0	25,7	25,3	25,5	25,7	26,5	26,6	27,7	27,2	26,6	26,4	28,3	26,5	26,1		15	15
sem 35	25,1	25,3	25,7	25,3	25,4	25,8	26,7	26,7	27,8	27,2	26,7	27,0	28,5	26,4	26,2		15	15
sem 36	25,2	25,3	25,8	25,2	25,3	26,3	26,7	26,7	31,2	27,5	26,8	26,1	28,4	26,9	26,3	30,7	16	16
sem 37	24,5	25,2	26,6	25,3	25,6	26,6	27,3	27,5	30,1	27,7	27,3	26,7	27,5	27,9	26,9	28,0	16	16
sem 38	25,0	25,4	25,9	25,9	25,9	26,2	27,2	27,5	28,3	27,4	27,2	27,1	27,7	27,4	27,2	27,3	16	16
sem 39	24,3	25,0	26,0	25,3	25,6	26,7	26,5	27,1	29,1	26,5	26,8	26,9	28,1	27,2	27,1	27,1	16	16
sem 40	23,0	24,8	25,9	23,7	24,2	26,3	24,2	25,8	29,0	25,7	27,2	26,2	27,2	26,2	26,7	26,0	16	16
sem 41	24,0	24,4	25,1	24,2	24,3	24,9	24,4	24,9	26,4	25,4	25,8	26,1	26,4	25,7	26,0	25,8	16	16
sem 42	23,4	24,3	25,3	23,8	24,4	26,1	24,2	24,5	28,4	25,1	25,8	25,9	25,9	25,5	25,8	26,4	16	16
sem 43	23,7	24,3	25,2	24,3	24,5	25,5	24,4	24,6	27,8	25,0	25,3	25,6	26,1	25,5	25,4	26,1	16	16
sem 44	22,8	23,5	24,7	23,4	23,9	24,8	23,9	24,3	27,1	24,3	24,8	25,7	25,3	24,7	25,0	25,3	16	16
																	indicateurs salinité	100,0%	99,9%
																	objectifs salinité	> 95%	> 75%

NB : le calcul des indicateurs de salinité est réalisé sur toute la période depuis le début de la campagne ; il reste provisoire jusqu'à la dernière semaine de la campagne

Observations éventuelles :

- Les valeurs de salinité des semaines 32 à 35 à la station des "Trois frères" ne sont pas disponibles. Le calcul des indicateurs de salinité est effectué sans comptabiliser ces points de mesure.

Tableau 11c. Etang de Berre. Contrôle de la salinité – campagne 2008-2009.

étang de Berre : contrôle de la salinité - campagne 2008 / 2009																			
	Salinité moyenne hebdomadaire en g/l																	suivi indicateurs de salinité	
	stations centrales									stations littorales (CTD 1 à 7)									
	nord (SA1)			centre (SA2)			sud (SA3)												
semaine	-1m	-4m	fond	-1m	-4m	fond	-1m	-4m	fond	Martigues	Rangquet	Saint Chamas	Arc	Pointe de Berre	Vaine	3 frères		nombre de valeurs hebdo >15 g/l	nombre de valeurs hebdo >20 g/l
sem 45	22,3	23,3	24,0	23,1	23,8	24,6	23,7	24,0	25,6	24,4	23,7	23,0	24,9	24,6	24,6	25,3		16	16
sem 46	22,3	23,6	24,4	23,1	23,7	25,5	23,2	23,6	26,3	24,1	23,9	24,4	24,6	24,7	24,2	24,9		16	16
sem 47	23,4	23,5	23,7	24,0	24,1	24,9	23,8	23,9	26,2	24,3	24,2	24,2	24,6	24,3	24,2	24,1		16	16
sem 48	23,4	23,8	24,2	24,6	24,8	25,3	24,5	24,5	26,6	24,4	24,6	24,7	25,0	24,6	24,3	24,8		16	16
sem 49	22,2	23,2	24,4	23,4	23,9	25,8	23,4	24,0	29,0	24,0	24,3	23,5	24,6	24,4	24,2	25,4		16	16
sem 50	22,5	23,4	25,1	22,6	23,0	25,5	22,6	22,9	26,7	22,8	23,5	24,9	23,9	23,6	23,7	23,9		16	16
sem 51	22,4	23,0	23,5	22,5	22,8	23,6	22,9	23,0	25,1	22,6	23,2	22,9	23,3	23,2	23,1	23,5		16	16
sem 52	22,0	22,5	22,8	22,3	22,5	22,7	22,6	22,7	23,3	22,4	22,9	22,5	22,8	22,7	22,8	23,0		16	16
sem 1	21,0	21,8	22,2	21,9	22,0	22,8	22,0	22,2	28,2	21,9	21,9	21,5	22,4	22,4	22,4	23,0		16	16
sem 2	**19,6**	21,1	22,5	20,4	21,0	24,4	20,7	21,0	30,1	**19,9**	22,0	21,8	21,7	20,8	22,3	21,3		16	14
sem 3	**19,1**	20,5	22,0	**18,6**	20,2	23,8	**19,2**	20,3	28,2	**19,9**	20,9	21,1	20,4	20,7	21,0	21,1		16	12
sem 4	**17,7**	**19,7**	21,1	**17,4**	**19,0**	22,5	**17,6**	**19,0**	27,2	**18,8**	20,4	20,0	**19,5**	**19,8**	**19,8**	20,8		16	5
sem 5	**17,1**	**18,3**	20,7	**17,7**	**18,1**	20,0	**17,6**	**17,9**	21,5	**17,7**	**18,9**	20,4	**18,7**	**18,1**	**18,4**	**18,1**		16	4
sem 6	**14,5**	**16,8**	**17,5**	**16,3**	**17,6**	**18,4**	**17,0**	**17,8**	23,8	**17,8**	**17,0**	**15,8**	**17,3**	**17,9**	**17,8**	**19,2**		15	1
sem 7	**16,7**	**17,1**	**17,9**	**16,8**	**17,1**	**17,7**	**16,8**	**17,1**	**18,2**	**17,1**	**17,7**	**18,7**	**17,8**	**17,2**	**17,3**	**17,2**		16	0
sem 8	**17,3**	**17,5**	**17,6**	**17,5**	**17,5**	**17,7**	**17,5**	**17,6**	**18,0**	**17,5**	**18,0**	**18,4**	**17,9**	**17,6**	**17,1**	**17,7**		16	0
sem 9	**17,8**	**17,9**	**18,1**	**18,1**	**18,0**	**18,2**	**18,0**	**18,1**	**19,2**	**18,0**	**18,1**	**18,6**	**18,3**	**18,2**	**17,3**	**18,3**		16	0
sem 10	**18,2**	**18,4**	**19,6**	**18,3**	**18,4**	**19,2**	**18,1**	**18,3**	25,6	**18,2**	**18,5**	**19,2**	**18,8**	**18,6**	**17,5**	**19,3**		16	1
sem 11	**19,5**	**19,5**	**19,7**	**19,6**	**19,7**	**19,8**	**19,1**	**19,2**	20,1	**19,4**	**19,7**	**19,7**	**19,9**	**19,7**	**18,0**	20,1		16	2
sem 12	**19,3**	**19,6**	**19,9**	**19,7**	**19,8**	20,1	**19,4**	**19,5**	26,0	**19,5**	**19,6**	**19,6**	**19,8**	**19,9**	**18,3**	20,4		16	3
sem 13	20,0	20,1	20,4	20,2	20,2	20,7	**19,8**	**19,8**	25,9	**19,9**	20,2	20,1	20,2	20,1	**19,0**	20,6		16	12
sem 14	**19,7**	20,2	20,9	20,3	20,5	20,9	20,2	20,2	26,2	20,2	20,3	20,6	20,8	20,7	**19,4**	21,5		16	14
sem 15	**19,0**	**19,9**	20,8	**19,5**	20,2	22,2	**19,3**	**19,9**	29,9	20,0	20,4	**19,9**	20,2	20,7	**19,4**	22,1		16	9
sem 16	**18,9**	**19,4**	20,8	20,1	20,4	24,5	**19,7**	**19,9**	31,2	20,2	**19,9**	**19,1**	20,3	21,1	**19,8**	22,4		16	9
sem 17	**18,9**	**19,5**	22,7	**19,9**	20,3	27,1	**19,6**	**19,7**	30,9	**19,8**	20,2	20,8	20,5	20,4	**19,8**	21,7		16	9
sem 18	20,1	20,3	22,7	20,8	20,9	24,9	20,3	20,4	32,0	20,8	20,9	20,5	20,7	21,3	20,4	21,5		16	16
sem 19	**19,3**	20,0	22,6	20,3	20,6	22,9	20,4	20,5	28,3	20,3	20,3	22,5	20,5	20,8	20,7	20,7		16	15
sem 20	**19,1**	**19,8**	21,0	**19,9**	20,2	22,2	20,8	20,9	31,1	20,9	20,3	20,5	20,8	21,3	20,8	23,0		16	13
sem 21	**17,1**	**19,7**	21,5	**18,1**	**19,8**	25,4	**19,7**	20,7	31,5	20,5	21,0	21,5	20,6	21,1	20,7	22,9		16	11
sem 22	**17,0**	20,0	22,5	**17,8**	**19,3**	24,1	**18,9**	20,1	27,5	**19,8**	20,7	23,0	20,5	20,8	**19,4**	22,2		16	10
sem 23	**19,4**	**19,7**	21,5	**19,5**	**19,6**	22,4	20,3	20,5	25,6	20,3	20,6	22,4	20,6	20,6	**19,5**	21,2		16	11
sem 24	**19,7**	20,4	21,5	20,0	20,3	23,7	20,4	20,5	30,6	20,9	20,6	20,1	20,5	20,8	20,4	22,4		16	15
sem 25	**19,2**	20,1	21,9	**19,7**	20,2	24,6	**19,9**	20,2	31,2	20,4	20,7	20,8	20,4	20,5	20,5	22,9		16	13
sem 26	21,7	22,0	23,1	21,3	21,3	22,2	21,3	21,4	22,6	21,7	22,1	24,1	21,8	20,9	20,9	21,6		16	16
sem 27	21,2	21,7	22,4	21,4	21,8	22,5	21,8	21,9	27,3	21,9	21,8	22,1	21,7	22,0	20,9	22,5		16	16
sem 28	21,5	21,8	24,3	21,1	21,4	23,7	21,3	21,5	28,8	21,5	21,8	23,0	21,6	22,0	21,0	22,3		16	16
sem 29	21,4	21,8	22,9	21,7	21,8	23,5	21,9	22,0	30,5	22,1	21,8	22,7	21,6	22,5	21,4	23,2		16	16
sem 30	22,2	22,4	24,1	22,2	22,4	23,2	22,4	22,5	29,0	22,6	22,3	22,5	22,1	22,8	21,7	24,1		16	16
sem 31	22,9	23,0	24,8	22,7	22,8	23,5	22,8	23,0	27,9	23,1	22,7	23,9	22,9	23,5	22,0	23,7		16	16
sem 32	23,1	23,4	24,8	23,2	23,4	24,2	23,3	23,4	30,1	23,2	23,2	23,9	23,3	23,6	22,3	24,4		16	16
sem 33	23,0	23,6	25,4	23,4	23,6	26,6	23,5	23,6	32,4	23,2	23,7	24,3	23,9	23,9	22,3	25,0		16	16
sem 34	22,3	23,5	25,7	23,1	23,6	29,8	23,5	23,6	33,6	23,4	23,8	23,6	23,8	24,6	22,7	26,6		16	16
sem 35	22,3	23,7	26,6	23,1	23,5	29,7	23,2	23,4	33,6	23,1	24,3	24,2	24,1	24,9	23,0	27,7		16	16
sem 36	24,0	25,1	27,1	24,2	24,8	26,7	24,4	24,6	27,7	24,5	25,2	26,0	25,2	25,1	23,5	25,7		16	16
sem 37	24,0	25,4	25,8	24,2	24,9	25,5	24,7	25,1	26,1	25,1	24,4	25,5	25,1	25,5	23,9	25,6		16	16
sem 38	23,5	24,6	25,5	23,9	24,4	25,4	24,0	24,4	26,7	24,2	23,6	24,9	25,0	25,0	23,9	25,1		16	16
sem 39	20,7	23,9	24,6	21,7	23,5	24,8	21,8	23,6	27,8	23,4	23,2	23,8	24,0	24,6	22,9	24,9		16	16
sem 40	20,8	23,8	25,1	20,6	23,4	25,9	20,6	23,3	29,3	23,0	23,0	23,6	23,6	24,5	21,2	25,0		16	16
sem 41	20,3	22,6*	24,3	21,5	22,6	24,5	22,4	23,4	27,6	23,1	22,6	22,5	22,9	23,5	21,7	24,8		16	16
sem 42	22,9	23,1*	24,1	22,0	22,5	23,2	22,4*	22,9	24,0	22,3	23,7	23,5	23,1	22,4	22,3	22,8		16	16
sem 43	22,9	23,1	23,7	23,1	23,2	23,4	23,7	23,7	25,8	23,0	23,0	22,4	23,1	23,2	22,4	23,7		16	16
sem 44	23,0	23,3	24,0	22,7	22,9	24,0	23,3	23,3	27,8	22,9	23,4	23,3	23,0	22,9	22,6	23,5		16	16
																	indicateurs salinité	99,9%	77,8%
																	objectifs salinité	> 95%	> 75%

NB : le calcul des indicateurs de salinité est réalisé sur toute la période depuis le début de la campagne ; il reste provisoire jusqu'à la dernière semaine de la campagne

Observations éventuelles :

Les valeurs de salinité plus faibles observées à partir de la semaine 1 sont liées à la période de travaux du seuil 68 en Durance.

* Données incomplètes sur la semaine

En plus de ce suivi en continu, le Gipreb effectue mensuellement des profils verticaux en 10 points de l'étang. Les paramètres tels que la salinité, la température et l'oxygène dissous sont mesurés en ces 10 points depuis la surface jusqu'au fond au pas de 50 cm. Ces mesures sont un complément appréciable au suivi réglementaire. En effet, le suivi en continu permet d'avoir une vision temporelle très fine des fluctuations de la salinité mais le nombre de points reste limité sur la verticale, notamment pour les zones littorales pour lesquelles une seule mesure est effectuée près du fond. A contrario, le suivi ponctuel réalisé par le Gipreb permet d'appréhender finement la structure verticale de la masse d'eau mais à un pas de temps mensuel.

Le croisement de l'ensemble des mesures effectuées est réalisé ci-après afin de mener une analyse du paramètre salinité qui permette de dégager les grandes tendances d'évolution nous paraissant importantes dans la compréhension de l'évolution des indicateurs biologiques (moules, zostères, macrofaune benthique et poissons).

2.2 Analyse de l'évolution spatiale et temporelle de la salinité de l'étang de Berre

Nous indiquons sur la figure 12 la localisation des profils verticaux réalisés mensuellement par le Gipreb.

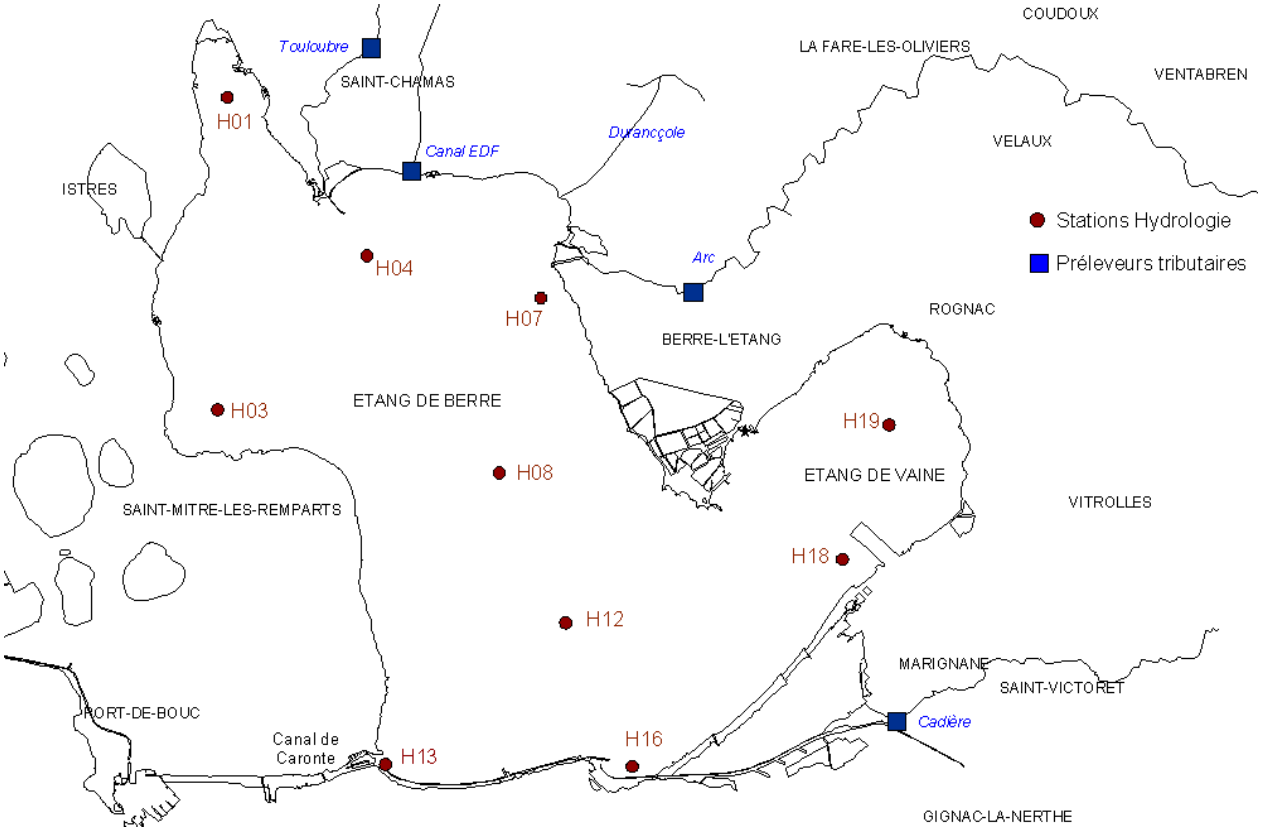


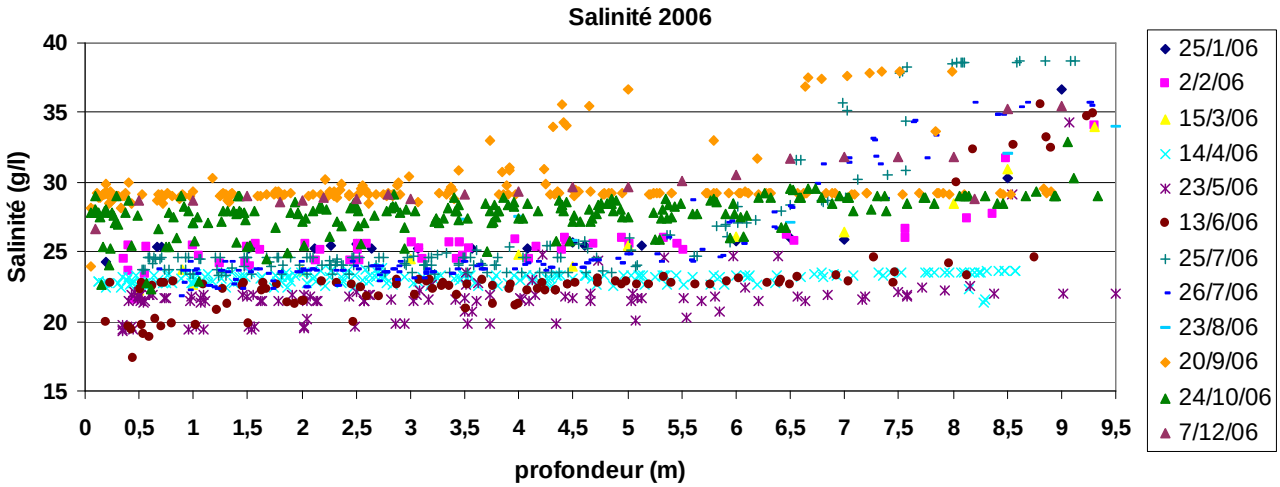
Figure 12. Localisation des points de mesures du Gipreb dans le cadre du suivi mensuel.

Plusieurs de ces points sont proches de ceux du suivi en continu, ce qui valide l'idée d'une approche croisée d'analyse de la salinité :

- H01 et « Saint Chamas »
- H03 et « Ranquet »
- H16 et « 3 frères »
- H19 et « Vaïne »
- H07 et « Arc »
- H04 et « SA1 »
- H08 et « SA2 »
- H12 et « SA3 »

2.2.1 Vue à l'échelle annuelle de la salinité en fonction de la profondeur

La Figure 13 représente l'évolution de la salinité en fonction de la profondeur à partir des données mensuelles des 10 stations de mesure du Gipreb sur les années 2006 à 2009.



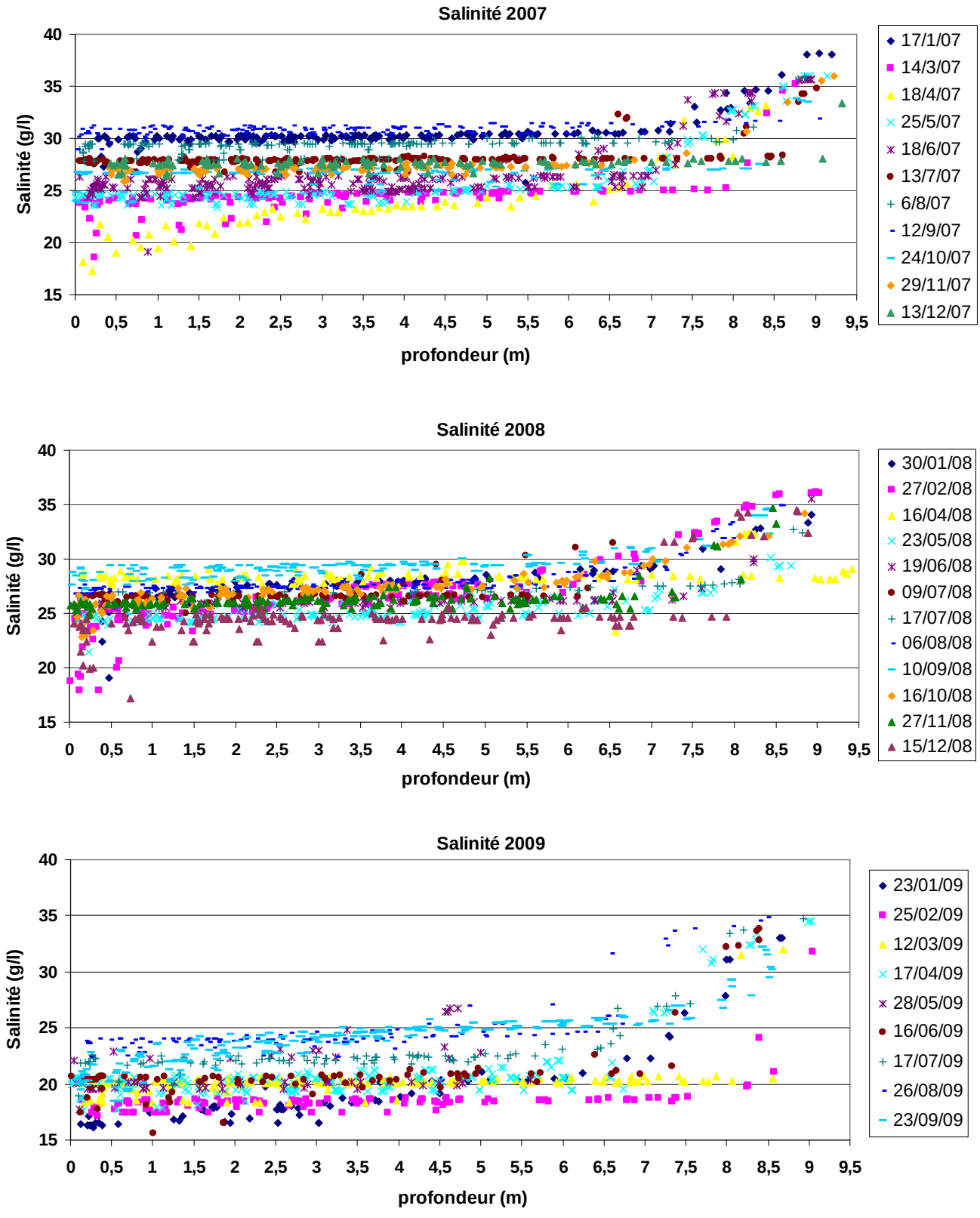


Figure 13. Evolution de la salinité classée par date pour toutes stations confondues en fonction de la profondeur. Données issues du suivi mensuel Gipreb 2006, 2007, 2008 et 2009.

Cette analyse permet de dégager les points suivants :

1 - **il n'y a pas de découpage horizontal de la masse d'eau du point de vue de la salinité** ; globalement aucun gradient nord-sud ou est-ouest n'apparaît ; en revanche, localement ou pour de courtes durées, certaines stations peuvent se distinguer du reste de la masse d'eau.

2 - **Il apparaît une structure verticale de la salinité**. Nous pouvons distinguer assez clairement la masse d'eau [0-6m] de la masse d'eau plus profonde [6m-fond] et plus salée. La distribution verticale de la salinité présente une structure bicouche, avec une stratification au delà de 6-7 m de profondeur.
La couche [0-6m] fait apparaître selon les cas un gradient de salinité qui se manifeste d'abord en surface, puis progresse en profondeur (jusqu'à 3m environ) lorsque les turbinages cumulés augmentent.
Pour les analyses suivantes, on distingue donc la couche [0-1m] où se manifeste rapidement ce gradient, et le reste de la couche intermédiaire [1-6m] généralement plus homogène.

3 - **La salinité dans la tranche d'eau [1-6 m] est homogène**.
3.1- Pour une date donnée, quel que soit le point de mesure (Nord, Sud, Est, Ouest, central), la salinité dans la couche [1-6m] présente des fluctuations faibles (inférieures à 3 g/l), sauf dans quelques cas où un gradient de salinité du à un cumul de plus forts turbinages est observable.
Nota : Le découpage horizontal apparent en septembre 2006 est du au seul fait de la station H13 à proximité du canal de Caronte qui présente une salinité supérieure à 34 g/l à partir de 4.5 m de profondeur (Figure 14).

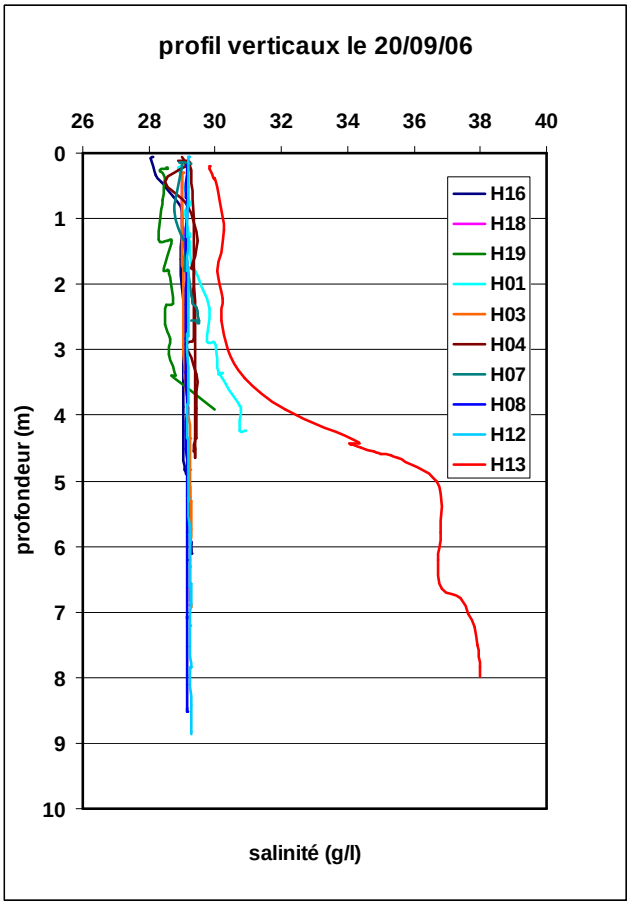


Figure 14. Profils verticaux de salinité mesurés par le Gipreb le 20 septembre 2006.

Au regard des mesures, cette masse d'eau [1-6 m] apparaît homogène dans la grande majeure partie de l'étang et la plupart du temps. Aucune stratification induite par la salinité n'est observée dans cette couche.

3.2 - Sauf épisode particulier, les variations temporelles de la salinité de la couche [1-6m] sont relativement modérées (à noter que les gammes de valeurs sont légèrement plus diffuses en 2006 et 2009 qu'en 2007 et 2008) :

- entre 20 et 30 g/l en 2006 (sauf évènement particulier exposé ci-dessus à la station H13 en septembre),
- entre 24 et 31 g/l en 2007, hormis la période mars – avril 2007 entre 1 et 3m qui voit la salinité descendre aux alentours de 20 g/l suite au cumul de 4 mois de turbinages importants.
- entre 23 et 30 g/l en 2008
- entre 17 et 25 g/l en 2009 (valeurs plus faibles cette année liées à l'impact du cumul des turbinages en janv-fév. 2009 pendant le chantier sur le seuil 68 et des apports naturels conséquents)

A contrario, les fluctuations annuelles de la salinité pour la couche de surface [0-1m] et la couche du fond [6m-fond] sont plus importantes, liées respectivement à l'impact direct du turbinage et aux intrusions marines.

4 - **En période de fort mistral favorisant le mélange vertical des masses d'eau, les valeurs de salinité sont homogènes sur toute la colonne d'eau**. C'est le cas des profils du 16 avril 2008, du 25 février 2009, ou encore du 12 mars 2009.

2.2.2 Mesures en continu et suivi mensuel de la salinité

L'analyse précédente nous permet de distinguer 2 masses d'eau dans l'étang de Berre, voire 3 lorsqu'un gradient de salinité marqué affecte la couche de surface. Dans ce paragraphe nous mettons en relation les mesures en continu (en moyenne journalière) aux 16 points de contrôle avec les mesures mensuelles réalisées par le Gipreb en les moyennant par couche.
Les données de salinité montrent une stratification à partir de 6 à 7 m de fond selon les cas. Aussi, et compte tenu que certaines sondes des mesures en continu au fond sont situées entre 6 et 7 m de profondeur, les moyennes pour les valeurs dans la couche de fond sont calculées à partir des valeurs en dessous de la profondeur 6 m.
Pour chaque profil vertical, nous retenons donc dans les graphes suivants les moyennes de la couche de subsurface [0 - 1m], de la couche moyenne [1 - 6m] et de la couche de fond [6m - fond].
Il est néanmoins noté que sur les années 2007 et 2008, la stratification au niveau du fond est plus profonde (> 7 m) ce qui limite l'étendue de la zone de fond à certaines stations (*i.e.* stations centrales et du canal de Caronte essentiellement).

Couche de surface [0 – 1m].

Nous présentons sur la figure 15 l'évolution temporelle de la salinité aux stations SA1, SA2 et SA3 à 1m de profondeur ainsi que les moyennes [0 - 1m] des différents profils verticaux réalisés par le Gipreb. Par souci de clarté, seules les stations de mesures ponctuelles présentant un intérêt particulier pour le commentaire sont différenciées en couleur.

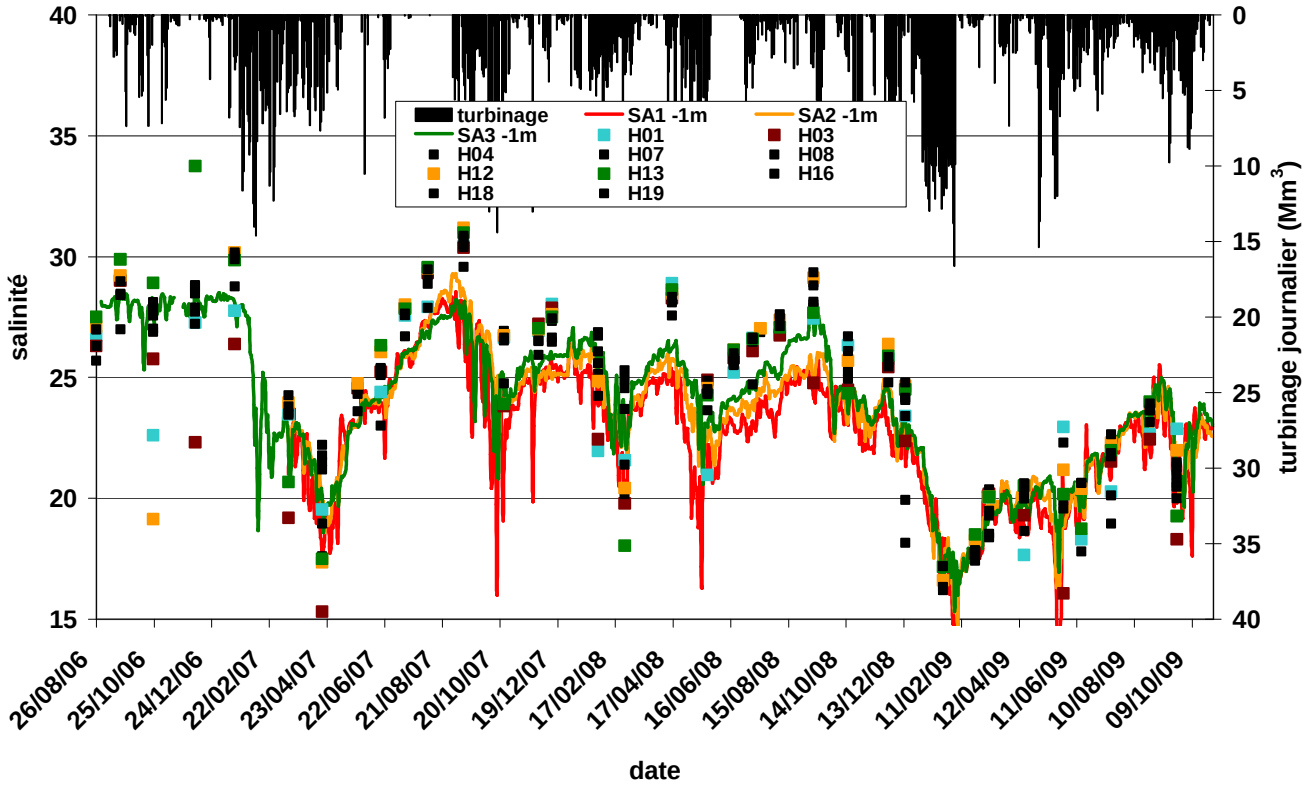


Figure 15. Evolution temporelle de la salinité pour la couche [0 – 1m]. Mesures en continu aux stations centrales SA1, SA2 et SA3 et suivi mensuel Gipreb.

A l'analyse de ce graphe, il ressort deux enseignements principaux :

1 - il n'apparaît pas de gradient Nord-Sud évident de la salinité. Hormis les dessalures ponctuelles en SA1 (effet direct des turbinages) supérieures à celles en SA2 et SA3, la salinité de la couche [0 - 1m] reste relativement homogène à ces trois stations.
Au cours de l'été 2008, on note néanmoins à partir des stations centrales la formation d'un gradient de salinité modéré après les turbinages de la période hivernale et qui se maintient pendant tout l'été avec un écart de salinité entre les stations SA3 et SA1 de environ 1 à 2 g/l (sans compter les dessalures ponctuelles en SA1). Les stations SA1 et SA2 sont plus influencées par les turbinages maintenus pendant la période estivale que la station SA3, d'autant plus que des vents relativement modérés pendant cette période n'ont pas favorisé l'homogénéisation des masses d'eau en surface.

Nota : On peut relever que la mesure continue à –1m en SA3 et la mesure ponctuelle (moyenne [0 - 1m]) en H12 du 24 octobre 2006 présentent un écart important ; cela semble révéler la présence d'une couche d'eau douce très superficielle que la mesure à –1m ne rencontre pas.

2 - il n'apparaît pas de gradient de salinité évident entre les points de mesures proches du littoral (H07, H16, H18 et H19) et les points centraux hormis pour la station du Ranquet (H03) et ponctuellement celle de Saint Chamas (H01). Outre la station SA1 directement sous l'influence du rejet d'eau douce, la station du Ranquet apparaît comme étant la plus impactée en surface.

Il est aussi intéressant de comparer les moyennes [0 – 1m] du suivi mensuel Gipreb avec les mesures en continu aux stations littorales bien qu'étant réalisées à 1 mètre du fond. Nous pouvons observer sur la figure 16 qu'encore une fois la station du Ranquet (H03) se démarque des autres. En effet, c'est à cette station que l'on observe le plus fort gradient vertical entre le fond et la surface (*e.g.* 18 avril 2007). C'est bien là le signe que cette zone est particulière, présentant un gradient de salinité entre la couche de surface [0-1m] et la couche [1-6m] le plus marqué.
Notons que la station de Saint Chamas (H01) peut elle aussi subir ponctuellement des gradients importants de salinité entre le fond et la surface (*e.g.* 24 octobre 2006, 30 janvier 2008), notamment par vent de secteur sud-est confinant le panache d'eau douce dans la partie nord de l'étang.

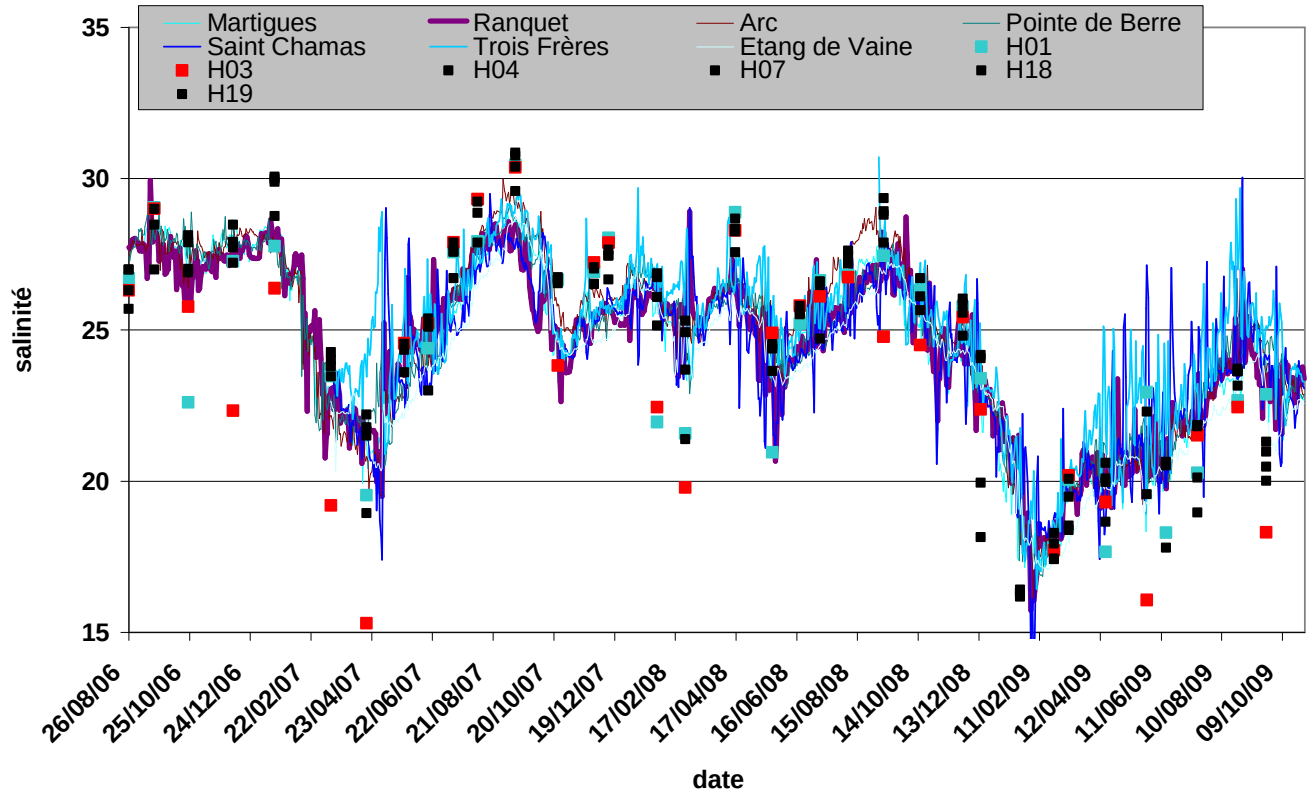


Figure 16. Evolution temporelle de la salinité. Couche [0 – 1m] pour le suivi mensuel Gipreb (carrés) et [fond + 1m] pour le suivi en continu (lignes pleines) des stations littorales.

Sur la base des moyennes journalières, on note ponctuellement une relative hétérogénéité de la salinité pour les zones littorales.
Les 3 frères et la pointe de Berre, sous l'influence du coin salé provenant de Caronte voient leur salinité augmenter alors que la salinité des autres points du suivi est plus faible et ce de façon marquée aux stations littorales du Ranquet et de St Chamas (cf. mi-avril à mi-mai 2007, janv. 2008, fév. 2008, fin avril-mai 2008, août-début sept. 2008, mi-oct. 2008, mi-fév. 2009, mi-avril 2009 et sept 2009).

Les dessalures importantes à la station de St Chamas et du Ranquet se produisent notamment lorsque turbinage et vent d'est se combinent. Les hausses de salinité à la station des Trois Frères sont liées soit à des épisodes de vent d'est (*e.g.* mai 2008) soit à l'arrêt des vents de secteur Nord Ouest (*e.g.* fév. 2008). En effet, grâce aux séries de mesures acquises en continu depuis deux ans, le fonctionnement hydrodynamique de l'étang est désormais connu (Figure 17).
En période de Mistral, par l'effet d'un upwelling, le coin salé présent au fond et au sud de l'étang remonte vers le nord et vers la surface avant un mélange total.
A contrario, des vents d'est relativement forts et soutenus confinent le coin salé dans la partie sud de l'étang ce qui conduit à des hausses de salinité notamment à la station des Trois-Frères.

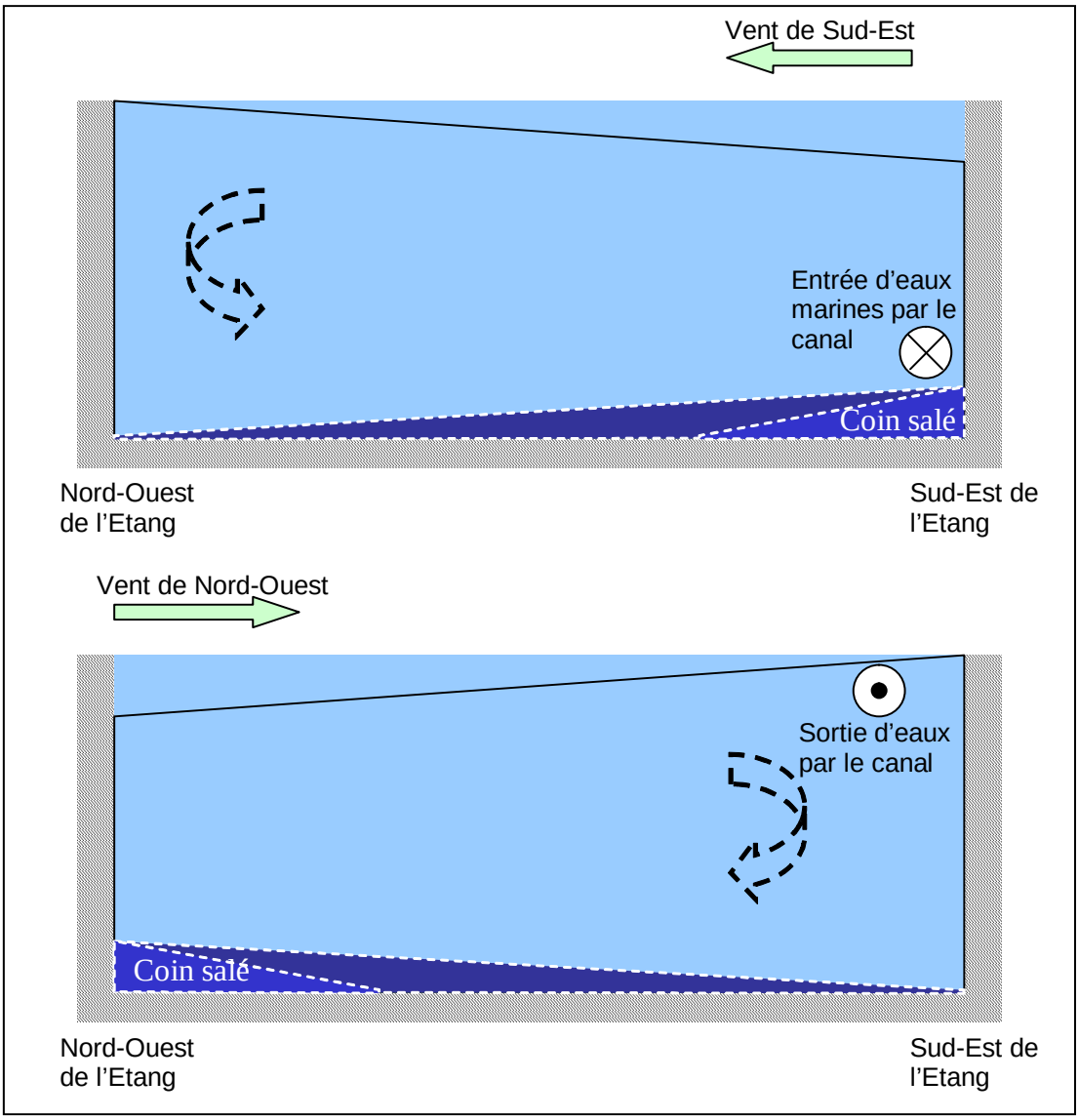


Figure 17. Schéma de circulation dans l'Etang par vent de Sud-Est (en haut) et par vent de Nord-Ouest (en bas).

Couche [1 – 6m]

La figure 18 vient confirmer les résultats obtenus au paragraphe précédent. La couche moyenne [1-6m] est très homogène sur l'ensemble de l'étang de Berre. Notons tout de même le comportement particulier de la station H13 qui est alimentée directement en eau de mer par le canal de Caronte et qui peut donc voir sa salinité être supérieure à l'ensemble des autres points du suivi. Si on écarte cette station ainsi que les événements particuliers décrits ci-dessus où sous l'influence notamment d'un régime de vent particulier ou très faible les salinités sont plus hétérogènes (e.g. mi avril – mi mai 2007), les écarts de salinité dans cette

masse d'eau aux différentes stations du suivi sont généralement inférieurs à 3 g/l. Les écarts maximums observés sont de 5 g/l (cf. 16 avril et 10 sept. 2008).

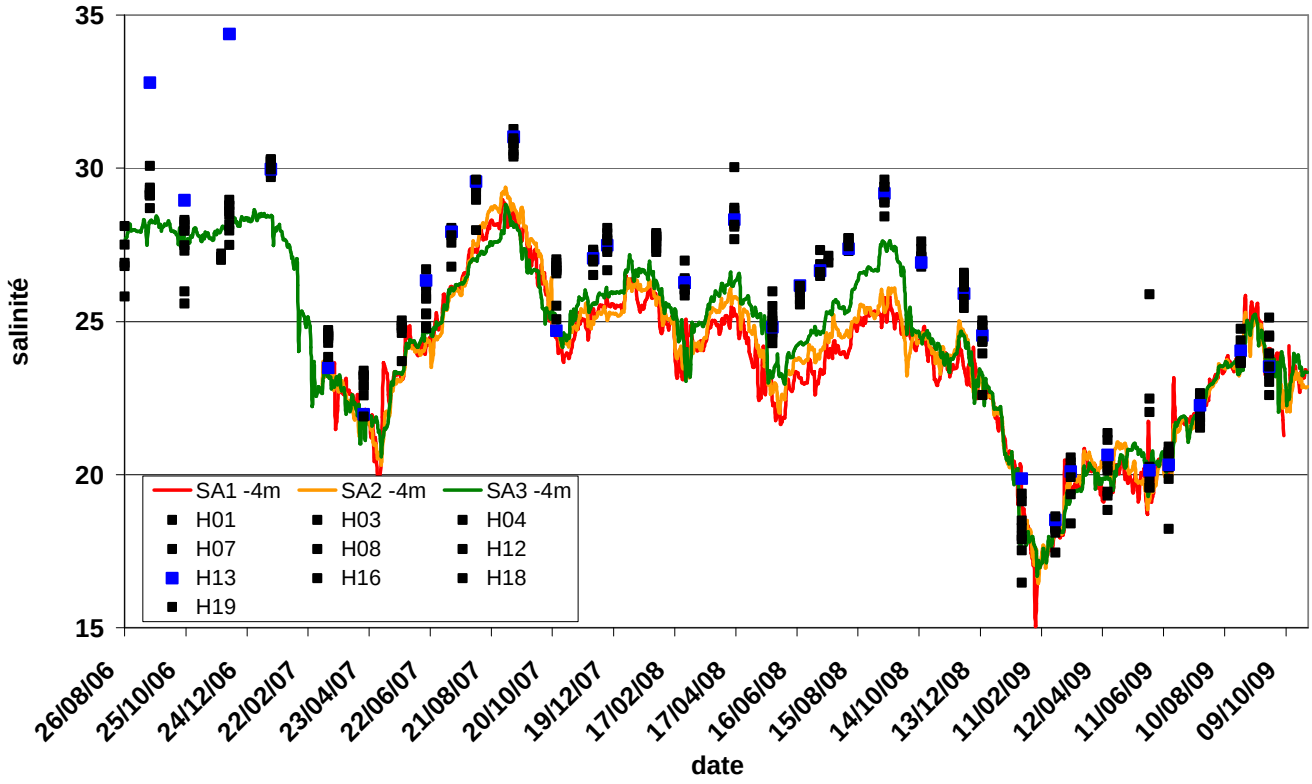


Figure 18. Evolution temporelle de la salinité pour la couche [1 – 6m]. Mesures en continu et suivi mensuel Gipreb.

Couche [6m – fond]

La figure 19 montre les résultats obtenus pour cette couche.

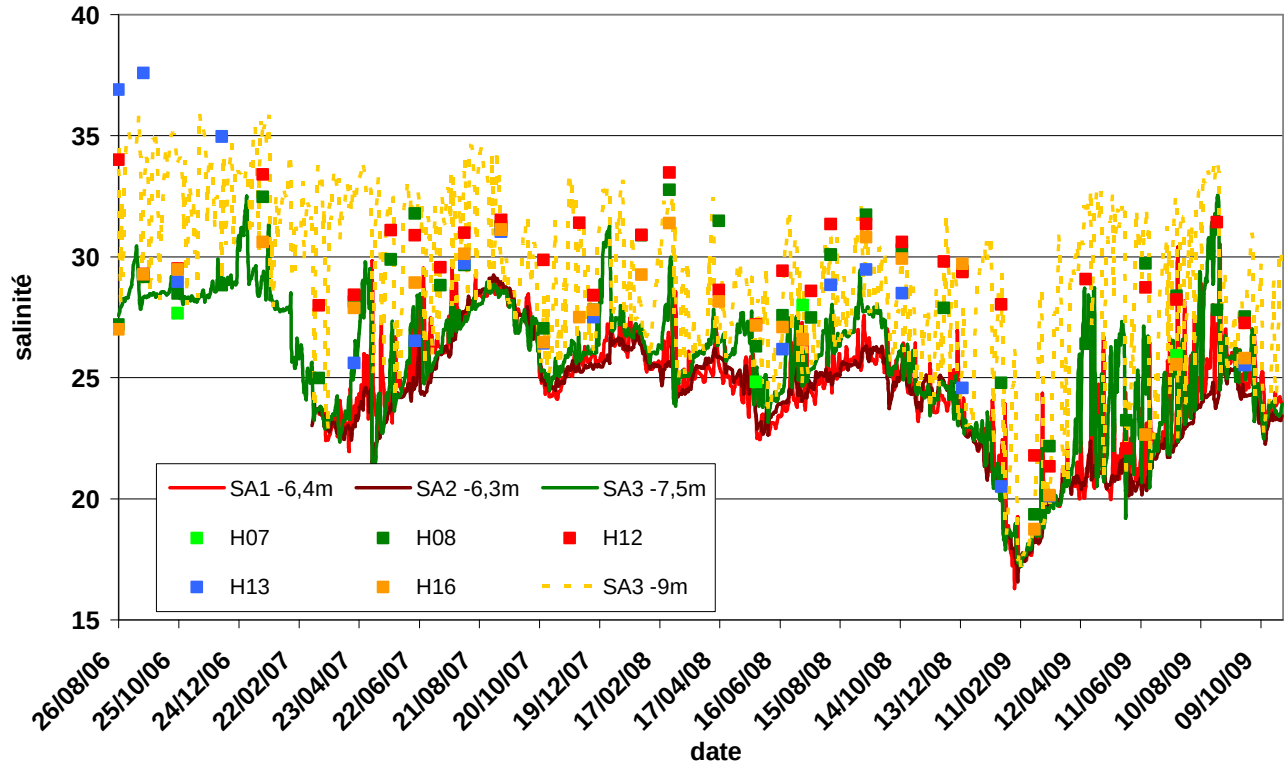


Figure 19. Evolution temporelle de la salinité pour la couche [6m – fond]. Mesures en continu et suivi mensuel Gipreb.

Les stations SA3, H12 et H13 (entrée Caronte) se démarquent des autres. Ces stations, les plus au sud, sont directement sous l'influence des entrées d'eau marine via le canal de Caronte. La colonne d'eau en SA3, ainsi qu'en H12 et H13 est très régulièrement stratifiée.

Nous pouvons aussi observer sur ce graphe la progression du coin salé sous l'effet de l'absence de vent ou de vent faible (e.g. mi avril - mi mai 2007, déc. 2007, fév. 2008, été 2008, été 2009) : le coin salé, présent normalement en SA3 sur une hauteur d'environ 1 mètre à partir du fond s'épaissit régulièrement pour atteindre la sonde à 7,5 m de profondeur. Les stations SA2 et SA1 voient aussi leur salinité augmenter légèrement sur ces périodes, signe de la remontée du coin salé vers le nord de l'étang.

2.3 Conclusion sur l'analyse de la salinité

Le dispositif de salinité est opérationnel depuis septembre 2006 et complet depuis mars 2007.
Les objectifs de salinité sur les exercices annuels 2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009 ont été respectés. Sur l'ensemble de la période considérée, peu de valeurs hebdomadaires de salinité en surface ont été inférieures au seuil de 20 g/l ; la majorité de ces événements étant liée à un épisode particulier de cumul de turbinages du à l'orientation intégrale des débits de l'aménagement Durance-Verdon vers l'étang de Berre pour permettre d'assurer un chantier « hors d'eau » en Durance (sur le seuil 68) combiné avec des apports naturels importants en hiver 2009.
A l'issue d'une année d'apports importants (1058 Mm^3 en 2008/2009), on relève que la salinité moyenne de l'étang n'est que faiblement affectée par le total de ces apports (24,1 g/l en début d'exercice et 23,5 g/l en fin) traduisant ainsi un certain équilibre ; en revanche la distribution de ces apports dans l'année peut être contraignante (cf. la période du chantier en Durance qui a conduit à une concentration excessive d'apports d'eau) notamment quant à la rapidité de la ressalure.

L'analyse de l'ensemble des données de salinité montre que la variabilité spatiale du paramètre salinité se manifeste essentiellement sur la verticale ; il n'y a pas de découpage horizontal de la masse d'eau du point de vue de la salinité. La masse d'eau [1-6m] est globalement homogène sur l'ensemble de l'étang.

L'analyse des profils de salinité montre une structure bicouche de l'étang avec une stratification aux alentours de 6-7 m de fond. On note également parfois l'apparition d'un gradient de salinité en surface sous l'influence de turbinages cumulés.

La comparaison des valeurs de salinité mesurées en continu et des profils ponctuels de mesure du GIPREB permet d'identifier des stations plus sensibles à l'influence des turbinages ou du coin salé :

- les stations SA1, du Ranquet et de St-Chamas apparaissent plus sensibles à l'influence du panache d'eau douce se manifestant par l'apparition d'un gradient de salinité en surface (0 - 1m) suite à des cumuls de turbinage.

- les stations SA3, du canal de Caronte et des Trois-Frères apparaissent comme les stations les plus influencées par l'entrée et la circulation d'eau marine au fond (coin salé) présentant une stratification marquée régulière.

Ces années de suivi ont permis de bien connaître le fonctionnement hydrodynamique de l'étang et de maîtriser le paramètre salinité. Les données acquises ont permis de valider un modèle tridimensionnel représentant finement les processus hydrodynamiques[1] et les variations de salinité dans l'étang. Sur cette base, un modèle opérationnel de gestion des turbinages par la salinité est utilisé par l'exploitant, permettant d'assurer le contrôle de ce paramètre.

[1] Ces résultats ont fait l'objet d'une communication au colloque international sur les lagunes Méditerranéennes (Martin *et al.*, *An example of integrated managment of a Mediterranean lagoon by in situ continuous real-time monitoring and 3D-modelling of water transport and salinity : the case of the Berre lagoon* ; Lagunet « Conservation and management in Coastal Ecosystems », Naples, nov. 2007)

3 OXYGENE DISSOUS

Les teneurs en oxygène dissous de l'étang de Berre ont été mesurées :

- au cours du suivi mensuel aux 10 stations du suivi hydrologique du Gipreb sur les 4 années de l'expérimentation 2006, 2007, 2008, 2009
- en continu au niveau du fond en période estivale, sur les 4 sites témoins pour le suivi des populations de moules (ARC, 3 FRERES, MARTIGUES, RANQUET) de 2007 à 2009
- en continu au niveau des stations centrales en surface et à 0.5 m du fond à partir de mars 2008. Des prélèvements réguliers *in situ* ont permis de valider les données des sondes de mesure.

Les principaux résultats de ces suivis sont repris ci-dessous.

3.1 Profils mensuels

Les données du suivi hydrologique mensuel du Gipreb, permettant d'appréhender la distribution verticale de l'oxygène dissous sur la colonne d'eau sont présentées sur les figures 20a, 20b, 20c, 20d pour les années 2006, 2007, 2008 et 2009. L'évolution des valeurs d'oxygène en fonction de la profondeur est mise en relation avec celle de la salinité.

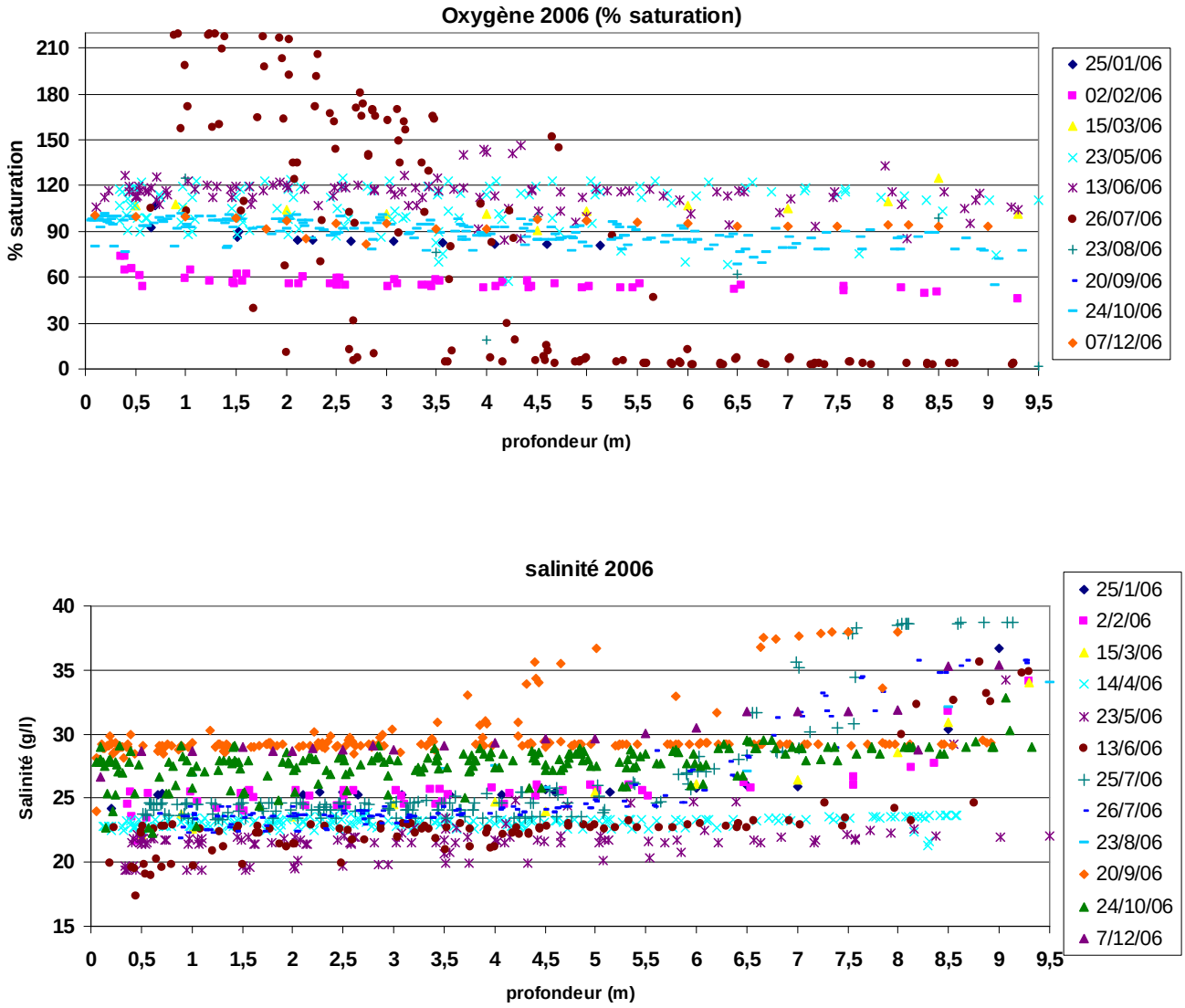
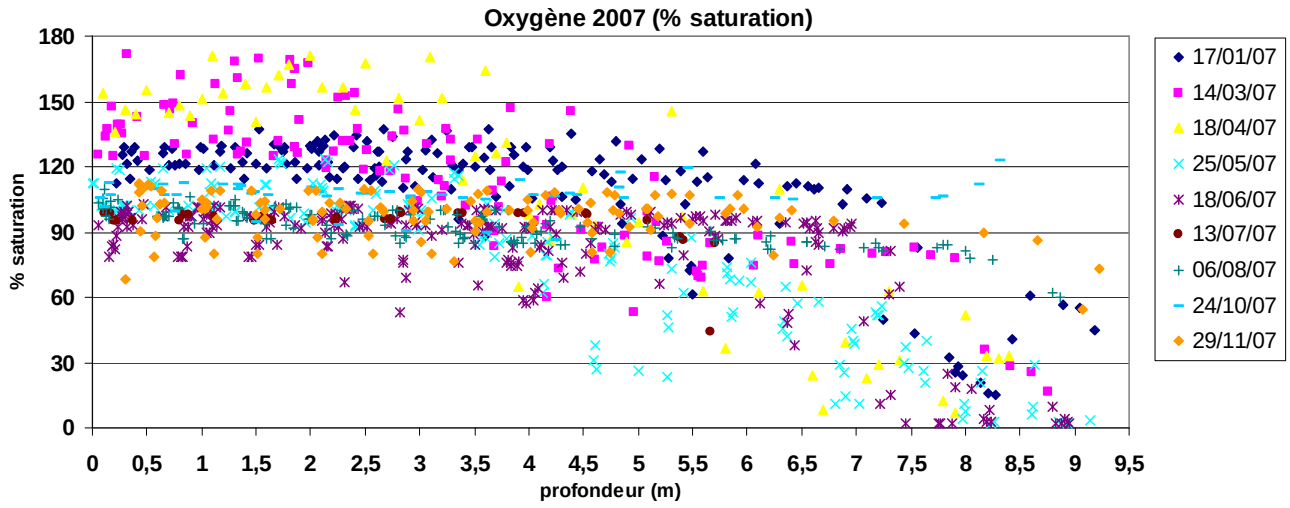


Figure 20a. Evolution de la salinité et de l'oxygène classés par date pour toutes stations confondues en fonction de la profondeur. Données issues du suivi mensuel Gipreb 2006 (pas de données en novembre ; données d'oxygène d'avril non exploitables).

En 2006, à l'exception du mois de juillet, les valeurs d'oxygène sont globalement homogènes sur la colonne d'eau. Toutefois des phénomènes horaires ou journaliers ne peuvent pas être détectés à cette échelle mensuelle.

En juillet 2006, on note une anoxie complète dès 2 m de profondeur en lien avec un épisode de canicule important à cette période. Pour ce même mois, les valeurs de surface jusqu'à 2 m de profondeur sont en sur-saturation, signe d'une forte activité photosynthétique.



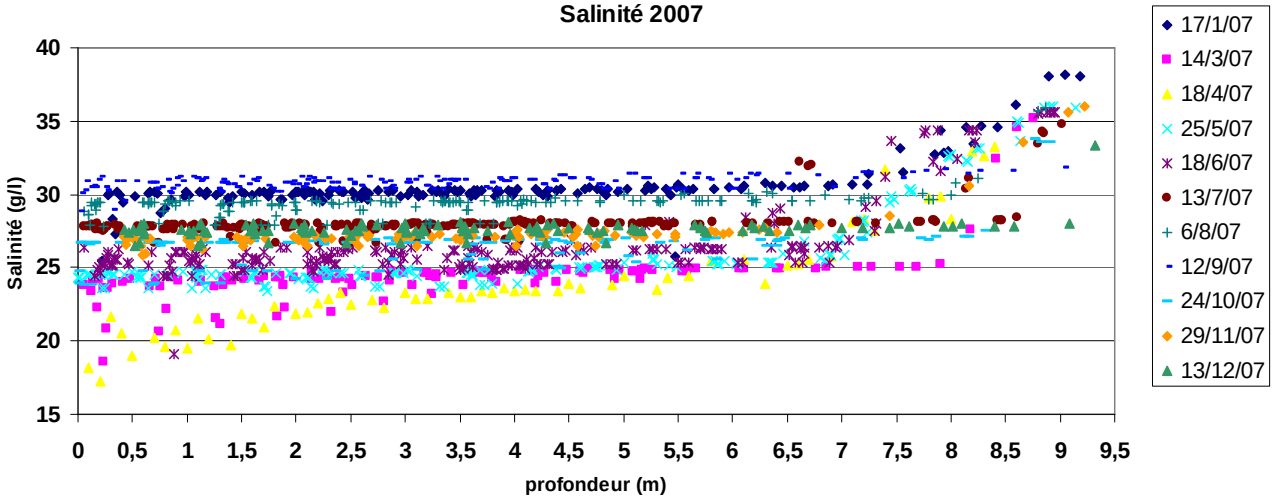


Figure 20b. Evolution de la salinité et de l'oxygène classés par date pour toutes stations confondues en fonction de la profondeur. Données issues du suivi mensuel Gipreb 2007 (pas de données en février ; données d'oxygène de septembre et décembre non exploitables).

En 2007, on note surtout des phénomènes hypoxiques voire anoxiques au fond entre avril et juin, qui semblent globalement en lien avec la stratification haline manifeste vers 7 m de profondeur. Toutefois, on observe également en mai 2007, des hypoxies moins profondes dès 4 m de profondeur.

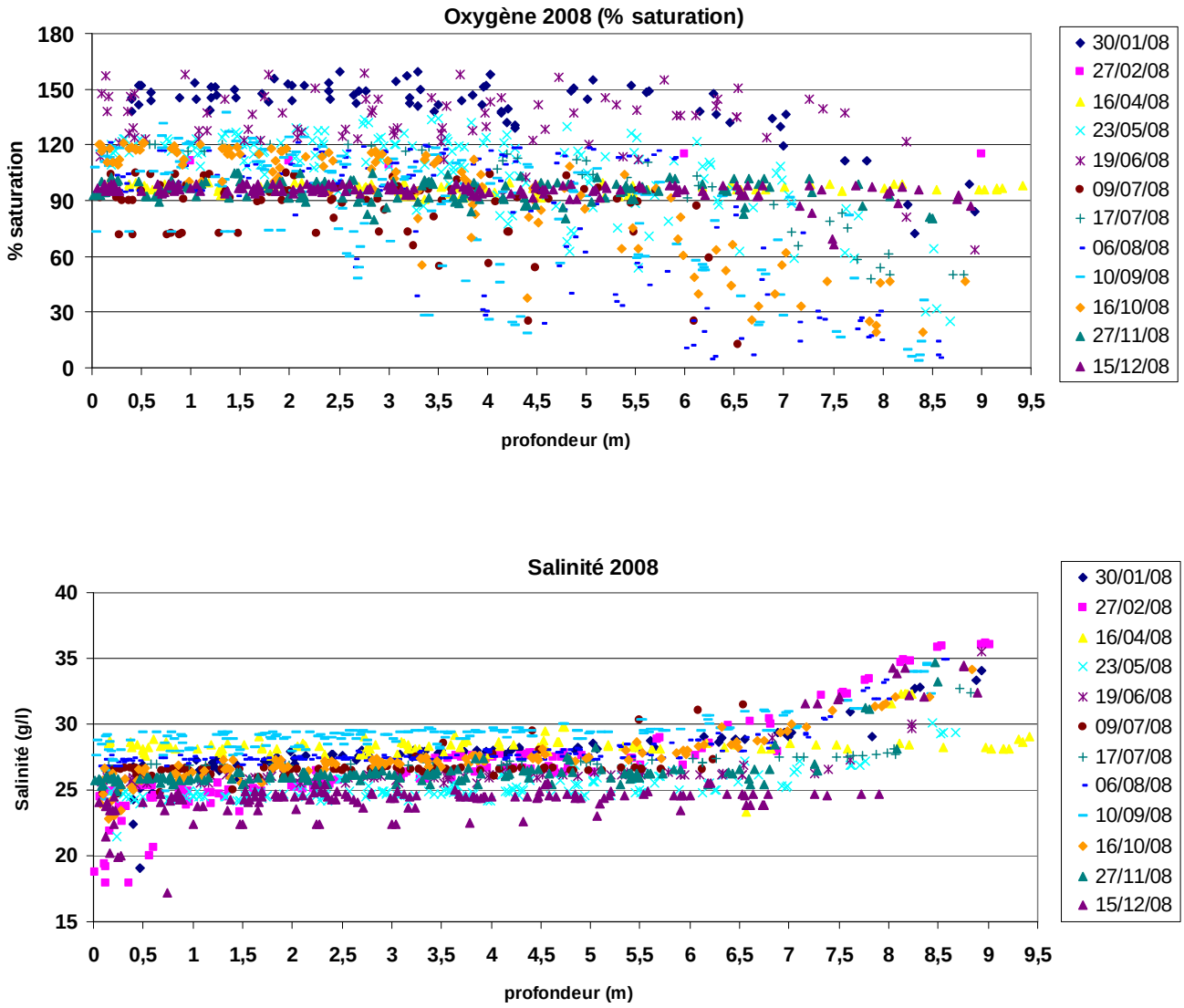


Figure 20c. Evolution de la salinité et de l'oxygène classés par date pour toutes stations confondues en fonction de la profondeur. Données issues du suivi mensuel Gipreb 2008 (pas de données en mars).

En 2008, à partir du mois de juillet et pendant toute la période estivale jusqu'à octobre, des diminutions d'oxygène notables sont observées à partir de profondeurs relativement faibles (2.5 m).

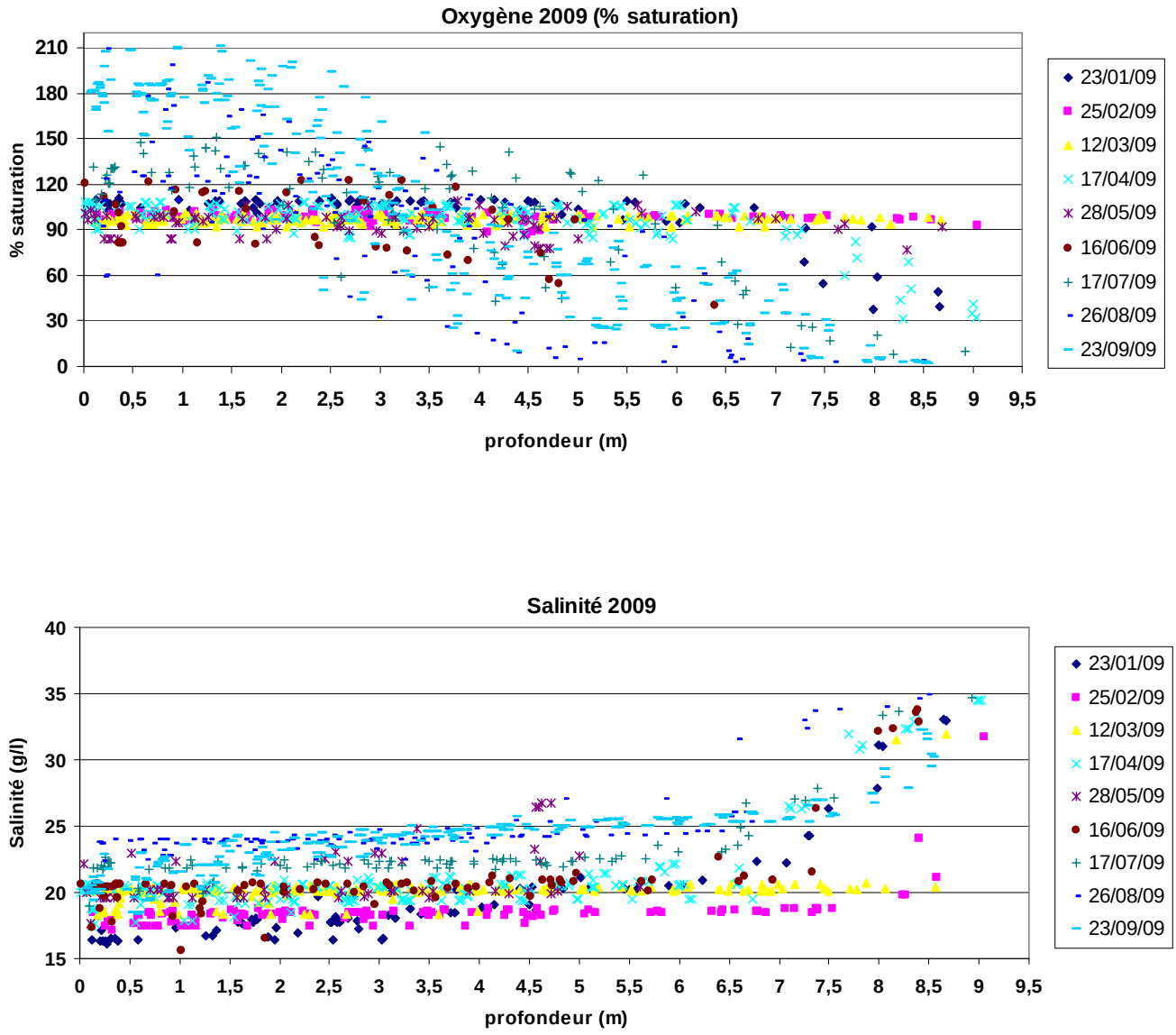


Figure 20d. Evolution de la salinité et de l'oxygène classés par date pour toutes stations confondues en fonction de la profondeur. Données issues du suivi mensuel Gipreb 2009 (données disponibles jusqu'à septembre).

En 2009, les phénomènes d'hypoxies peu profondes se produisent également à partir de juillet et à minima jusqu'à septembre.

On note en lien avec la stratification haline à la profondeur de 6-7 m des hypoxies voire des anoxies dans la couche profonde.
On note également entre mai et octobre selon les années des phénomènes d'hypoxie à des profondeurs moindres dès 2-3 m de fond non liés à la variation de salinité. Aux profondeurs moyennes, l'évolution des paramètres salinité et température sur la verticale n'indique pas, à partir des données mensuelles, de phénomènes de stratification physique particuliers. Les diminutions des teneurs en oxygène observées à ces profondeurs moyennes pendant la saison estivale sont liées à des processus biologiques locaux.
Ces phénomènes observés ponctuellement à l'échelle mensuelle sont confirmés dans le paragraphe suivant à partir des mesures en continu.

3.2 Mesures en continu

Les figures suivantes présentent les données d'oxygène mesurées en continu au fond à partir de 2007 pour les stations littorales durant la période estivale (enregistrement plus tardif pour 2008) et en surface et au fond toute l'année à partir de 2008 pour les stations centrales.

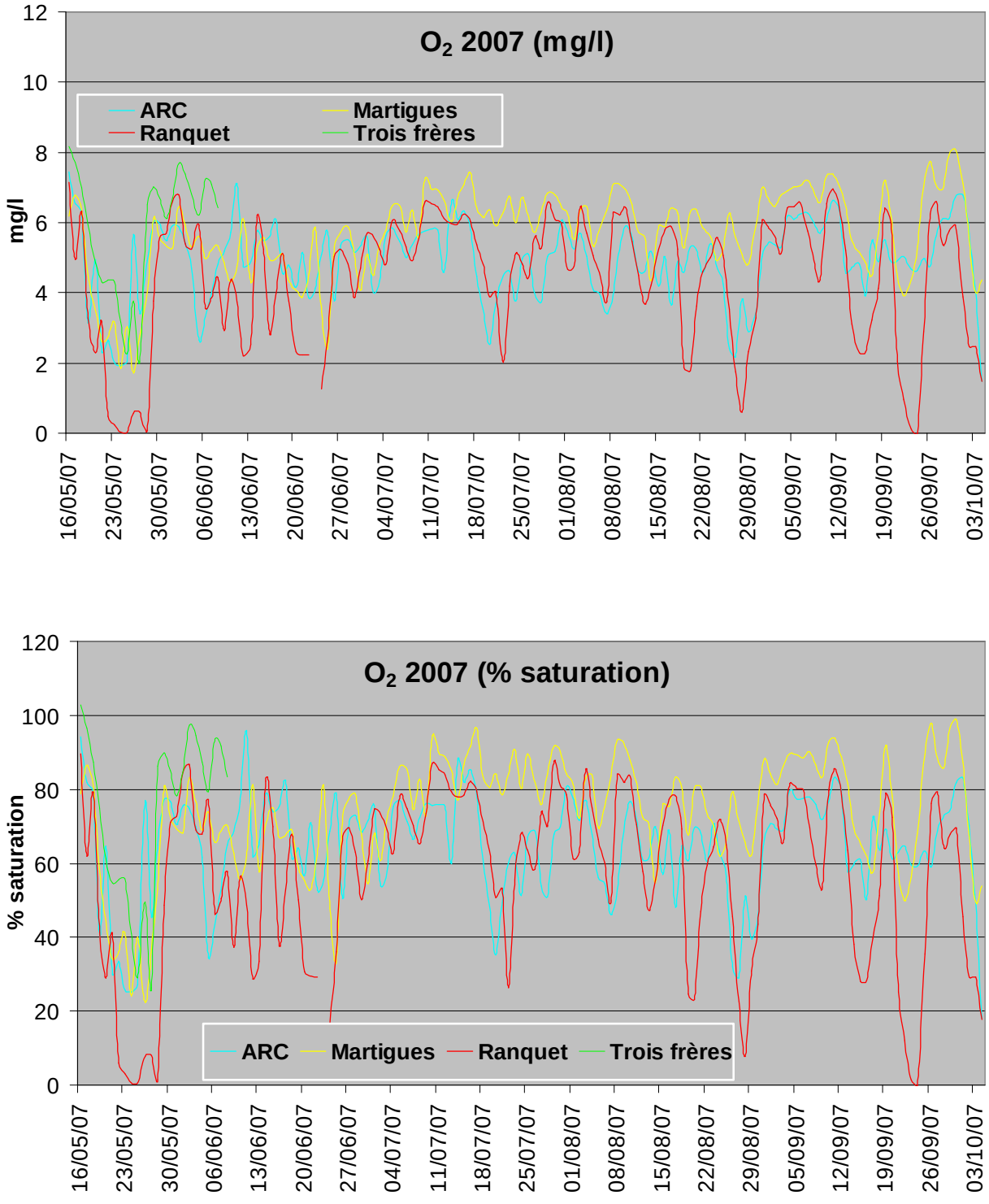


Figure 21. Teneurs moyennes journalières en oxygène dissous dans l'eau, en mg/l, et en % de saturation au niveau du fond, sur les sites témoins de l'Arc, de Martigues, des Trois-Frères et du Ranquet, du 16 mai au 3 oct. 2007.

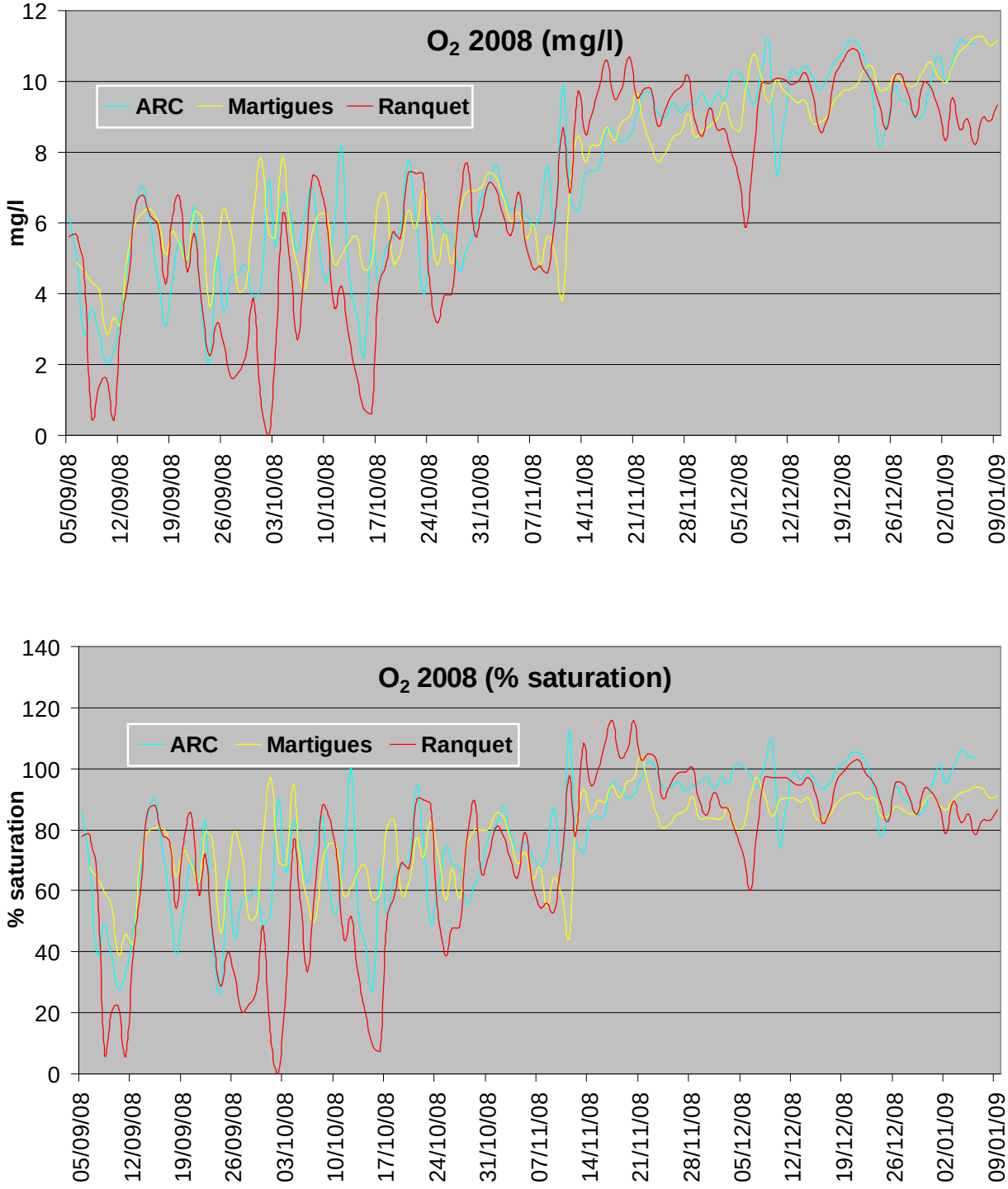


Figure 22. Teneurs moyennes journalières en oxygène dissous dans l'eau, en mg/l, et en % de saturation au niveau du fond, sur les sites témoins de l'Arc, de Martigues, et du Ranquet, du 5 sept. 2008 au 9 janv. 2009.

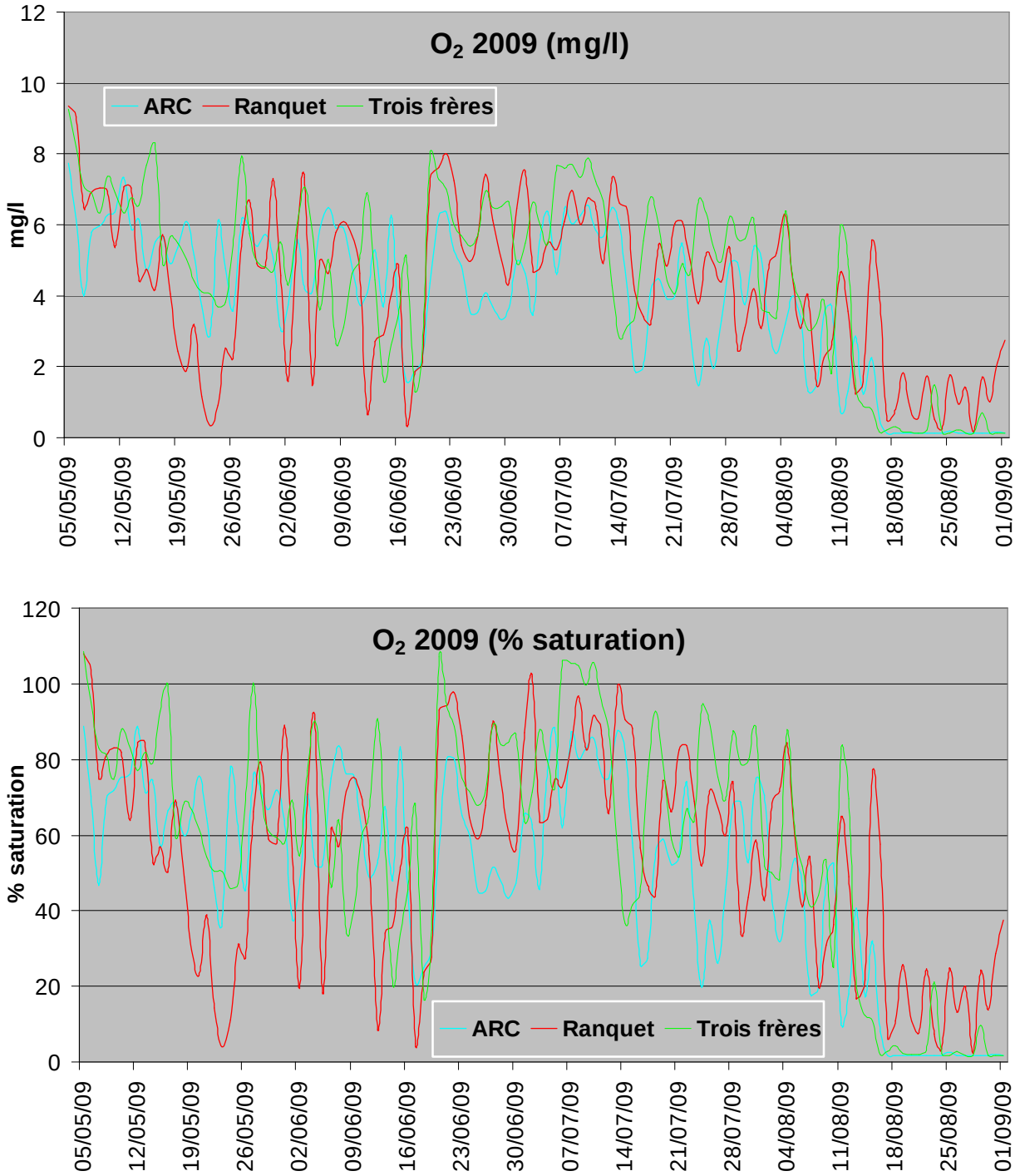


Figure 23. Teneurs moyennes journalières en oxygène dissous dans l'eau, en mg/l, et en % de saturation au niveau du fond, sur les sites témoins de l'Arc, des Trois-Frères et du Ranquet, du 5 mai au 1er sept. 2009.

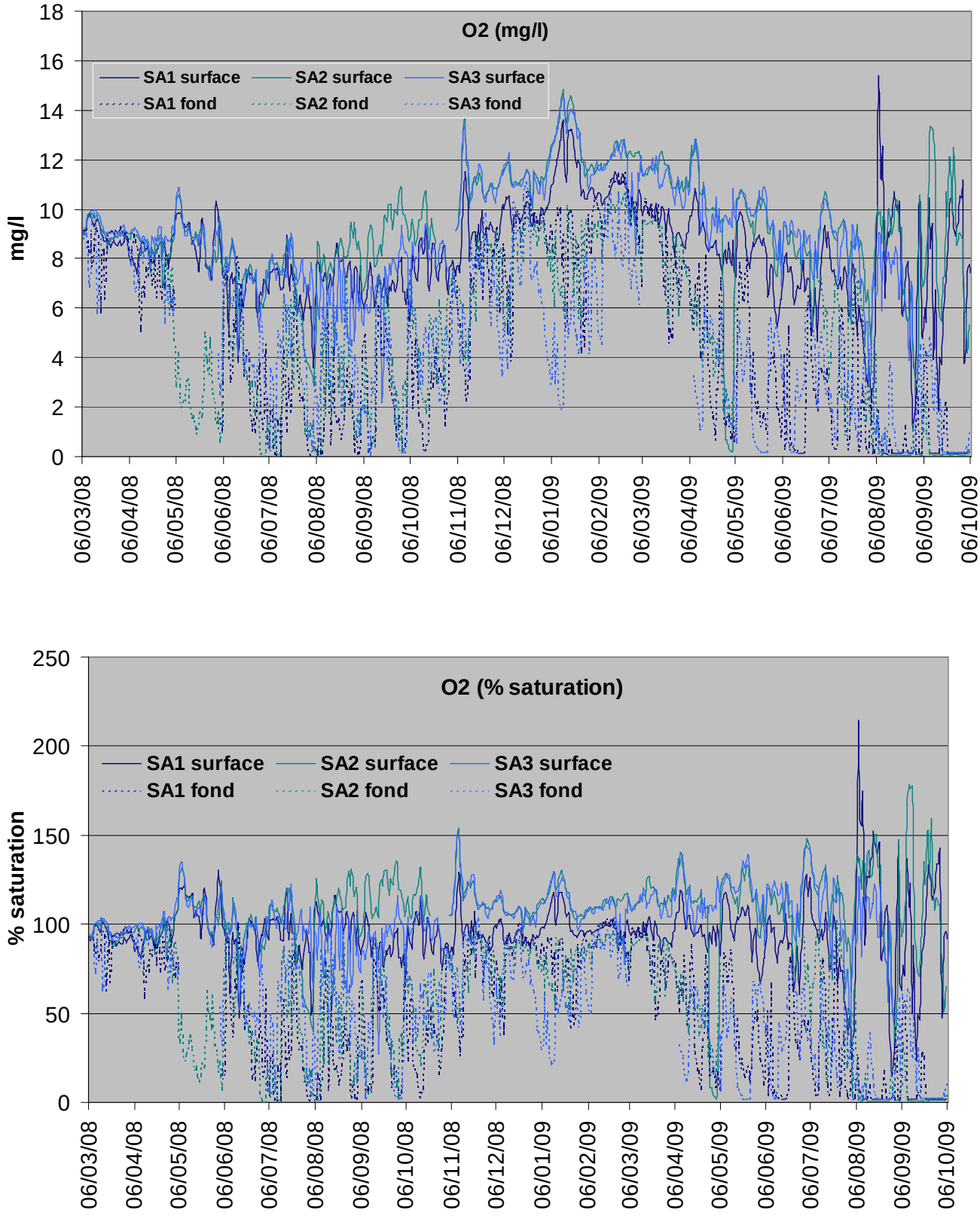


Figure 24. Teneurs moyennes journalières en oxygène dissous dans l'eau, en mg/l, et en % de saturation au niveau de la surface et du fond des stations centrales du 6 mars 2008 au 6 oct. 2009.

Les valeurs d'oxygène dissous sont globalement comprises entre 0 et 16 mg/l. Elles montrent une variabilité importante au cours du temps. Au niveau du fond, de fortes chutes des teneurs en oxygène sont observées entre les mois de mai à septembre sur l'ensemble des sites. Les stations centrales et le site littoral du Ranquet semblent les plus sensibles aux épisodes d'anoxie complète. Entre août et septembre 2009, on note des épisodes d'anoxie de plus de 15 jours.

On note également sur la série temporelle au niveau des stations centrales des niveaux d'oxygénation au fond relativement faibles (< 50% saturation) à l'hiver 2008/2009.

3.3 Conclusion sur l'oxygène dissous

L'étang de Berre est un milieu fortement productif et la dégradation de la matière organique entraîne une consommation d'oxygène dissous, dans l'eau et les sédiments. Au cours de la période estivale, entre avril et octobre des hypoxies se manifestent dès 2 m de profondeur, toutefois de façon variable selon les années (i.e. pas d'hypoxie en été 2007). Dans la partie centrale et profonde où des mesures en continu sont disponibles, des diminutions d'oxygène au fond sont également observées en dehors de la période estivale. La présence d'une stratification haline réduit les échanges diffus avec le reste de la masse d'eau et contribue notamment en période de cumul de turbinages ou d'apports naturels importants (cf. hiver 2008/2009) à des hypoxies profondes.

Ainsi, les diminutions d'oxygène au fond résultent de deux processus : forte production biologique et stratification haline.
Une attention particulière doit être portée sur l'impact que peuvent avoir les diminutions d'oxygène estivales observées aux faibles profondeurs sur les peuplements. Pendant l'été 2009, et jusqu'au mois d'octobre l'oxygénation des eaux a été très faible. Le niveau d'eutrophisation de l'étang est encore une problématique importante.

4 HERBIERS DE ZOSTERES

Le suivi des herbiers de *Zostera* est réalisé annuellement sur une période couvrant les mois de juin à octobre, de manière à couvrir la période de plus forte végétation des herbiers.

4.1 AXE 1 - Surface couverte par les herbiers

4.1.1 Apparition de nouvelles taches d'herbier

L'abondance de *Zostera noltii* a été notée pour 31 stations d'observation (Fig. 25), régulièrement réparties le long du littoral de l'étang, aux mois de juin 2006 à 2009. Le suivi annuel de ces stations permet de noter l'apparition éventuelle de nouvelles taches d'herbier. Pour chacune des 31 stations, un transect de 100m de long, subdivisé en 20 portions de 5 m², est parcouru en plongée. 620 relevés sont ainsi effectués le long des rivages de l'étang. L'abondance des herbiers sur chacune des portions de 5 m² est notée selon un code d'abondance qui varie de 0 à 5. Un indice d'abondance moyen (IAM), basé sur la combinaison des fréquences et des abondances est également calculé pour chacune des stations puis pour l'ensemble des stations. L'IAM peut varier de 0 (espèce totalement absente le long du transect) à 500 (espèce présente sur la totalité de la longueur du transect avec un recouvrement de 100%).

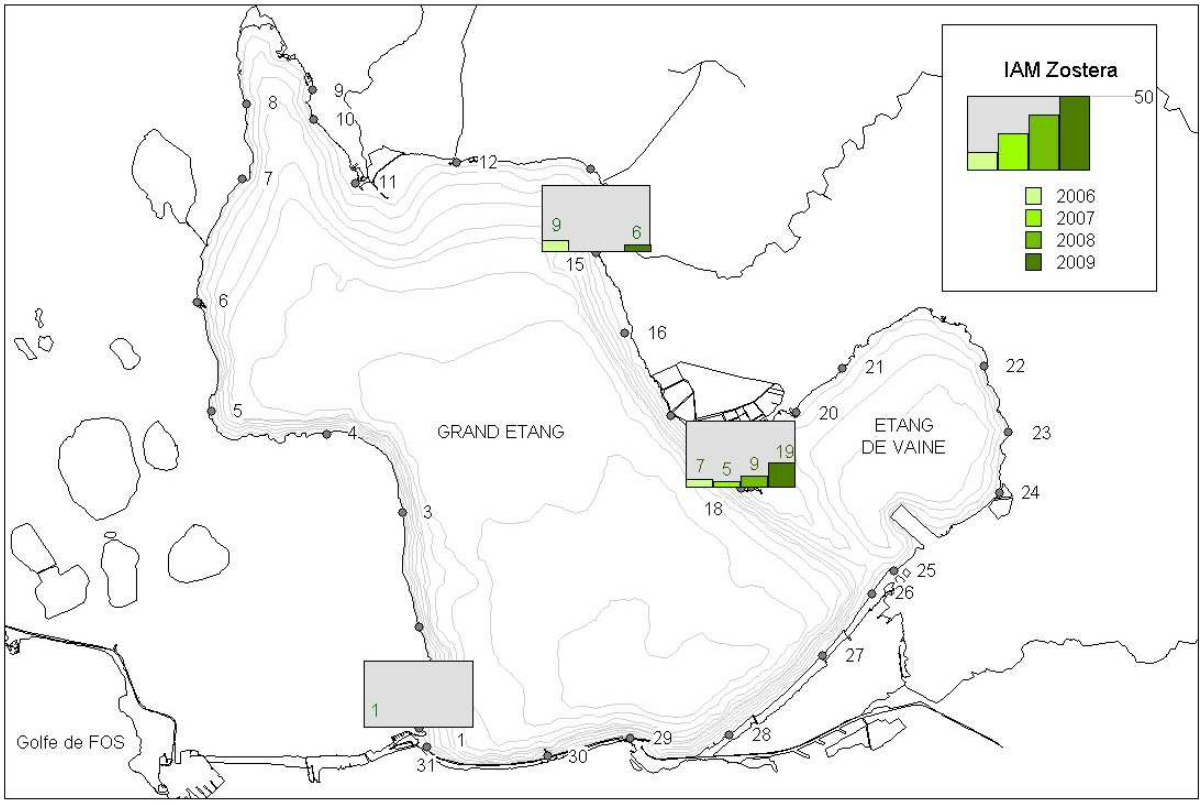


Figure 25. Répartition des herbiers de *Zostera noltii* et évolution de leur abondance le long du littoral de l'étang de Berre de juin 2006 à juin 2009. Pour des raisons de lisibilité des graphiques, l'échelle des IAM est de 50 au lieu de 500 (valeur maximale de l'indice).

Les herbiers de *Zostera* ne sont présents de manière régulière que sur les deux transects 15 et 18 ; ils n'ont été qu'occasionnellement observés sur le transect 1, en 2006, avec de très faibles abondances. Les Indices d'Abondance Moyen (IAM) se sont échelonné de 0 à 19 au cours de la série temporelle : sur le transect 15 après une diminution marquée de leur recouvrement entre 2006 et 2008 (IAM variant de 9 à 0), les herbiers sont de nouveaux présents en 2009 (IAM de 6) ; de manière similaire, sur le transect 18, où les IAM sont globalement plus élevés, le recouvrement des herbiers augmente de nouveau en 2008 et 2009 (IAM respectifs de 9 et 19) après avoir diminué entre 2006 et 2007. Ils n'ont néanmoins pas retrouvés les niveaux qui étaient observés en 2005 (IAM respectivement de 11 et 38 pour les transects 15 et 18).

Tableau 12. Fréquence et classes de recouvrements de *Zostera noltii* le long des 31 transects de prospection répartis le long des rivages de l'étang de Berre, en juin 2006, 2007, 2008 et 2009. Position de *Z. noltii* par rapport à la côte et moyenne des IAM pour l'ensemble des 31 transects.

	nombre de transects où *Z. noltii* est présente	occurrence de *Z. noltii* le long des transects (entre 0 et 620)	médiane des classes de recouvrement* (entre 0 et 5)	position médiane de *Z. noltii* le long des transects (entre 0 et 100 m)	IAM moyen (entre 0 et 500)
2006	3	7	3	35 m	0.5
2007	2	6	2	30 m	0.2
2008	1	4	2	30 m	0.3
2009	2	9	3	25 m	0.8

* médiane des valeurs non nulles

La représentation des herbiers de *Zostera* est extrêmement faible au regard de l'ensemble de l'étang de Berre. Depuis 2006, il n'a pas été noté de progression significative (herbiers présents sur moins de 1.5% du linéaire échantillonné). Par ailleurs, les herbiers restent cantonnés au proche rivage, généralement à moins de 50 m de distance de la côte.

4.1.2 Evolution de la surface couverte sur deux sites témoins

Les surfaces couvertes par les herbiers de *Z. noltii* sur les deux sites témoins de l'Arc et de la pointe de Berre, ont été relevées à l'aide de photographies aériennes couplées à des vérités terrain. Le suivi des surfaces couvertes s'appuie sur un état initial réalisé en juin 2004, pour l'ensemble de l'étang. Toutefois, depuis 2006, les photographies aériennes ont été réalisées avec une résolution et une qualité de géoréférencement supérieures (Tableau 13, Fig. 26 et 27). Les surfaces relevées en 2004 ne sont donc données qu'à titre indicatif.

Tableau 13. Caractéristiques des clichés utilisés pour la cartographie des herbiers de l'Arc et de la Pointe de Berre en 2004, 2006, 2007, 2008 et 2009. Précision du géoréférencement (RMS) et résolution des pavés numériques.

Date de prise de vue	Technique	Altitude de prise de vue (m)	Nombre de clichés	Site	Emprise (ha)	RMS (m)	Résolution (m)
juin 2004	avion	800	1	BERRE	88	0.3	0.3
juin 2004	avion	800	1	ARC	88	0.3	0.3
16 juin 2006	ballon captif	150	10	BERRE	2.2	< 0.1	0.1
08 septembre 2006	ballon captif	150	8	ARC	2.2	< 0.1	0.1
08 juin 2007	ballon captif	150	10	BERRE	2.2	< 0.1	0.1
01 août 2007	ballon captif	150	10	ARC	2.2	< 0.1	0.1
23 juin 2008	ballon captif	150	8	BERRE	2.2	< 0.1	0.1
01 juillet 2008	ballon captif	150	14	ARC	2.2	< 0.1	0.1
21 juin 2009	avion	2000	1	BERRE	100	< 0.1	0.2
21 juin 2009	avion	2000	1	ARC	100	< 0.1	0.2



Figure 26. Emprise des photographies aériennes utilisées pour la détermination des surfaces d'herbier de *Zostera noltii* sur le site témoin de l'Arc.



Figure 27. Emprise des photographies aériennes utilisées pour la détermination des surfaces d'herbier de *Zostera noltii* sur le site témoin de la pointe de Berre.

Depuis 2006, pour les sites témoins de l'Arc et de la pointe de Berre, la répartition des zones d'herbiers a peu évoluée (Tab. 14).

Tableau 14. Présence/absence d'herbier à *Zostera noltii* sur les sites témoins de l'Arc et de la pointe de Berre en 2004, 2006, 2007, 2008 et 2009.

Site		2004	2006	2007	2008	2009
ARC	Anse 1	oui	non	non	non	non
	Anse 2	non	non	non	non	non
	Anse 3	oui	oui	oui	oui	oui
	Anse 4	non	non	oui	oui	oui
BERRE	Anse 1	oui	oui	oui	oui	oui
	Anse 2	oui	oui	oui	oui	oui
	Anse 3	oui	oui	oui	oui	oui
	Anse 4	oui	non	non	non	non

Depuis 2006, les surfaces couvertes fluctuent entre 32 et 295 m² pour le site de l'Arc (soit 0.02 et 0.2% de la surface potentiellement couverte) et 841 et 3 154 m² pour le site de Berre (soit 1 à 3.7% de la surface potentiellement couverte, Fig. 28). L'évolution du nombre de taches d'herbier et de leur taille moyenne accompagne généralement les variations de surface totale (Tab. 15) : la réduction de la surface d'herbier se traduit ainsi par une augmentation du nombre de taches, qui sont de plus petite taille (fractionnement), tandis que l'augmentation de surface d'herbier se produit essentiellement par coalescence des taches existantes (diminution du nombre global de taches et augmentation de leur taille moyenne).

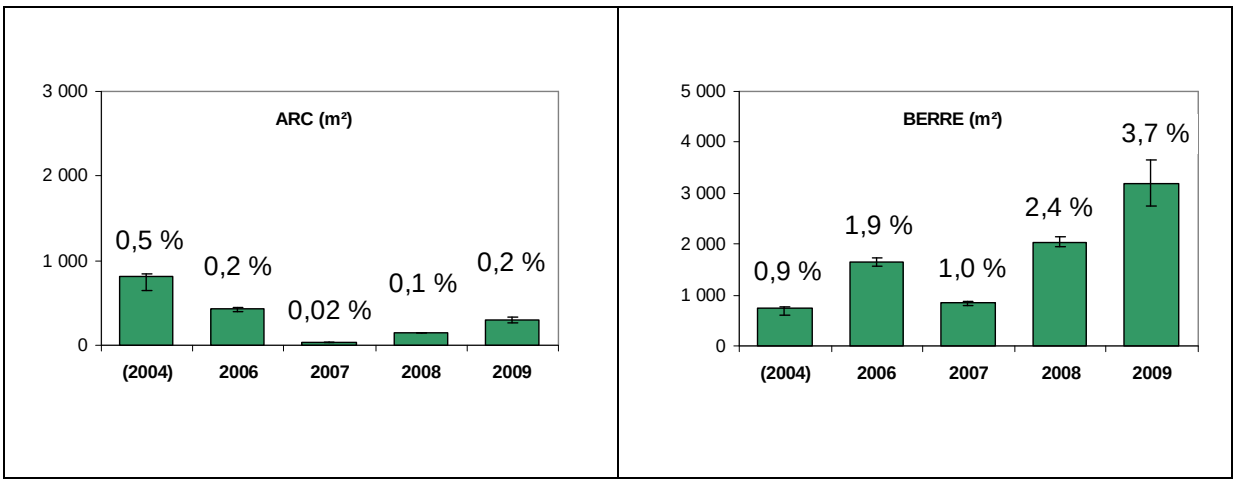


Figure 28. Evolution des surfaces couvertes par les herbiers à *Z.noltii* sur les sites de l'Arc et de Berre de 2006 à 2009.

Tableau 15. Structure des herbiers de *Z. noltii* sur les sites témoins de l'Arc et de la pointe de Berre de 2004 à 2009. La surface totale correspond à la surface probable couverte par les herbiers. Entre crochets : surfaces minimales et maximales estimées d'après la marge d'erreur de la digitalisation manuelle.

Site	Période	nombre de taches	taille moyenne des taches (m²)	taille médiane des taches (m²)	surface totale (m²)	surface couverte (% du site)
ARC*	2004	6	202.2	17.8	809 [647 – 849]	0.5%
	2006	5	84.6	17.4	423 [402 – 448]	0.2%
	2007				surface interpolée : 32	0.02 %
	2008	27	5.5	2.2	148 [145 – 151]	0.08 %
	2009	30	9.8	4.5	295 [256-399]	0.2%
BERRE*	2004	93	7.9	9.6	743 [596 – 779]	0.9%
	2006	134	12.2	3.0	1 635 [1 556 – 1 736]	2%
	2007	400	2.2	0.7	841 [801 - 883]	1%
	2008	289	7.1	1.8	2 043 [1 946 – 2 146]	2.4%
	2009	249	12.7	0.9	3 154 [2 742-3 644]	3.7%

* emprise des sites couverts par les photographies aériennes : ARC 17 ha ; BERRE 8.5 ha

Sur le site de l'Arc, entre 2006 et 2009, les herbiers ont dans un premier temps fortement régressé, jusqu'à leur quasi disparition en 2007, puis les surfaces couvertes ont de nouveau progressé en 2008 et 2009, sans toutefois retrouver les niveaux de 2006. Cette reprise de croissance s'est exprimée par le développement de plusieurs taches de petite taille, vraisemblablement issues des faisceaux isolés qui se sont maintenus en 2007 (Fig 29a et 29b).

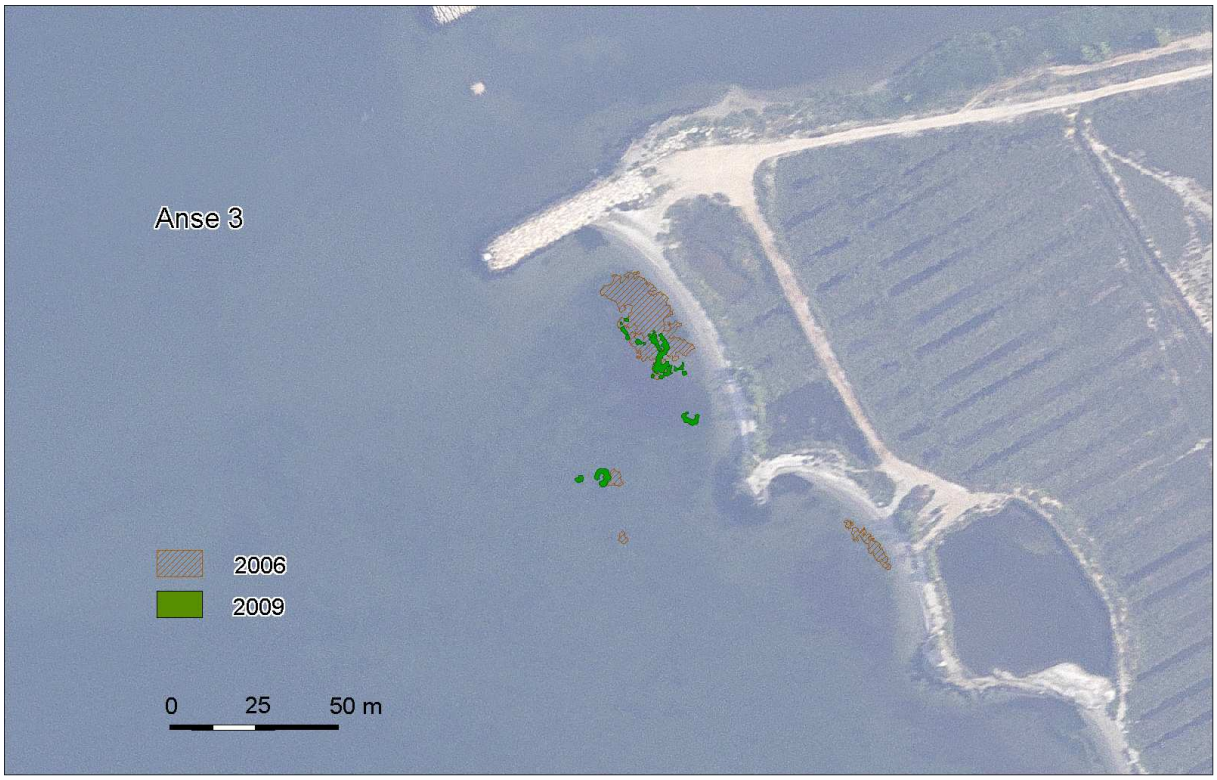


Figure 29a. Surfaces couvertes par l'herbier à *Z. noltii* sur le site de l'Arc (anse 3) en 2006 et 2009.

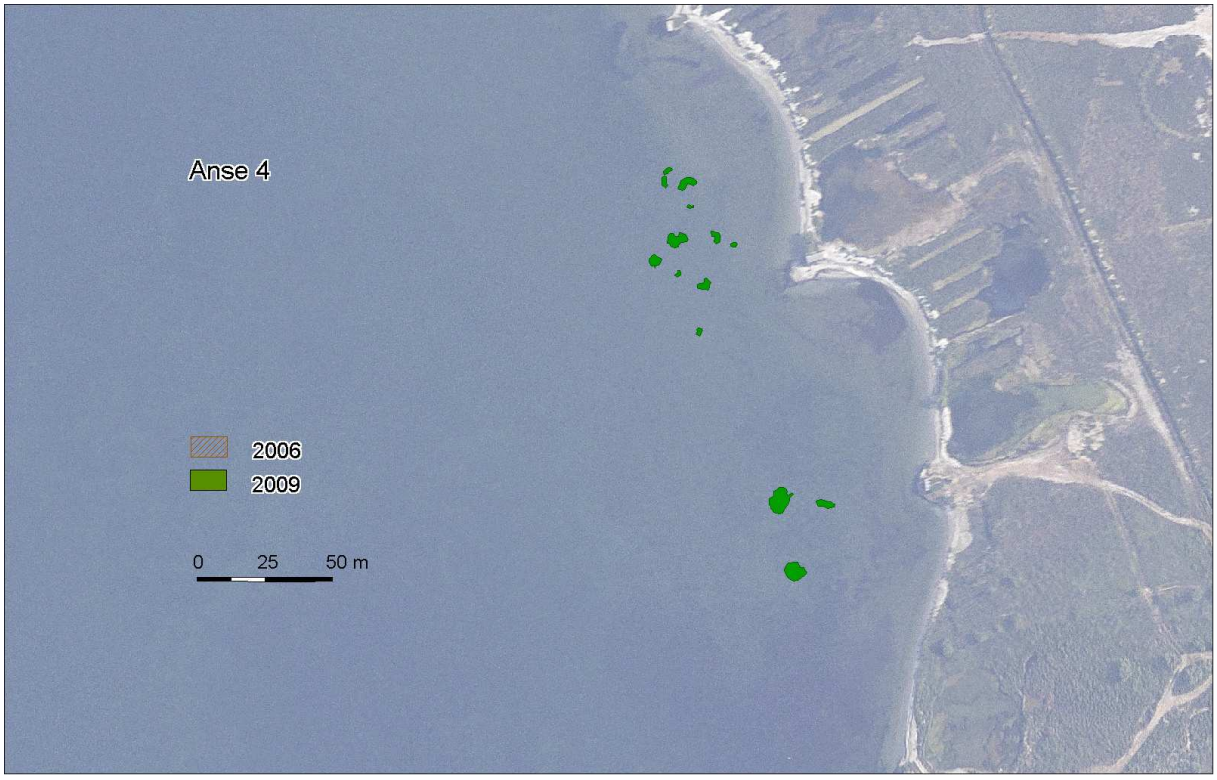


Figure 29b. Surfaces couvertes par l'herbier à *Z. noltii* sur le site de l'Arc (anse 4) en 2006 et 2009.

De la même manière, sur le site de Berre, après une régression entre 2006 et 2007, les surfaces couvertes progressent en 2008 et 2009 (Fig. 30a, 30b) et sont supérieures aux niveaux de 2006. La plupart des taches qui subsistaient en 2007 (avec des tailles réduites : taille moyenne de 2.2 m²) se sont maintenues et ont poursuivi leur croissance (taille moyenne des taches de 12.7 m² en 2009). La profondeur maximale atteinte par les herbiers sur les sites témoins est comprise entre 0.8 et 1.3 m.

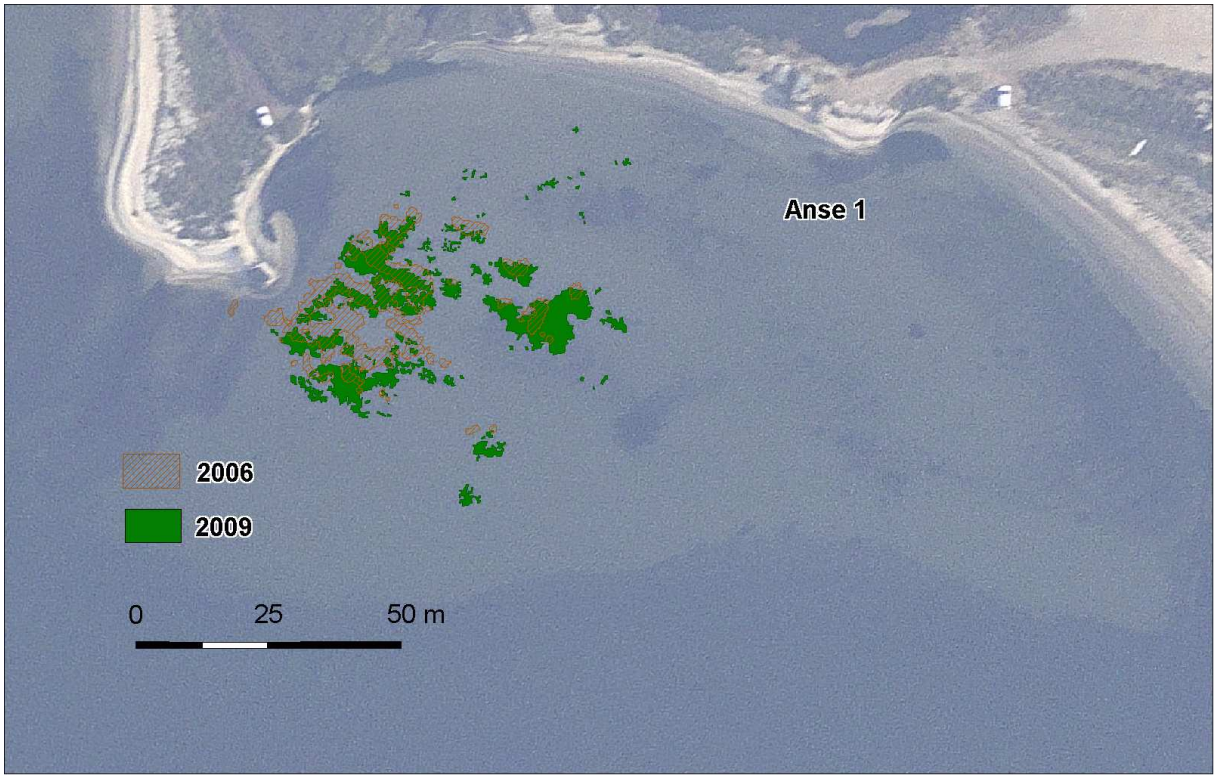


Figure 30a. Surfaces couvertes par l'herbier à *Zostera noltii* sur le site de la pointe de Berre (anse 1) en 2006 et 2009.

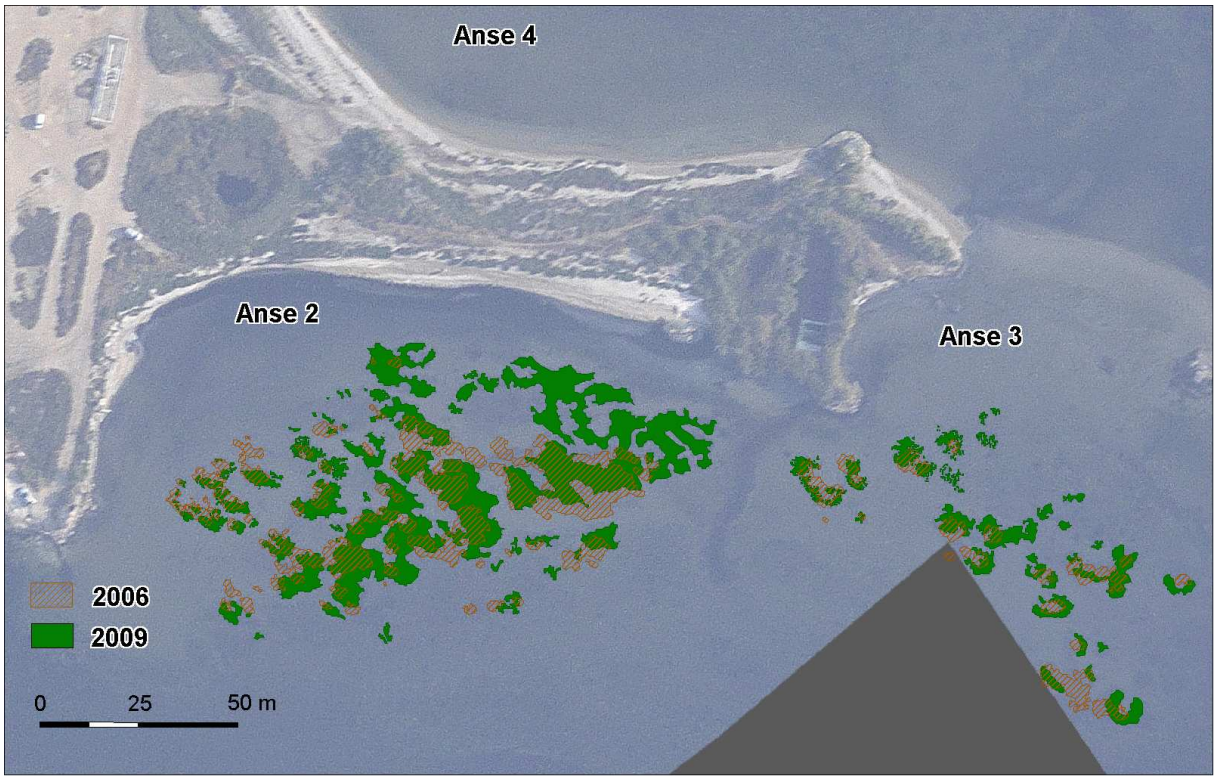


Figure 30b. Surfaces couvertes par l'herbier à *Zostera noltii* sur le site de la pointe de Berre (anse 2 et 3) en 2006 et 2009.

4.1.3 Evolution de la surface couverte pour l'ensemble de l'étang

La campagne de photographies aériennes visant à couvrir l'intégralité du littoral de l'étang de Berre pour l'évaluation des surfaces couvertes par les herbiers à *Z. noltii* a été réalisée en juin 2009. Les données sont en cours d'interprétation et seront disponibles au 1er semestre 2010.

4.2 AXE 2 - Capacité des herbiers en place à s'étendre

4.2.1 Suivi de la croissance sur deux sites témoins

Le suivi de l'évolution des marges a été abandonné en 2007 au profit d'un renforcement de l'axe 2.2 (§ 4.2.2).

4.2.2 Suivi de la vitalité des herbiers sur deux sites témoins

Comme pour toutes les magnoliophytes marines, le développement végétatif de *Zostera noltii* se produit par l'élaboration de rhizomes qui portent des faisceaux de feuilles. Le suivi de la vitalité des herbiers est réalisé par la mesure de paramètres morphologiques standardisés : densité de faisceaux, biomasse endogée (rhizomes + racines), biomasse épigée (feuilles) et biomasse des épiphytes, relevées par des mesures in situ et par des prélèvements, positionnés de manière aléatoire au sein des taches d'herbier (Tab. 16). Le choix du protocole d'étude a porté préférentiellement sur des méthodes éprouvées et standardisées, notamment dans le cadre de suivis des herbiers de *Posidonia oceanica* en Méditerranée ou dans le cadre de suivis des herbiers de *Zostera* sur la côte atlantique (notamment des "recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la Directive Cadre Eau, 2005"). Les relevés pouvant être réalisés in situ ont également été favorisés, dans le but de limiter les prélèvements et le traitement de matériel (préparation et tri des échantillons).

Tableau 16. Dates des prélèvements pour la mesure des paramètres phénologiques et des relevés *in situ* (comptages de densités et suivi de l'accroissement des rhizomes) effectués dans les herbiers à *Zostera noltii* de l'Arc et de la Pointe de Berre de 2006 à 2009.

	ARC		**BERRE**	
	Comptages in situ	Prélèvements	Comptages in situ	Prélèvements
2006	07 juin 04-juil 08-août 06-sept	04-juil	07 juin 05-juil 08-août 06-sept	05-juil
2007	13-juin 13-juil 08-août 13-sept 03-oct	06-juin 08-août 03-oct	13-juin 13-juil 08-août 14-sept	04-juin 08-août 03-oct
2008	20-juin 15-juil 08-août 24-sept	20-juin 08-août	20-juin 15-juil 08-août 03-oct	20-juin 08-août
2009	29-juin 31-juil 28-août 30-sept	29-juin 28-août	29-juin 31-juil 28-août 30-sept	29-juin 28-août

Dans l'étang de Berre, les paramètres morphologiques des herbiers de *Z. noltii* (densités de faisceaux, biomasses) montrent un caractère saisonnier de type unimodal : les variations au cours de l'année sont marquées, le maximum de la production de feuilles et rhizomes s'effectue entre le début du printemps et l'automne puis en hiver on observe une chute importante des feuilles. Le maintien des herbiers au cours de l'hiver permet de les qualifier de pérenne ou pseudopérennante. Un tel cycle saisonnier est largement décrit dans la littérature.

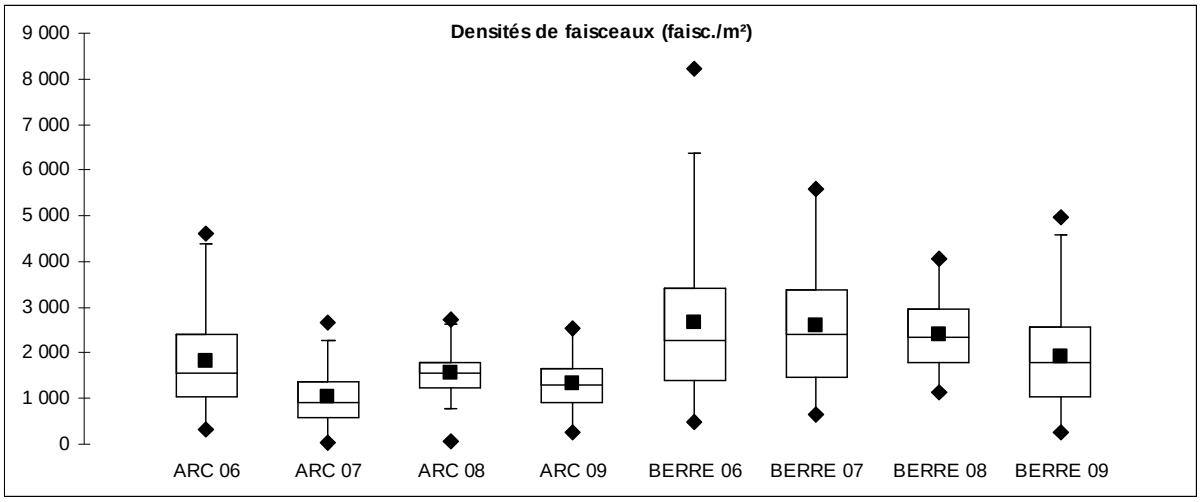


Figure 31. Densités de faisceaux (faisc./m²) relevées par comptage *in situ* dans les herbiers à *Zostera noltii* des sites témoins de l'Arc et de la Pointe de Berre de 2006 à 2009 (n = 80 ; boites = 1er quartile, médiane, 3ème quartile ; marques rectangulaires = moyennes ; moustaches = 1.5 x intervalle inter-quartiles ; marques losanges = minimum - maximum).

Les densités de faisceaux moyennes restent globalement comparables depuis 2006. Elles sont, toutefois, plus faibles sur le site de l'Arc que sur le site de Berre. On note également une diminution significative des densités sur le site de Berre en 2009 (Kruskal Wallis, $p<0.01$, procédure de Dunn). Enfin, les amplitudes de densités de faisceaux en 2007, 2008 et 2009 sont plus faibles qu'en 2006 avec une homogénéisation des densités, au cours de la saison estivale, vers les faibles valeurs.

A plus petite échelle, (échelle des faisceaux de feuilles), biomasse foliaire et surface utile (LAI) intègrent les paramètres morphologiques tels que nombre de feuilles par faisceaux, longueur et largeur des feuilles. Ils sont mesurés à partir de prélèvements, dont le nombre a été volontairement réduit à 3 répliquats de manière à limiter l'impact sur les herbiers en

place. Les indices phénologiques suivent une nette variation saisonnière, les valeurs maximales sont observées en juin, puis déclinent dès juillet (Fig. 32), au fur et à mesure de la chute des feuilles en lien avec la turbidité des eaux, et la charge en épiphytes.

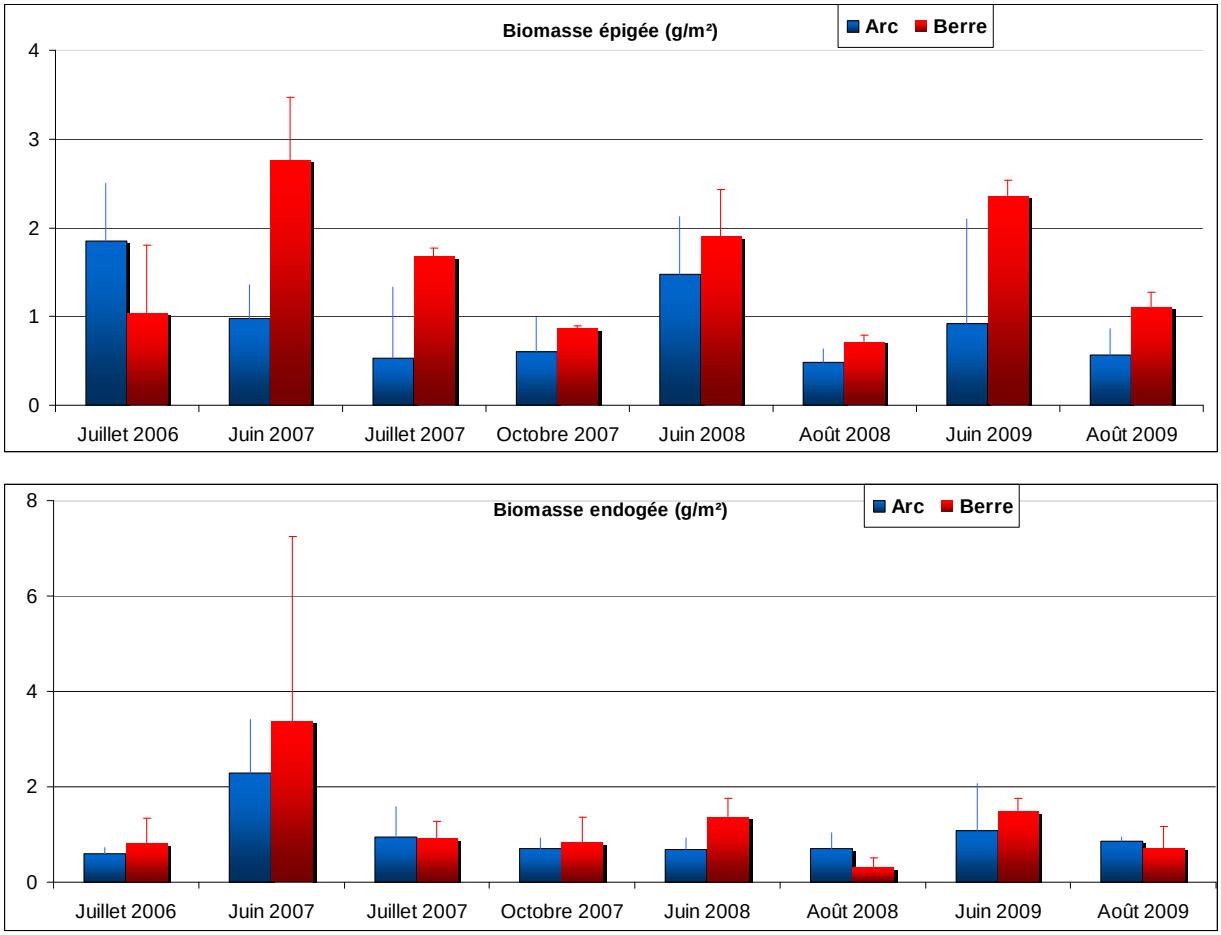


Figure 32. Biomasses (en g.m-²) épigées (en haut) et endogées (en bas) mesurées sur les sites de l'Arc et de la Pointe de Berre (n=3) entre 2006 et 2009.

En terme de comparaison interannuelle il est nécessaire de prendre en compte les résultats relevés à la même saison ; pour chaque site les valeurs de biomasse foliaire ne diffèrent pas significativement entre les mois de juin 2007, 2008 et 2009.

De la même manière, l'indice de surface utile (LAI) est maximal au mois de juin et décroît au cours de la période estivale, les différences interannuelles ne sont pas significatives (Fig. 33).

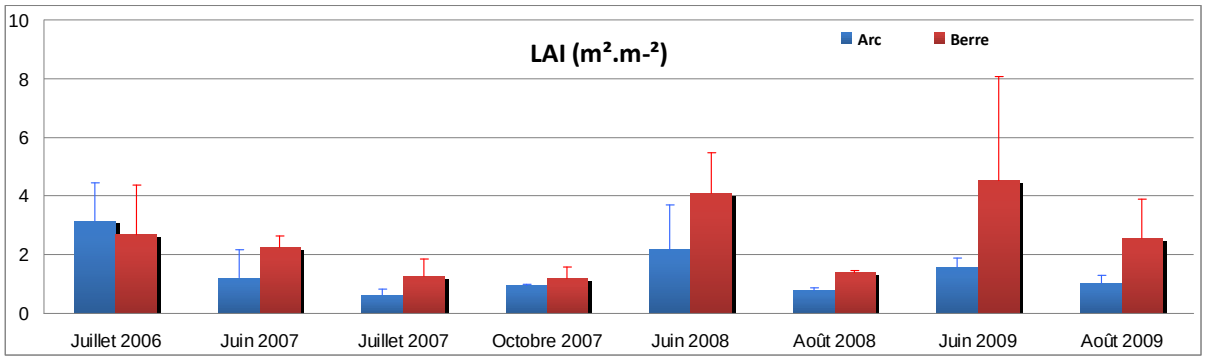


Figure 33. Surface utile (LAI en m^2 de feuilles/m² d'herbier) sur les sites de l'Arc et de la Pointe de Berre (n=3) entre 2006 et 2009.

Enfin, le développement d'épibiontes sur les feuilles rend compte de l'eutrophisation du milieu au cours de la période estivale. Les valeurs ont été plus faibles en 2008 et augmentent à nouveau en août 2009 (Fig.34).

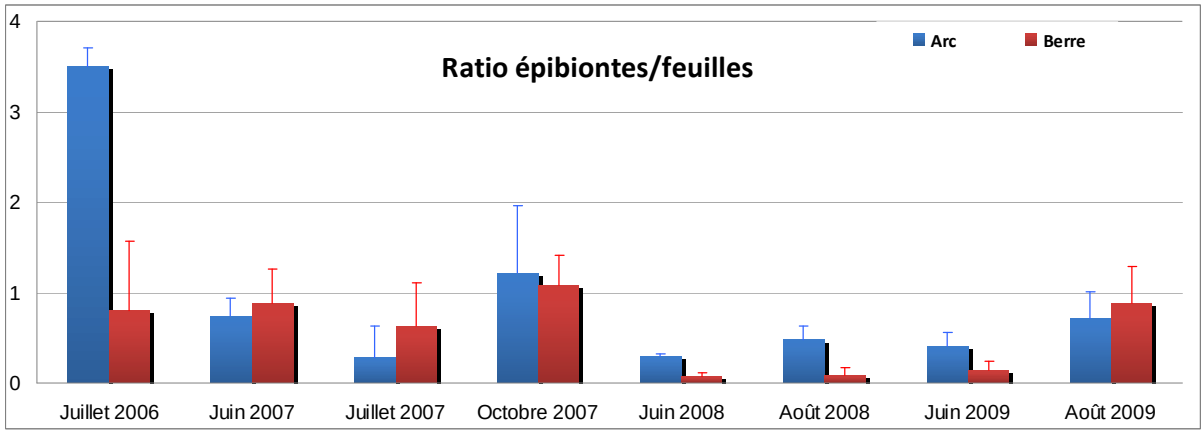


Figure 34. Ratio des biomasses d'épibiontes sur biomasses de feuilles de *Zostera noltii* sur les sites de l'Arc et de la Pointe de Berre (n=3) entre 2006 et 2009.

4.2.3 Suivi de la reproduction

Lors du suivi de 2006, des inflorescences de *Zostera noltii* avaient été observées sur les sites témoins de l'Arc et de Berre aux mois de mai, juin et juillet avec une densité moyenne de 204 faisceaux florifères.m-². Depuis, la présence d'inflorescence dans les herbiers des sites témoins est irrégulière : en 2007, seul 1 faisceau florifère a été observé, de manière ponctuelle, dans un échantillon prélevé sur le site de l'Arc en juin ; en 2008, des inflorescences ont été observées en juin et juillet sur les sites de l'Arc et de Berre avec des

densités moyennes respectives de 181.2 et 103.6 faisceaux florifères / m² ; en 2009, aucun faisceau florifère n'a été observé.
D'une manière générale, la floraison des magnoliophytes marines n'est toutefois pas un phénomène régulier ni systématique, leur reproduction s'effectuant essentiellement par voie végétative.

4.3 AXE 3 - Capacité du milieu à permettre le développement des herbiers

4.3.1 Salinité

Le suivi de la salinité, détaillé en chapitre 2 de ce document renseigne, en particulier sur le caractère homogène de la masse d'eau comprise entre 1 et 6-7 m de profondeur pour l'ensemble de l'étang de Berre. Les herbiers de Zostera, limités en profondeur à 1.5 m, sont plus spécialement concernés par les évolutions de cette masse d'eau. Au cours des années 2006 à 2009 la salinité de cette masse d'eau a varié valeurs extrêmes inclues entre 15 et 31 g/l. Ces niveaux de salinité sont compatibles avec le développement des herbiers de Z. noltii qui est une espèce relativement euryhaline. Ponctuellement les variations de salinité de la couche d'eau de surface (0-1m), peuvent également concerner les herbiers les plus superficiels. Toutefois les secteurs de l'étang pour lesquels des dessalures de surface sont observées (le Ranquet et l'anse de Saint-Chamas) sont relativement éloignés des zones d'herbier des sites témoins (Arc et Pointe de Berre).

4.3.2 Lumière disponible

La mesure de la lumière permet de mieux décrire les conditions dans lesquelles se développent les herbiers de *Z. noltii*. Les besoins minimaux en lumière tels que décrits dans la littérature sont compris entre 10 et 11 % de la lumière incidente. En deçà de ces valeurs, l'énergie lumineuse n'est plus suffisante pour permettre la croissance de *Z. noltii*.

Deux méthodes de mesure ont été mises en œuvre :

- une approche globale, à l'échelle de l'étang : la transparence de l'eau a été relevée mensuellement au disque de Secchi sur les 10 stations du suivi hydrologique.
- Un suivi plus précis des deux sites témoins : des capteurs d'irradiance (Fig. 35) ont été installés *in situ*, en continu de mai à octobre 2007, 2008 et 2009, sur les

sites témoins de l'Arc et de Berre. Les capteurs ont été installés à 1 m de profondeur en limite inférieure des herbiers de *Zostera noltii*.





Figure 35. Illustration des capteurs HOBO utilisés pour le suivi en continu de l'irradiance sur les sites témoins de l'Arc et Berre

La conversion des lumen, donnés par les capteurs, en QPAR (µmol photons/ m² /s) n'est pas réalisable directement. Un capteur supplémentaire a donc été installé, en surface, de manière à pouvoir calculer l'atténuation lumineuse entre le rayonnement de surface et le rayonnement parvenant à 1 m de profondeur, pour chaque site témoin.

La profondeur de disparition du disque de Secchi permet de calculer un coefficient d'atténuation de l'énergie lumineuse dans l'eau (Kd) en relation avec la turbidité. De 2006 à 2008 le coefficient d'atténuation moyen se situait entre 0.7 et 0.8 m^{-1}, il est plus élevé en 2009 (Kd moyen = 1 m^{-1}), en particulier au cours de la période estivale (valeur maximale de Kd=2, en septembre 2009), signe d'une turbidité très importante à cette période. En se basant sur la limite théorique à laquelle parvient 10% du rayonnement incident, les conditions de transparence de l'eau relevées au cours de l'été 2009 ne pourraient permettre le maintien de *Z. noltii* que jusqu'à 1.2 m de profondeur (sur la base des valeurs de septembre 2009).

Tableau 17. Profondeurs moyennes de disparition du disque de Secchi (Zs) dans l'étang de Berre de 2006 à 2009 ; coefficient d'atténuation lumineuse lié aux propriétés physiques de la masse d'eau (Kd), profondeur de la couche euphotique (D1%) et profondeur des 10% de lumière incidente.

	Zs (m)	Kd (m^{-1})	D1% (m)	D10% (m)
2006	2.8	0.8	6.5	3.2
2007	2.7	0.7	7.4	3.6
2008	2.7	0.7	7.2	3.6
2009	2.0	1.0	5.4	2.7

Le détail mensuel des profondeurs moyennes de disparition du disque de Secchi est donné à titre indicatif pour l'année 2009 (Tab.18). Classiquement, les valeurs de Kd sont plus élevées (pénétration de la lumière plus faible) en période estivale.

Tableau 18. Profondeurs moyennes de disparition du disque de Secchi (Zs) dans l'étang de Berre en 2009 ; coefficient d'atténuation lumineuse lié aux propriétés physiques de la masse d'eau (Kd), profondeur de la couche euphotique (D1%) et profondeur des 10% de lumière incidente.

		Zs moyen (m)	Kd	(D1% Poole & Atkins 1929)	D10% (m)
2009	janv-09	2,4	0,7	6,5	3,3
	févr-09	2,0	0,8	5,5	2,8
	mars-09	3,1	0,5	8,5	4,2
	avr-09	3,3	0,5	8,9	4,5
	mai-09	dm	dm	dm	dm
	juin-09	1,8	0,9	4,9	2,4
	juil-09	1,3	1,3	3,4	1,7
	août-09	1,4	1,2	3,8	1,9
	sept-09	0,9	1,9	2,4	1,2
	oct-09	1,7	1,0	4,5	2,2
	nov-09	2,2	0,8	5,9	2,9
	déc-09				
moyenne période 2009		2,0	1,0	5,4	2,7

A l'échelle très locale des deux sites témoins de l'Arc et de Berre, le pourcentage de lumière parvenant sur le fond a été calculé à partir du rapport entre la somme des irradiances mesurées, par cycle de 24h, en surface et à 1 m de profondeur (profondeur d'immersion du capteur). Une valeur (en %) est ainsi estimée pour chaque cycle complet de 24h (Fig. 36).

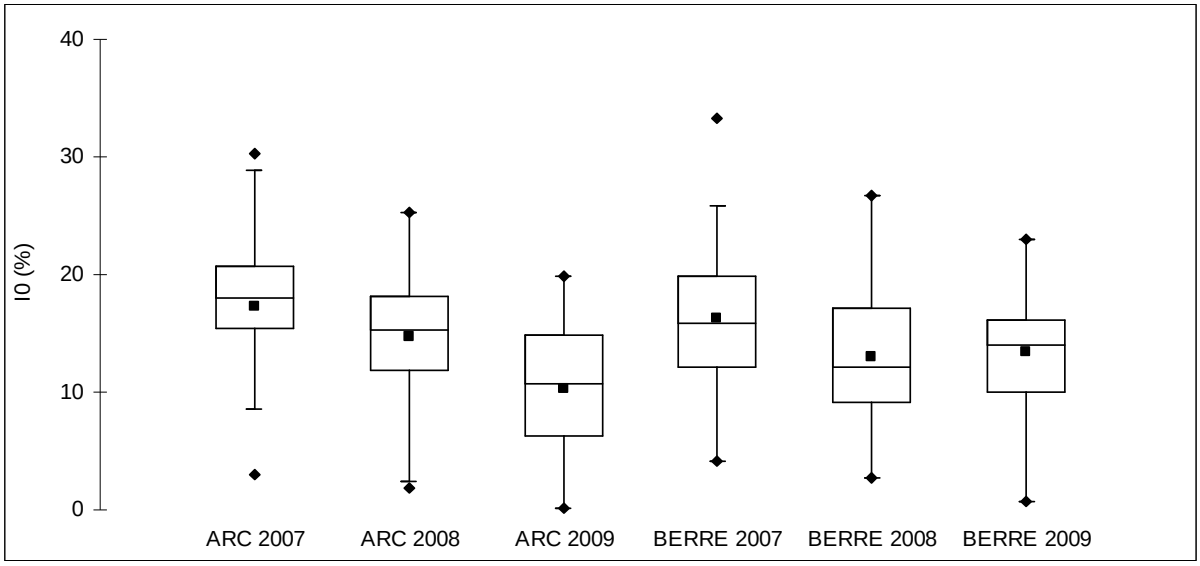


Figure 36. Pourcentages de lumière incidente calculés sur les sites témoins de l'Arc et de Berre, à 1 m de profondeur, entre les mois de juin à octobre en 2007, 2008 et 2009. (n = 97 à 135 ; Boites = 1er quartile, médiane, 3ème quartile ; marques rectangulaires = moyennes ; moustaches = 1.5 x intervalle inter-quartiles ; marques losanges = minimum - maximum).

Depuis 2007, sur les deux sites témoins, la lumière parvenant au fond reste faible d'une manière générale : les valeurs médianes (soient 50% des valeurs mesurées) sont comprises entre 11 et 18% de l'irradiance de surface. Elles ont été significativement plus faibles en 2009, tant sur le site de l'Arc que sur le site de Berre (kruskal-Wallis, $p<0.01$). Les conditions lumineuses se sont plus particulièrement dégradées à partir du mois de juin et jusqu'en septembre 2009 (Anova à 1 facteur, NKS).

Malgré ces faibles valeurs (proches des seuils décrits dans la littérature pour la survie de *Z. noltii*), le maintien des herbiers sur les deux sites témoins depuis 2006 tend à montrer que les conditions lumineuses permettent leur survie dans les petits fonds (1m). En revanche, on peut émettre l'hypothèse que les faibles niveaux de lumière disponibles sont limitants pour toute recolonisation plus en profondeur. Par ailleurs, on peut également penser que des conditions lumineuses dégradées contribuent à maintenir les herbiers à un niveau de vitalité qui ne leur permette pas de faire face à d'autres facteurs de pression plus locaux (érosion liée à l'hydrodynamisme, hyper sédimentation, compétition interspécifique, *etc*.).

4.3.3 Sédimentation et qualité du sédiment

Les teneurs en nutriments et principaux contaminants ont été relevées dans le sédiment superficiel des sites de l'Arc et de la pointe de Berre en juillet 2008 (Tab. 19).

Tableau 19. Teneurs en nutriments et contaminants mesurées dans le sédiment superficiel de l'étang aux stations de l'Arc et de la Pointe de Berre en juillet 2008 (HAP = hydrocarbures aromatiques polycycliques). Lorsque les valeurs sont inférieures aux seuils de quantification, les seuils sont indiqués.

date pélèvements 24/07/2008
sédiment superficiel

	ARC	BERRE
Physico-chimie		
Matières sèches (%)	85,5	76,4
nutriments		
Azote kjeldahl (g N/kg Ms)	0,349	0,242
Phosphore total (g P/kg MS)	0,127	0,182
Carbone organique total (g C/kg MS)	3,9	5,6
Oligo-éléments Micropolluants minéraux (mg/KgMS)		
arsenic	2,2	10
cuivre	1,5	1,7
HAP (µg/kg MS)	< 250	< 250
pesticides		
Pesticides organo-chlorés (µg/kg MS)	< 50	< 50
pesticides organo-phosphorés (g/kg MS)	< 300	< 300
pesticides triazine et métabolites (µg/kg MS)	< 180	< 180
pesticides amides (µg/kg MS)	< 50	< 50
pesticides urées substituées (µg/kg MS)	< 300	< 300
pesticides triazole (µg/kg MS)	< 300	< 300
détergents non ioniques (µg/kg MS)	< 1000	< 1000

Les teneurs en matière organique sont relativement élevées, en revanche, il n'y a pas trace de contamination particulière dans les sédiments de surface.

4.3.4 Transplantation expérimentale de Zostera

La réimplantation expérimentale de *Zostera* dans l'étang de Berre a pour objectif d'apporter des éléments de connaissance complémentaires sur la capacité du milieu à permettre le développement des herbiers. Des transplantations de Z. *noltii* et Z. *marina* ont été effectuées en juin 2009, sur six sites de l'étang de Berre (Fig. 37) et sur un site témoin dans l'anse de

Carteau (site donneur situé dans le Golfe de Fos). Deux techniques ont été mises en œuvre : des transplantations de boutures de faisceaux et des transplantations de mottes (conditionnées en pots de cellulose).

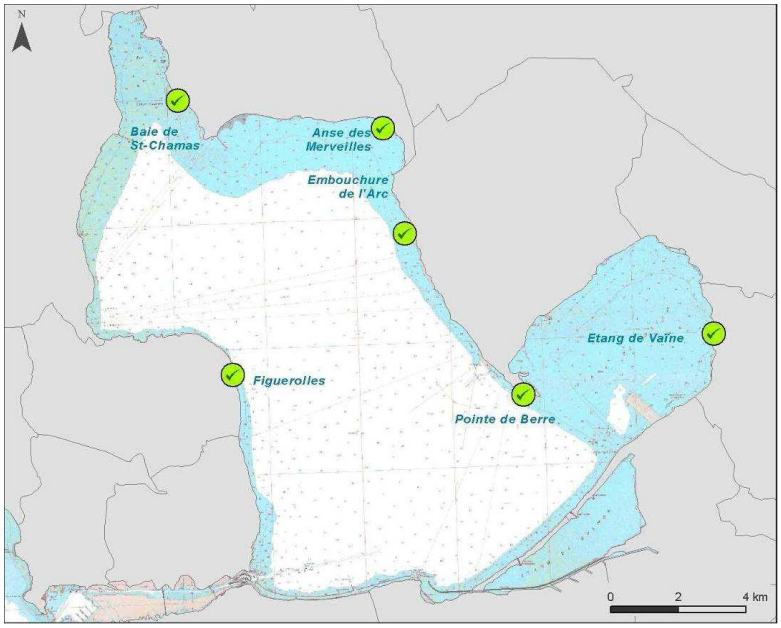


Figure 37. Localisation des sites de réimplantations expérimentales de *Z. noltii* et *Z marina* dans l'étang de Berre.

Le programme de suivi porte sur le taux de survie, la croissance des transplants et les principaux paramètres de milieu (qualité des sédiments, qualité de l'eau), il couvre deux périodes estivales et deux périodes hivernales sur une durée totale de 24 mois. 30 jours après les réimplantations (juillet 2009), des résultats préliminaires montrent des taux de survie supérieurs pour Z. marina par rapport à *Z. noltii* (Tab. 20).

Tableau 20. Taux de survie des transplants de Z. *noltii* (boutures et mottes) et Z. *marina* (boutures) après 15 et 30 jours.

[redacted]

Les sites de réimplantation ont été soumis à d'importants développements algaux, à la fois en épiphytes (micro-algues essentiellement), fixés sur les feuilles des zostères et en accumulation sur le fond (macro-algues de type Ulves). A ce stade de l'expérimentation, plusieurs facteurs peuvent expliquer la meilleure survie de *Z. marina* :

- Des feuilles plus larges et plus longues qui leur permettent de mieux résister au développement d'épiphytes et à l'accumulation d'algues sur le fond ;

- Un système racinaire (rhizomes) plus développé que *Z. noltii* et donc des réserves énergétiques plus importantes.

Ces premiers résultats sont donnés à titre indicatif, un cycle annuel complet (reprise de la végétation après la première période hivernale) étant au moins nécessaire pour juger de la survie des transplants. Il est probable, en outre, que la dégradation des conditions lumineuses au cours de l'été 2009 (jusqu'en septembre) a pu conduire à des mortalités importantes des transplants.

4.4 Conclusion sur les herbiers de Zostera

Au début de l'expérimentation, les herbiers de zostères sont présents à l'état de reliques, restant cantonnés à 2-3 sites dans l'étang.

Depuis 2006, on ne note pas de recolonisation sur les autres stations suivies, les herbiers ne subsistant que sur deux sites de l'étang. Sur ces sites témoins, les herbiers ne constituent pas de ceinture continue et restent sous la forme de taches semi-circulaire différenciées, de taille métrique à décamétrique. Leur extension est limitée aux fonds de profondeur inférieure à 1.2 m. Depuis 2006, après un épisode de régression en 2007 qui a conduit à la quasi disparition de *Zostera* sur le site de l'Arc, en 2008 et 2009 elle est de nouveau présente sur ce site. Sur le site de Berre, les surfaces couvertes ont progressé depuis 2007. Cette progression s'est exprimée par la croissance de la taille individuelle des taches les plus grandes, ainsi que par le développement de petites taches, probablement issues de la dispersion de propagules (boutures ou graines).

Les surfaces couvertes en 2009, sur les sites témoins, ne représentent toutefois qu'une très faible proportion de la surface potentiellement colonisable (respectivement 0.2 et 3.7% pour les sites de l'Arc et de Berre).

Au cours de la série temporelle, les paramètres de vitalité des herbiers en place (densités de faisceaux, biomasses) sont faibles comparativement à d'autres lagunes méditerranéennes. Ces paramètres ont montré une relative stabilité entre 2006 et 2008 mais ont été en diminution au cours de l'été 2009. Cette diminution semble avoir accompagné une dégradation des conditions lumineuses en 2009 (plus particulièrement marquée sur le site de l'Arc).

5 POPULATIONS DE MOULES

Le suivi annuel des populations de moules a débuté en 2006 ; 4 campagnes annuelles de prospection et de prélèvements sont réalisées : l'extension des moulières est évaluée au cours de la campagne de juin, le long du pourtour de l'étang (31 transects littoraux) et sur 4 sites témoins ; des prélèvements pour le suivi des paramètres biométriques de *Mytilus galloprovincialis* sont effectués au cours des 3 autres campagnes annuelles (septembre, décembre et mars). Par ailleurs, l'espèce introduite *Musculista senhousia a* montré des développements importants en 2006 et 2007 et a été précisément dénombrée dans les échantillons à partir de mai 2007.

5.1 AXE 4 - Extension et qualité des moulières

5.1.1 Extension des moulières existantes pour l'ensemble de l'étang

La prospection, en juin 2006, 2007, 2008 et 2009, de 31 transects régulièrement répartis autour de l'étang de Berre a permis d'évaluer l'extension des populations de moules, le long du rivage (Fig. 38). Comme pour les herbiers de *Zostera noltii*, l'abondance des populations de moules, pour chacune des stations, est donnée selon un indice semi-quantitatif (IAM, Indice d'abondance moyen) qui rend compte à la fois de la fréquence et du recouvrement des moules. L'IAM peut ainsi être théoriquement compris entre 0 = absence et 600 = recouvrement de 100 % sur la totalité du transect de prospection.

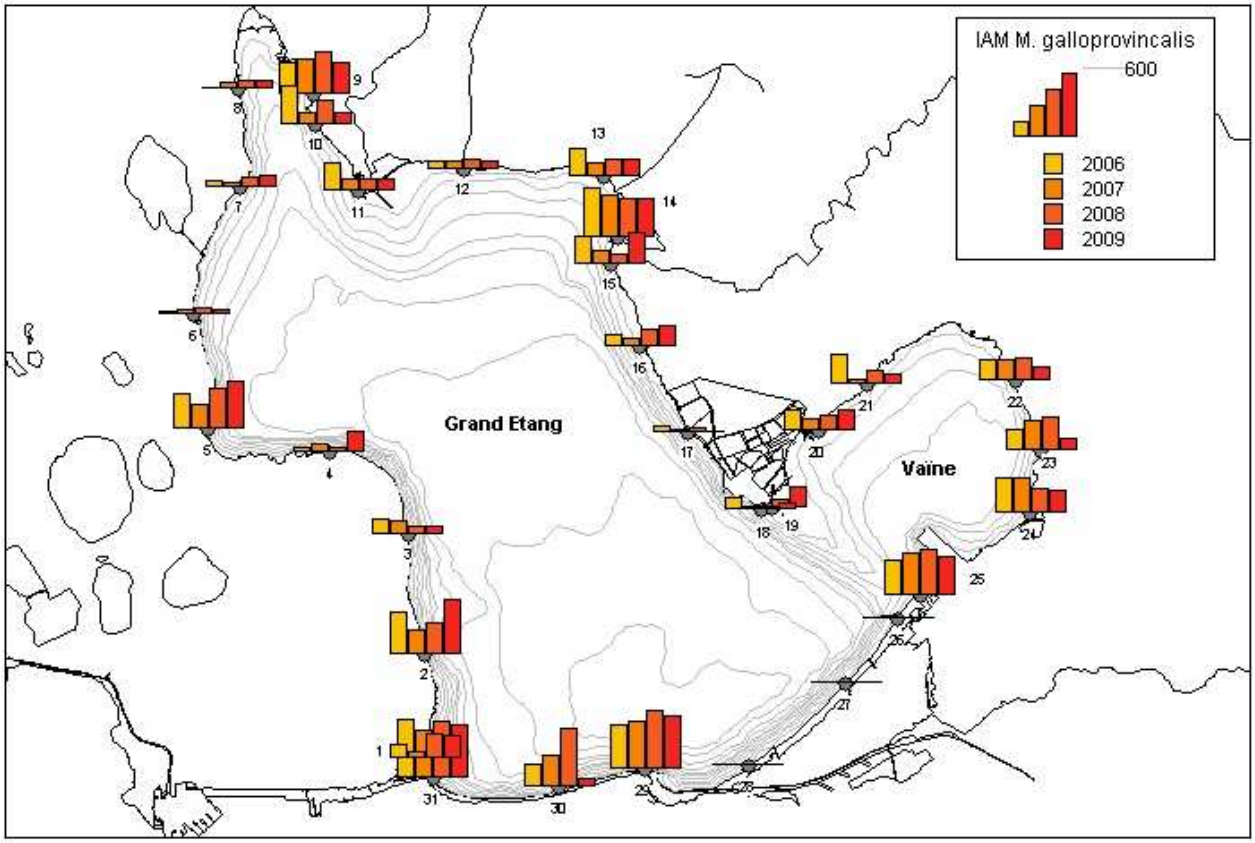


Figure 38. Répartition des populations de moules sur 31 transects du littoral de l'étang de Berre en juin 2006, 2007, 2008 et 2009.

La répartition des moulières littorales est relativement constante depuis 2006, les plus fortes abondances sont observées dans le sud du Grand étang et de l'étang de Vaïne, ainsi que dans un quart nord-est du Grand Etang. Les moules sont absentes le long du cordon sableux du Jaï (stations 26 à 28). Au cours de la série temporelle, la moyenne des IAM est restée globalement stable : elle a été de 185, 152, 189 et 175 respectivement en 2006, 2007, 2008 et 2009.

5.1.2 Extension et Qualité des populations sur quatre sites témoins

La prospection des fonds au niveau de quatre sites témoins A (Trois-Frères), B (Martigues), C (Ranquet) et D (Pointe de l'Arc), a également permis de préciser l'extension des populations de moules en profondeur (Fig. 39, 40, 41, 42 & Tab. 21). Les populations s'étendent de 300 à 2 300 m du rivage, selon le transect et le site considéré, la limite de profondeur des populations de moules se situant entre 6.1 et 9.8 m.

La bathymétrie semble être le critère déterminant dans l'extension des peuplements de moules vers le large : l'abondance est maximale à la côte (en particulier sur les substrats rocheux) et diminue régulièrement avec l'éloignement et donc la profondeur. Le site de l'Arc (D) se distingue des autres sites témoins par la topographie sub-horizontale des fonds, et des populations de moules qui restent donc abondantes en s'éloignant jusqu'à plus de 1 500 m du rivage. La limite inférieure des peuplements est constituée d'individus isolés ou d'agrégats de moules d'une taille inférieure à 0.2 m et qui ne constituent pas de moulière à proprement parler.

Tableau 21. Profondeurs (m) de la limite inférieure d'extension des populations de *Mytilus galloprovincialis* le long des transects de prospection des quatre sites témoins étudiés pour la caractérisation des moulières naturelles de l'étang de Berre en 2006, 2007, 2008 et 2009. Entre parenthèses est donnée la distance entre la côte et la position de la limite inférieure.

		Position de la limite inférieure			
Site	Transect	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
A Trois Frères	2	9.8 (600)	9,8 (600)	9,8 (600)	9,9 (640)
	3	9.8 (390)	8,3 (210)	9,5 (350)	9,9 (500)
	4	9.6 (510)	9,4 (450)	9,4 (450)	9,7 (600)
B Martigues	1	7.8 (580)	8,0 (590)	7,9 (585)	4,0 (240)
	3	6.9 (340)	6,7 (320)	7,3(500)	7,0 (370)
	5	7.1 (600)	7,1 (600)	7,3 (700)	7,2 (660)
C Ranquet	1	6.6 (300)	6,1 (140)	6,4 (200)	7,5 (2400)
	2	6.2 (590)	5,5 (410)	6,3 (700)	7,5 (2800)
	3	6.2 (300)	5,3 (70)	6,6 (600)	7,8 (2350)
D Arc	1	7.9 (1400)	7,3 (1280)	6,7 (1300)	7,7 (2200)
	2	6.9 (1300)	6,6 (1150)	7,3 (1300	7,5 (3200)
	3	6.5 (2300)	6,5 (1600)	6,9 (1600)	7,1 (3200)

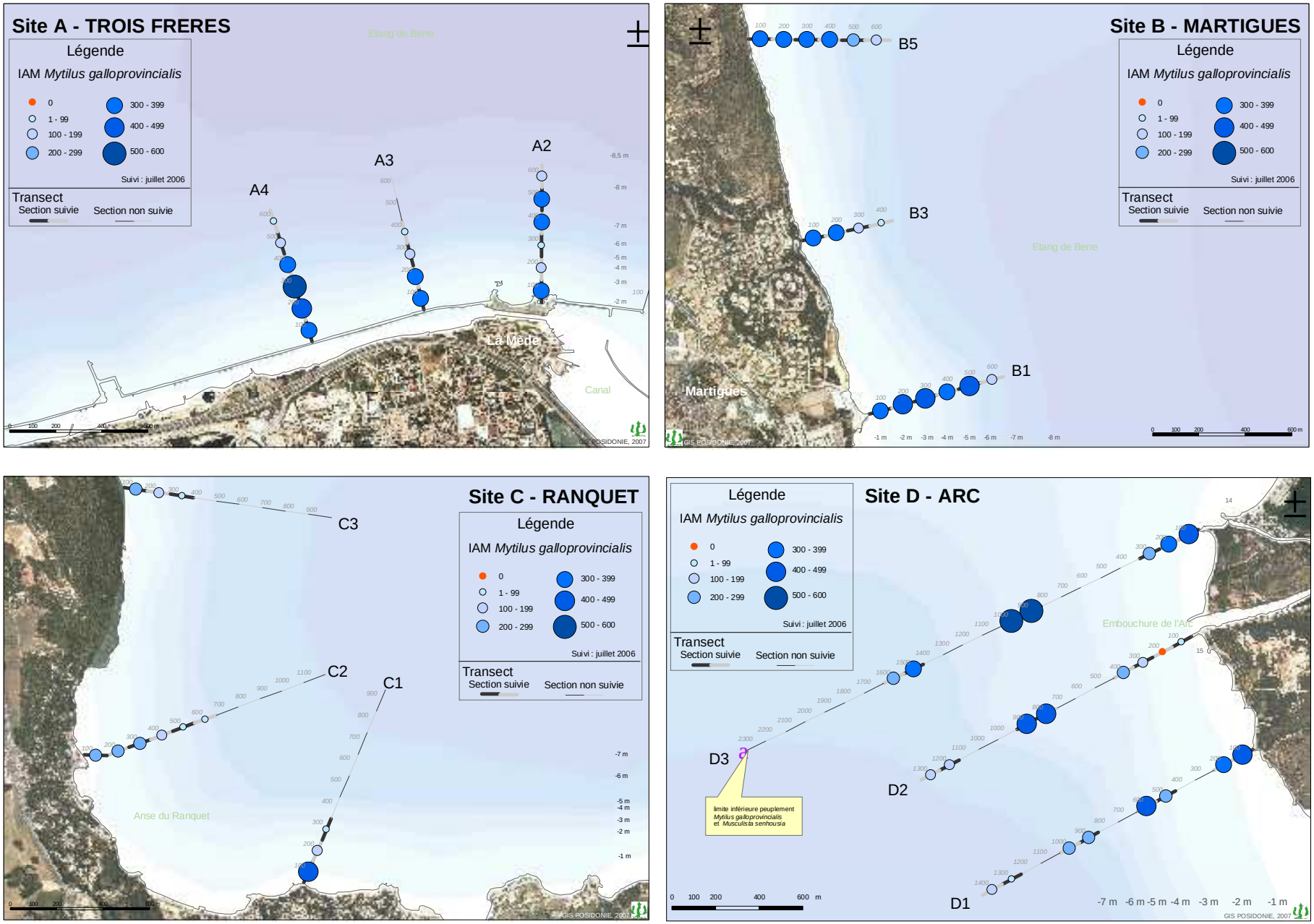


Figure 39. IAM de *Mytilus galloprovincialis* en juillet 2006 sur les quatre sites témoins étudiés pour la caractérisation des moulières naturelles de l'étang de Berre.

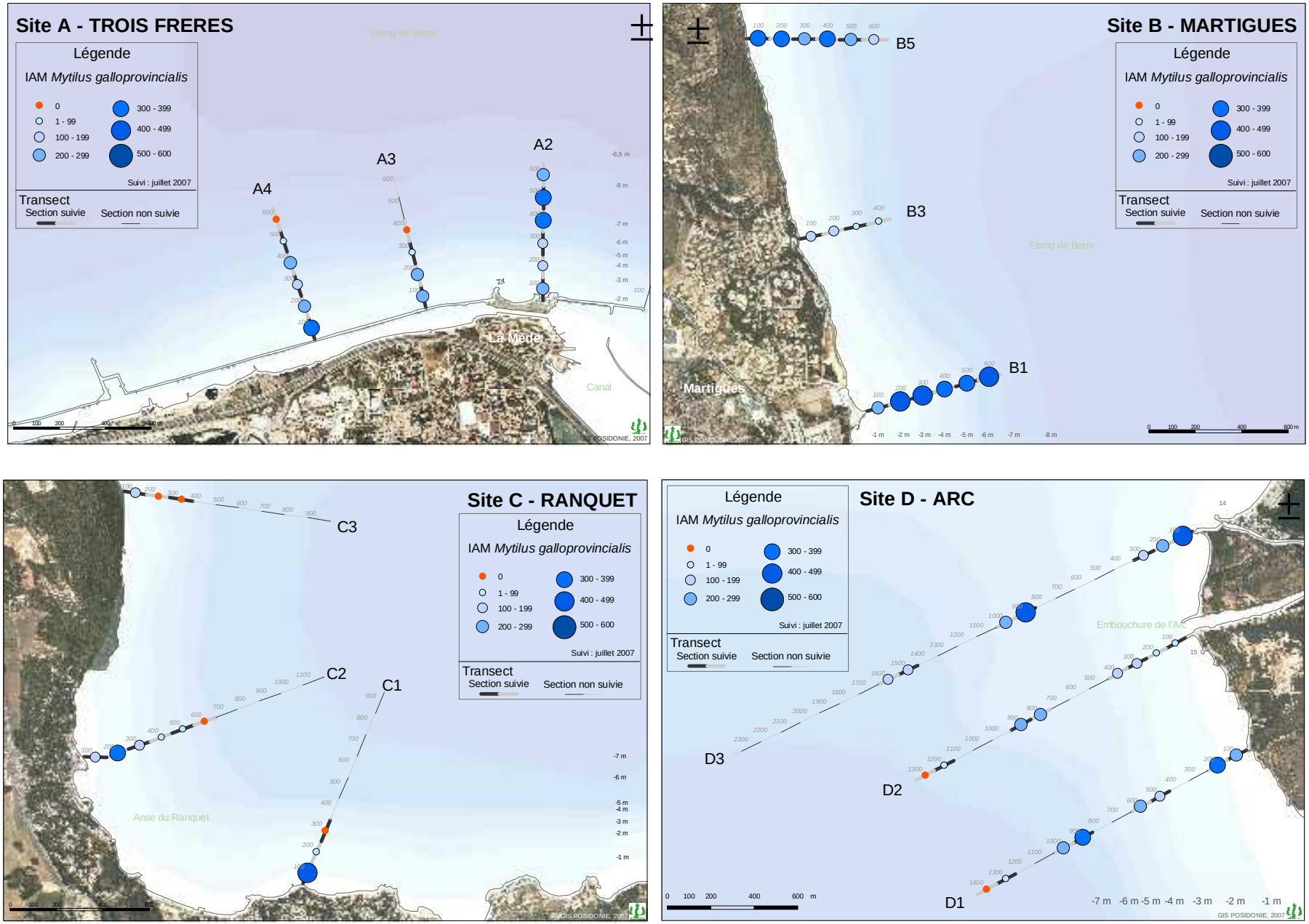


Figure 40. IAM de *Mytilus galloprovincialis* en juillet 2007 sur les quatre sites témoins étudiés pour la caractérisation des moulières naturelles de l'étang de Berre.

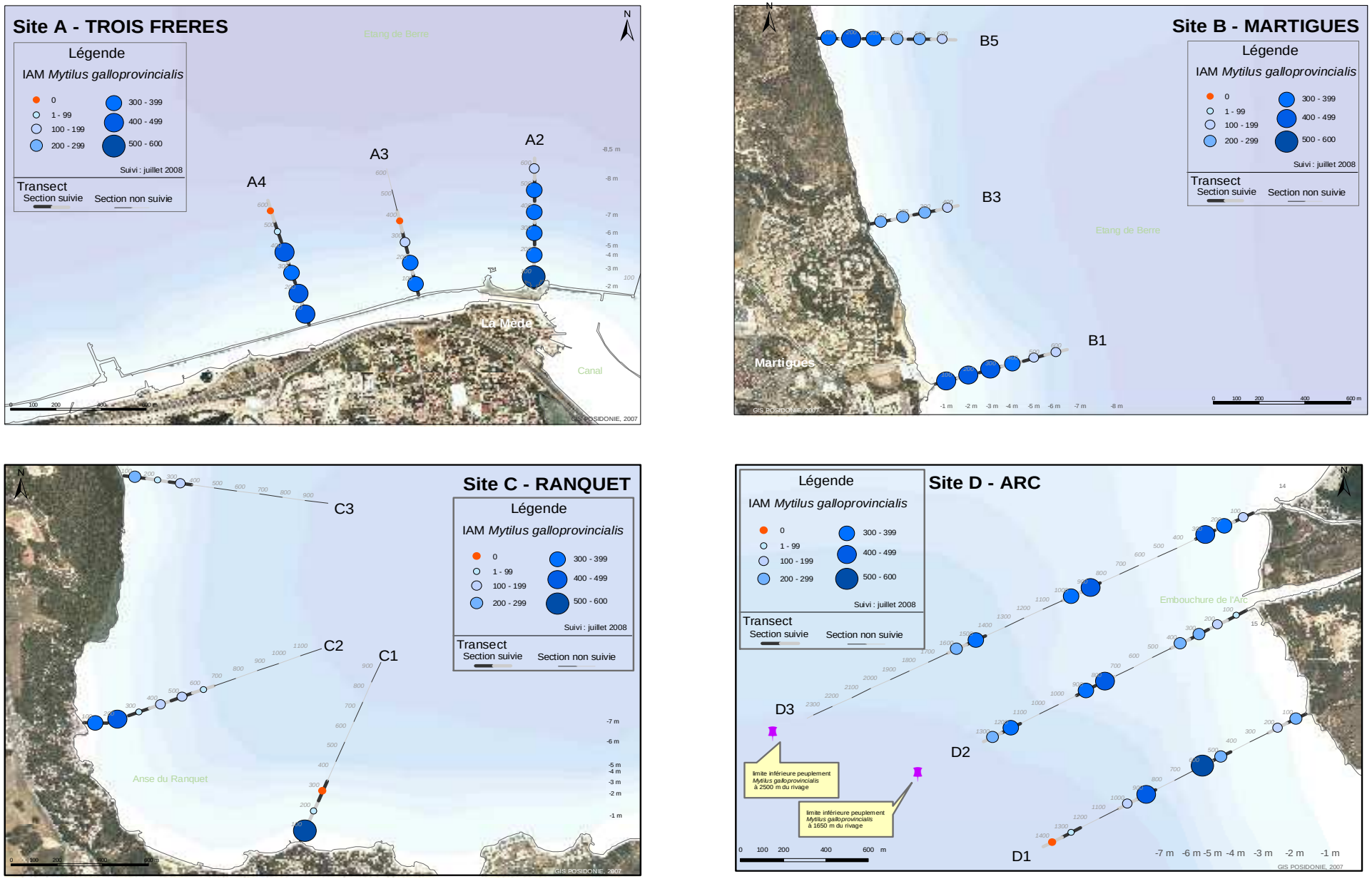


Figure 41. IAM de *Mytilus galloprovincialis* en juillet 2008 sur les quatre sites témoins étudiés pour la caractérisation des moulières naturelles de l'étang de Berre.

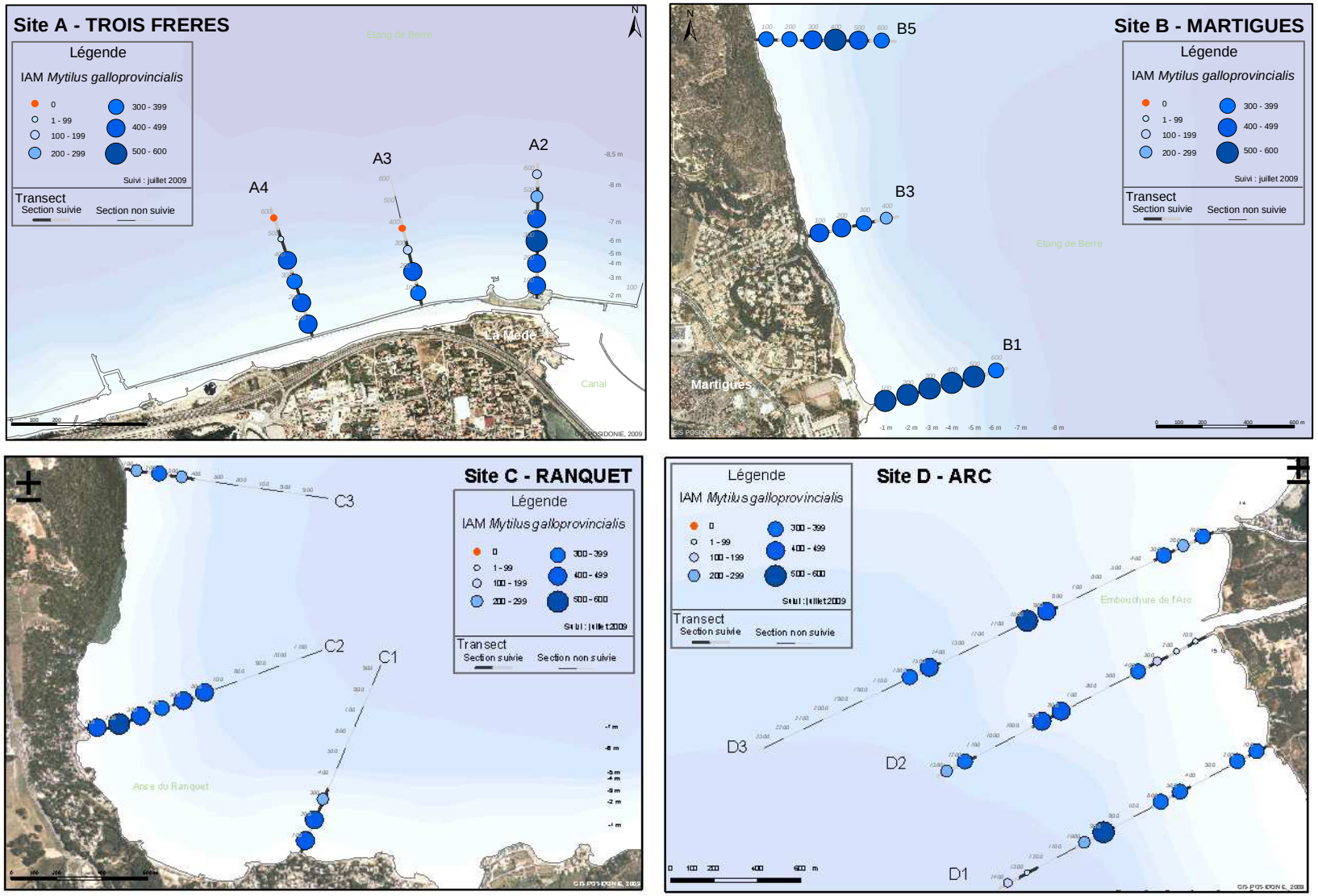


Figure 42. IAM de *Mytilus galloprovincialis* en juillet 2009 sur les quatre sites témoins étudiés pour la caractérisation des moulières naturelles de l'étang de Berre.

Depuis 2006, l'extension des moulières en profondeur a été globalement stable pour les sites témoins A et B, en revanche, en 2009, les peuplements des sites C et D se sont étendus vers le large. Des augmentations d'IAM ont également été notées en 2009, plus particulièrement sur les sites B (Martigues) et C (Ranquet) (Fig. 43).

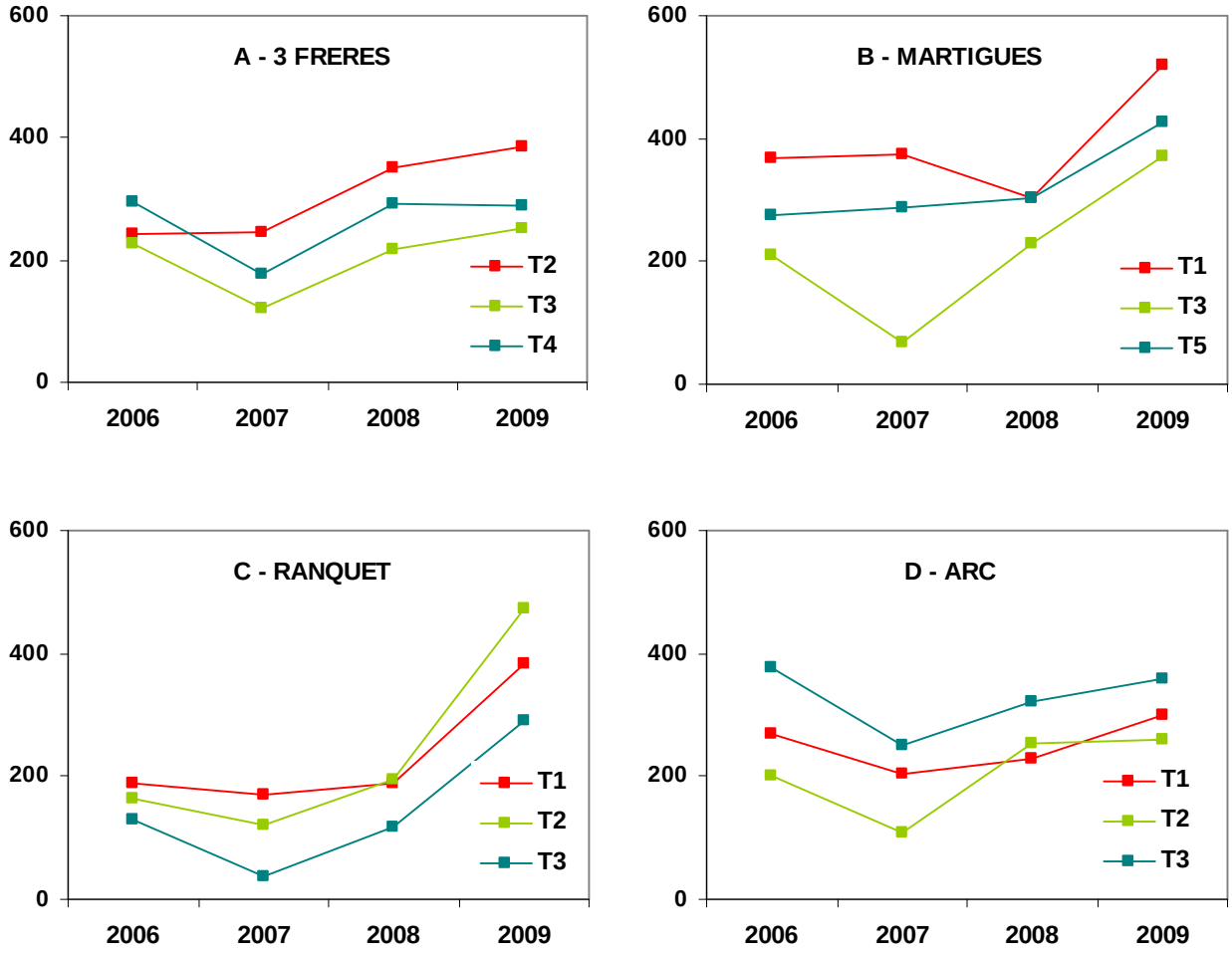


Figure 43. Evolution des IAM moyens pour chaque transect des 4 sites témoins (A, B, C, D) entre 2006 et 2009.

Notons qu'au cours de l'été 2006, les populations de moules des 4 sites témoins avaient été fortement affectées par une crise anoxique aiguë qui avait conduit à d'importantes mortalités et dont les effets sont restés visibles tout au long de l'année 2007, en particulier sur l'abondance des individus de taille adulte. En 2008 les peuplements avaient retrouvé leurs niveaux de 2006. Cela souligne la relative sensibilité des peuplements de moules dans l'étang face à ce type de perturbation (température, anoxie) mais aussi leur potentiel de recolonisation.

→ Analyses biométriques

Les analyses biométriques (effectif, taille moyenne, poids moyen et indices de condition) sont réalisées, à chaque campagne annuelle, sur chacun des sites témoins, à trois stations choisies en fonction de la profondeur : au rivage « terre », à mi-distance « milieu » et au niveau de la limite profonde des populations « large ». Ces stations sont nommées A1, A2, A3, …, D3, indépendamment de la numérotation des transects des sites témoins**.** Pour chaque station, 3 répliquats sont prélevés (quadrat de 0.2x0.2m) et les analyses biométriques sont réalisées sur un sous-échantillon comportant 100 individus par répliquat (soit 300 individus par station).

Sur la série temporelle, les tailles et poids moyens des populations évoluent selon un cycle saisonnier, résultat de la combinaison entre croissance des individus en place et recrutement de juvéniles. Les périodes de stress, comme l'épisode d'anoxie survenu en juillet 2006 peuvent également se traduire par des modifications de la structure des populations en place ; ainsi on note sur le site D la disparition totale (stations « terre ») ou quasi totale (stations « milieu » et « large ») des individus après l'épisode d'anoxie de juillet 2006.

NB : Ces stations n'ayant pas montré de signe de recolonisation, à partir d'octobre 2007 deux nouvelles stations D4 et D5 ont été positionnées sur le site D, plus proches de la côte, en gardant les dénominations milieu pour D4 et large pour D5. La prospection des sites D2 et D3 reste toutefois effective de manière à détecter une éventuelle recolonisation. On notera que les résultats obtenus pour ces deux stations D4 et D5 à partir d'octobre 2007 ne sont pas directement comparables avec les données antérieures obtenues sur D2 et D3.

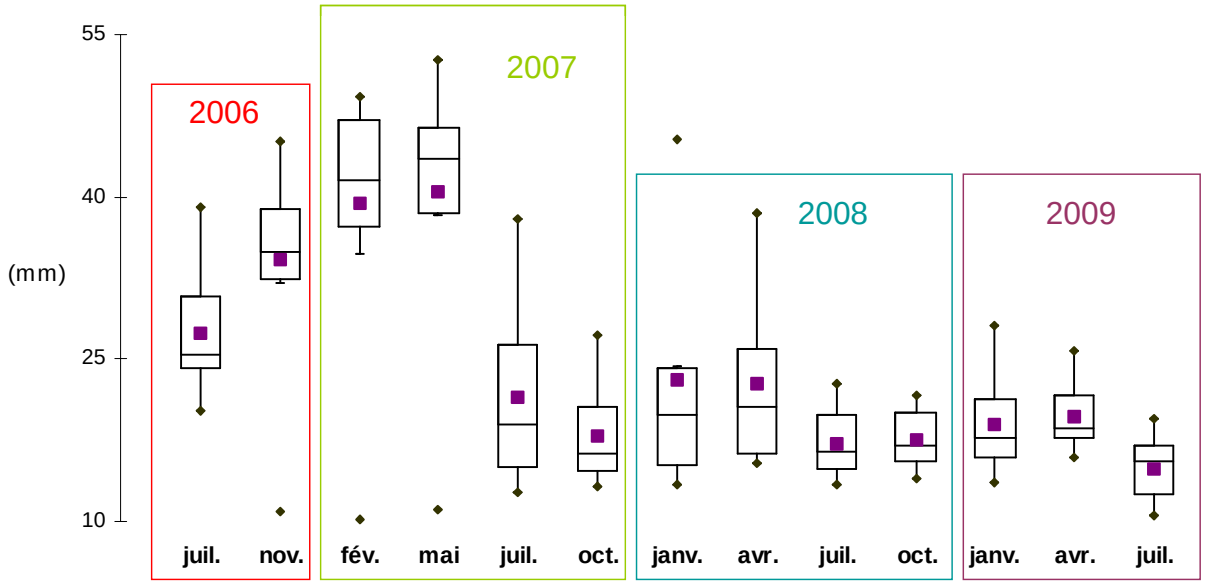


Figure 44. Tailles moyennes des individus (de taille supérieure à 10 mm) sur les 4 sites témoins (A, B, C, D) entre 2006 et 2009. (boites = 1er quartile, médiane, 3ème quartile ; marques rectangulaires = moyennes ; moustaches = 1.5 x intervalle inter-quartiles ; marques losanges = minimum – maximum).

Les poids moyens suivent les évolutions observées dans les tailles moyennes.

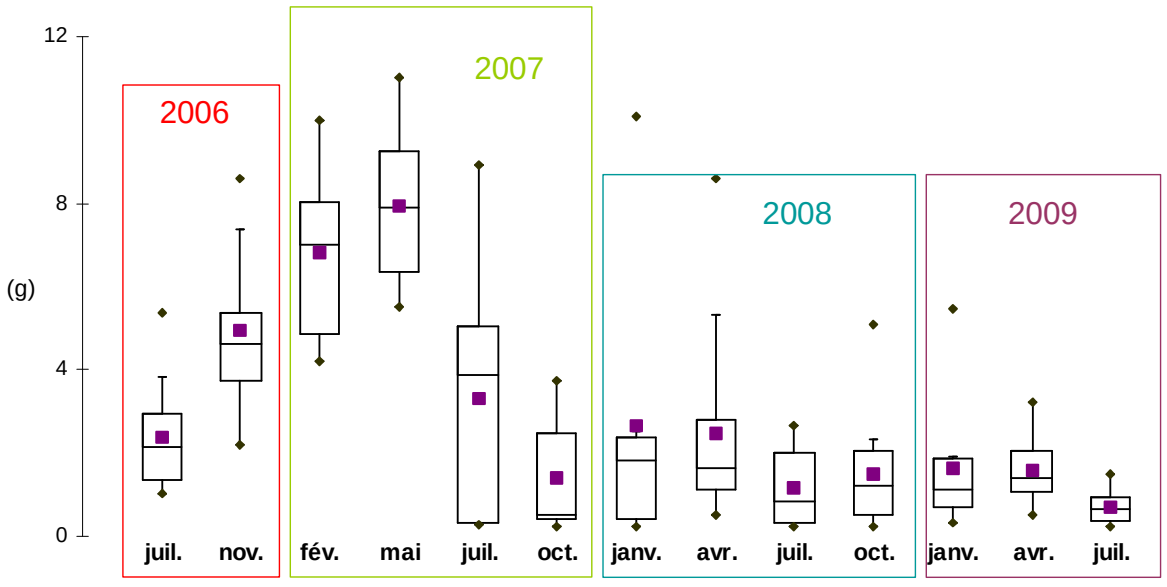


Figure 45. Poids moyens des individus sur les 4 sites témoins (A, B, C, D) entre 2006 et 2009. (boites = 1er quartile, médiane, 3ème quartile ; marques rectangulaires = moyennes ; moustaches = 1.5 x intervalle inter-quartiles ; marques losanges = minimum – maximum).

Les longueurs et les poids moyens des individus dans les échantillons traduisent bien les évolutions saisonnières des populations en place : ils augmentent en automne et en hiver, les valeurs maximales sont atteintes au printemps (avril-mai). Les tailles et poids moyens chutent en juillet avec une fraction des petits individus mieux représentée (recrutement de juvéniles) mais également avec une diminution des valeurs maximales observées (mortalité des plus grands individus). On ne note pas, dans la tendance générale de l'évolution des tailles et poids moyens, de réelles différences entre les stations selon leur éloignement à la côte.

Toutes stations confondues, à partir de juillet 2007, les tailles et poids moyens des individus restent globalement inférieurs à ceux mesurés entre novembre 2006 et mai 2007. Par ailleurs, l'absence des plus grands individus dans les échantillons à partir d'octobre 2008 pourrait traduire la difficulté du peuplement à atteindre un certain niveau de maturité.

→ Distribution des classes de taille

Le suivi temporel de la distribution des classes de taille a permis de préciser l'évolution de la population de chaque site depuis juillet 2006 sur les 4 sites témoins A, B, C, D. En l'absence de données de référence sur la croissance de *Mytilus galloprovincialis* dans l'étang de Berre, la relation taille/âge obtenue pour l'étang de Thau (Hamon, 1983) a été utilisée. Trois classes de taille ont ainsi été retenues : 11-30 mm (âge inférieur à 1 an), 31-50 mm (âge compris entre 1 et 2 ans) et plus de 51 mm (individus supérieurs à 2 ans).

Pour chaque station de prélèvement, la part respective de chaque classe de taille (en pourcentage) a été calculée sur le sous-échantillon retenu pour les analyses biométriques (300 individus par station), puis ce pourcentage a été appliqué à l'effectif total (moules de taille > 10 mm) présents à chaque station. L'évolution de ces classes de taille est représentée par site (Fig. 46).

De juillet 2006 à mai 2007, le suivi des classes de tailles permet de mettre en évidence la croissance régulière de cohortes homogènes d'individus au cours du temps sur les sites A, B et C : la proportion des individus de la classe 11-30 mm diminue régulièrement au fur et à mesure qu'augmente la représentation des classes 32-50 et > 51 mm. Juillet 2007 marque ensuite l'arrivée massive de juvéniles dans les échantillons. Le site D se distingue des autres sites par la dominance permanente de la plus petite classe de taille, qui est à mettre en relation avec la chute brutale et marquée des effectifs de novembre 2006 à mai 2007, (en février et mai 2007 on notait la quasi absence, dans les échantillons du site D, d'individus de taille > 10 mm).

A compter de juillet 2007, et jusqu'en juillet 2009, les juvéniles restent très nettement dominants sur les 4 sites témoins. Les épisodes de recrutement sont bien visibles sur la plupart des sites en juillet 2007, juillet 2008 (décalé en octobre 2008 pour le site D) et juillet 2009, avec des augmentations en effectifs des juvéniles. Toutefois, l'évolution temporelle de la répartition des classes de taille est très atténuée ; de juillet 2007 à juillet 2009, le peuplement reste décalé vers les plus petites classes de taille. On ne retrouve plus, les évolutions de cohortes homogènes qui étaient observées durant la première année du suivi.

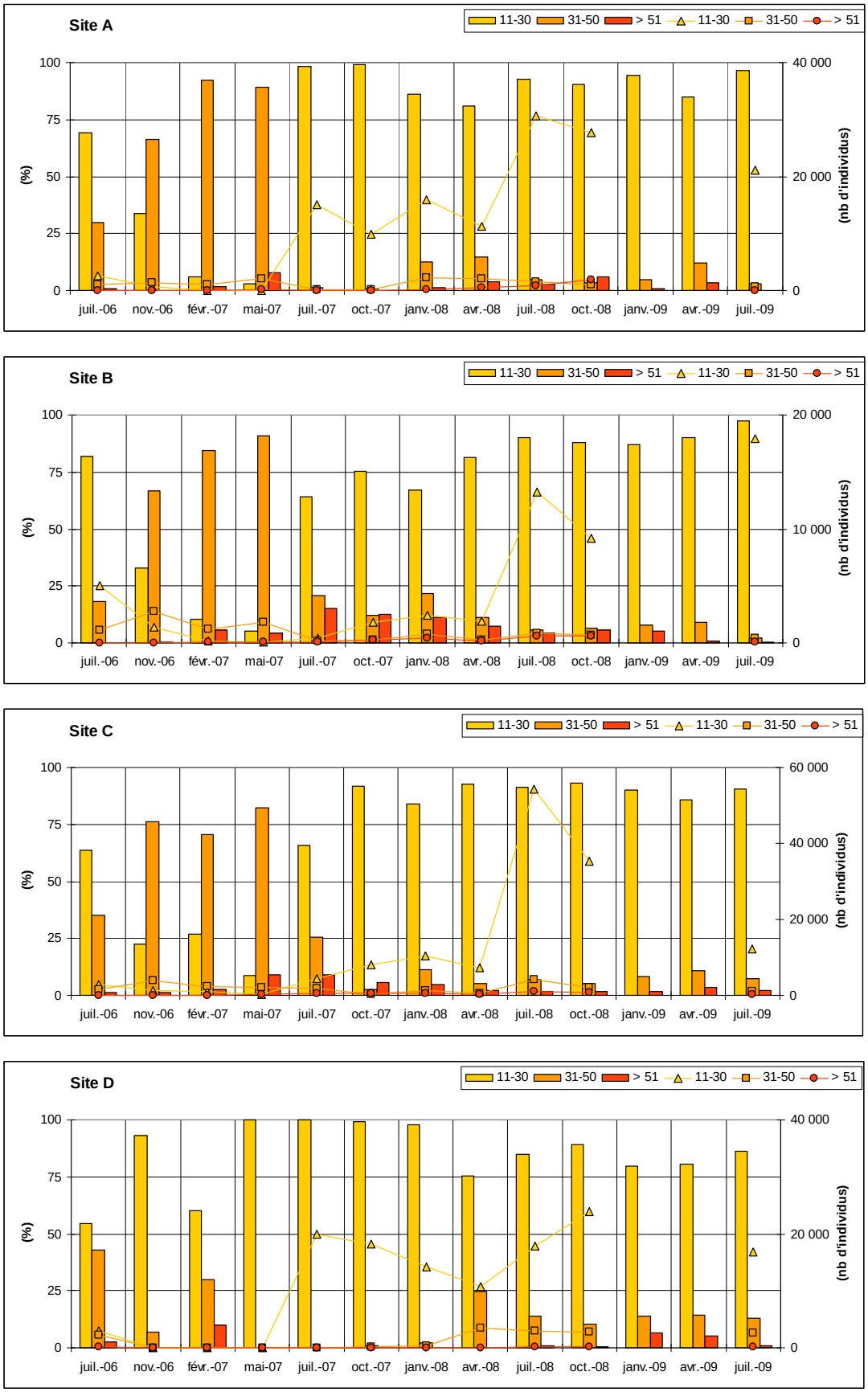


Figure 46 . Evolution de la répartition des classes de tailles en pourcentage (barres) et rapportée aux effectifs (courbes) sur les 4 sites témoins de juillet 2006 à juillet 2009.

En terme d'effectifs, à partir de juillet 2007, il existe de très grandes différences d'échelles entre les classes de taille ; on ne retrouve pas, pour les individus de plus de 1 an, les très fortes densités relevées chez les juvéniles (jusqu'à un facteur 100 entre les classes 11-30 et 31-50 et un facteur 700 entre les classes 11-30 et >51). Il semble que des importantes pertes d'effectifs se produisent après le stade juvénile (après la première année de croissance) ; la fraction de population constituée des individus de taille supérieure à 30 mm ne se développe pas au cours du temps.

Depuis juillet 2007, le peuplement semble ainsi contrôlé par des arrivées massives et régulières de juvéniles (de 20 000 à 50 000 individus/m² au moment des pics de recrutement). Toutefois, ce recrutement ne donne par lieu au développement de la fraction plus âgée du peuplement.

Devant la faible représentativité des individus de plus de 1 an dans l'étang de Berre, la question de l'origine des larves qui alimentent le peuplement peut être posée.

→ Indices de chair

L'évolution de l'indice de chair (IC)[1], lié à la croissance, suit globalement un cycle saisonnier. Sur l'ensemble de la série temporelle, les valeurs moyennes sont comprises entre 14 et 26 (Fig. 47). Entre juillet 2006 et juillet 2007, l'indice de chair augmente au cours de l'hiver, atteint ses valeurs maximales au printemps, puis chute de nouveau en été. A compter d'octobre 2007, les variations saisonnières de l'indice de chair sont moins marquées ; quelques valeurs sont particulièrement élevées, en avril 2009, sur les sites C et D.

L'indice de chair témoigne de la croissance en chair des individus, sa relation avec la longueur de la coquille n'est pas systématiquement linéaire. Il est probable, par ailleurs, que la très forte représentation des individus juvéniles (moins de 1 an) dans l'ensemble des échantillons à compter de juillet 2007, contribue à l'atténuation du caractère saisonnier de l'indice de chair.

[1] Indice de chair (IC) = (poids de chair humide * 100) / poids total humide

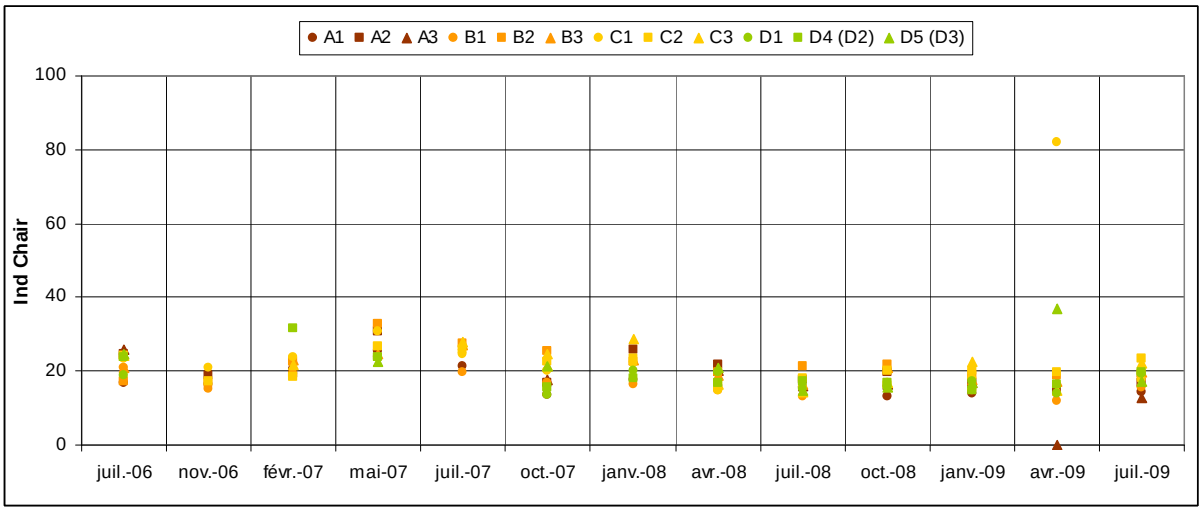


Figure 47. Moyennes de l'indice de chair de juillet 2006 à juillet 2009 pour chaque station des 4 sites témoins A, B, C, D.

5.2 AXE 5 - Capacité des populations en place à s'étendre et à se reproduire

5.2.1 Viabilité des géniteurs

La viabilité des géniteurs a été évaluée par simples observations macroscopiques des gonades, sur les individus prélevés lors des campagnes saisonnières. Ces observations ont notamment permis de préciser les principales périodes de maturation gonadique puis de ponte au cours des cycles annuels. Celles-ci se déroulent ainsi majoritairement entre novembre et février (jusqu'en mai), tandis que le stade de repos sexuel domine en juillet.
On notait cependant, en 2008, un décalage temporel de la maturation gonadique, en particulier aux stations les plus proches du rivage pour lesquelles la ponte semble avoir été plus tardive (jusqu'en juillet 2008) que pour les stations plus profondes.

L'indice de Walne & Mann[1] (IWM), permet d'évaluer l'état sexuel des individus et en particulier le moment des émissions gonadiques (Fig. 48). Sa valeur varie de manière synchrone avec le degré de développement gonadique, il est maximum en fin de gamétogenèse et diminue au moment des émissions de gamètes.

[1] IWM = (poids de chair sèche / poids de coquille sèche) * 100

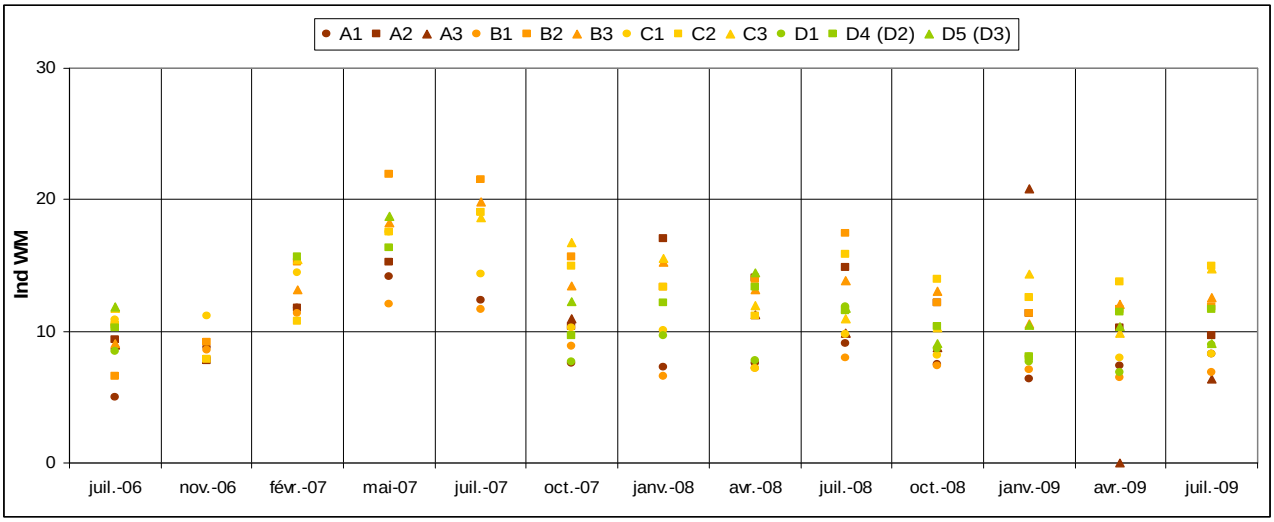


Figure 48. Moyennes de l'indice de Walne et Mann de juillet 2006 à juillet 2009 pour chaque station des 4 sites témoins A, B, C, D.

L'indice IWM augmente régulièrement à partir de novembre 2006, selon un cycle qui semble annuel. Les valeurs maximales de l'indice, qui marquent probablement la fin de la gamétogenèse, et la ponte, sont observées en mai 2007 (plus tardivement, en juillet 2007, pour les stations plus profondes). Les valeurs de l'indice IWM diminuent ensuite jusqu'à atteindre leurs minima en octobre.

Le cycle saisonnier de l'indice IWM se confirme en 2008. Toutefois, comme pour l'indice de chair, les évolutions saisonnières semblent moins marquées que lors de la première année de suivi. Par ailleurs, on note une certaine hétérogénéité entre les stations. Les valeurs les plus élevées de mai et juillet 2007, ne sont plus atteinte que ponctuellement à compter d'octobre 2007. Là encore, une des causes en est probablement la très forte représentation des individus juvéniles dans les échantillons en 2008 et 2009.

Enfin, l'abondance de naissain a été évaluée (analyse qualitative) dans les prélèvements effectués pour les analyses biométriques (Tableau 22).

Tableau 22. Abondance de naissain de Mytilus galloprovincialis dans chaque station des 4 sites (les cases vides correspondent à des absences de naissains).

stations	juillet 2006	novembre 2006	février 2007	mai 2007
A1	forte (3 mm)	faible	faible (2-3 mm)	forte
A2	faible			faible
A3				
B1	faible			
B2				
B3		faible		
C1	faible (3 mm)		forte (< 5 mm)	faible
C2	faible		moyenne	
C3	faible			
D1		forte (8 mm)	moyenne	forte
D2	faible	faible		faible
D3	faible	faible		

A partir de juillet 2007, l'effectif des naissains (moules de taille inférieure à 10 mm) a été systématiquement dénombré pour chaque station (Figure 49).

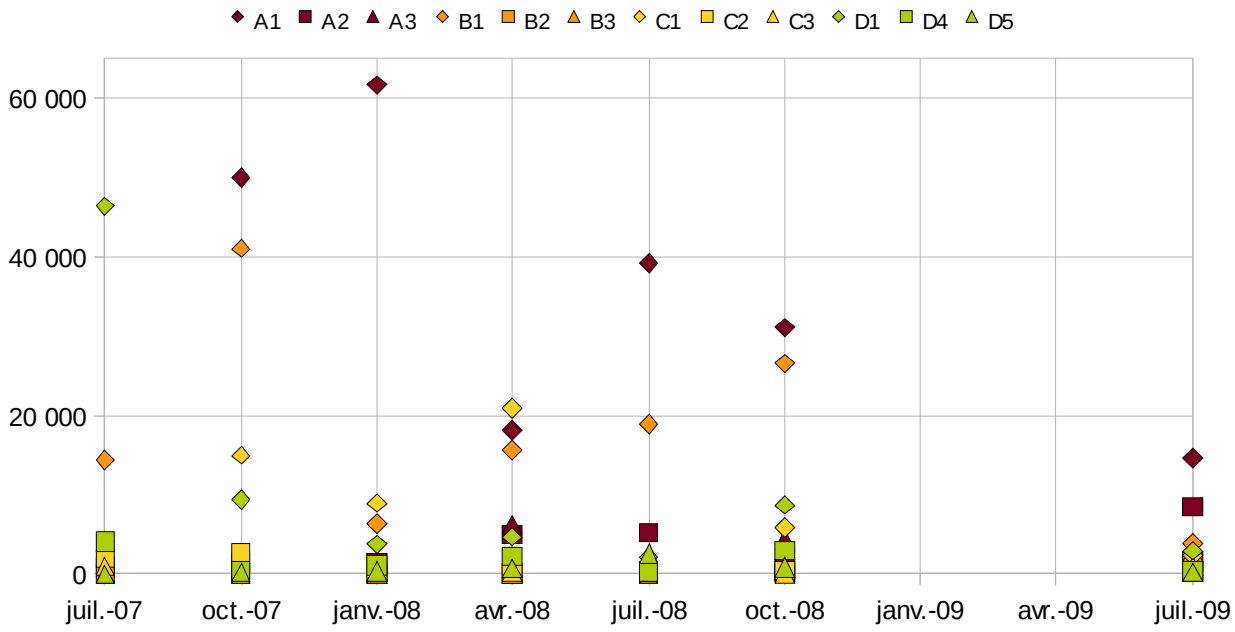


Figure 49. Effectif de naissains de *Mytilus galloprovincialis* (en nombre d'individus rapporté au m²) pour chaque station de juillet 2007 à juillet 2009 (données manquantes en janvier et avril 2009).

Globalement sur l'intégralité de la série temporelle, les effectifs de naissains sont supérieurs sur les stations « terre » que plus en profondeur. Les plus fortes densités de naissains sont

observées de juillet à octobre, elles résultent des pontes ayant eu lieu au cours de l'hiver et du printemps précédant.

On note, toutefois, une très grande variabilité selon les sites et les profondeurs : les plus fortes densités étant globalement relevées sur les sites A et B. Par ailleurs, en terme d'évolution saisonnière, chacun des sites semble réagir de façon relativement indépendante (probablement soumis au caractère aléatoire de la dispersion des nuages de larves).

5.2.2 Captage de naissains sur les sites témoins

L'installation des capteurs de naissains a été effectuée au cours du deuxième semestre 2006 sur les 4 sites témoins : Trois Frères (A), Martigues (B), Ranquet (C), Arc (D) et sur un site complémentaire à la Pointe de Berre (E). La relève des capteurs est effectuée à chaque campagne saisonnière, le dénombrement des individus sur les tronçons de capteurs permet d'évaluer une densité de naissains rapportée au mètre linéaire, l'analyse des classes de taille est effectuée sur un sous-échantillon de 50 individus (Figure 50).

D'une manière générale, les installations mises en place pour le suivi des capteurs de naissains ont été soumises à des dégradations régulières, qui ont eu pour conséquences des pertes de données sur fin 2006-début 2007 ; les capteurs ont du être renouvelés dans l'intégralité en avril 2007 (pour récupération en juillet). Il n'y a pas sur la série temporelle de données disponibles pour le site des Trois-Frères. En juillet 2008, des structures renforcées ont été mises en place.

En octobre 2008 et janvier 2009, des capteurs ayant respectivement séjourné 3 mois et 6 mois dans l'eau ont été analysés simultanément, de manière à préciser les périodes privilégiées de captage.



Figure 50. Partie d'un capteur (à gauche) et ses 3 tronçons après récupération des moules (à droite).

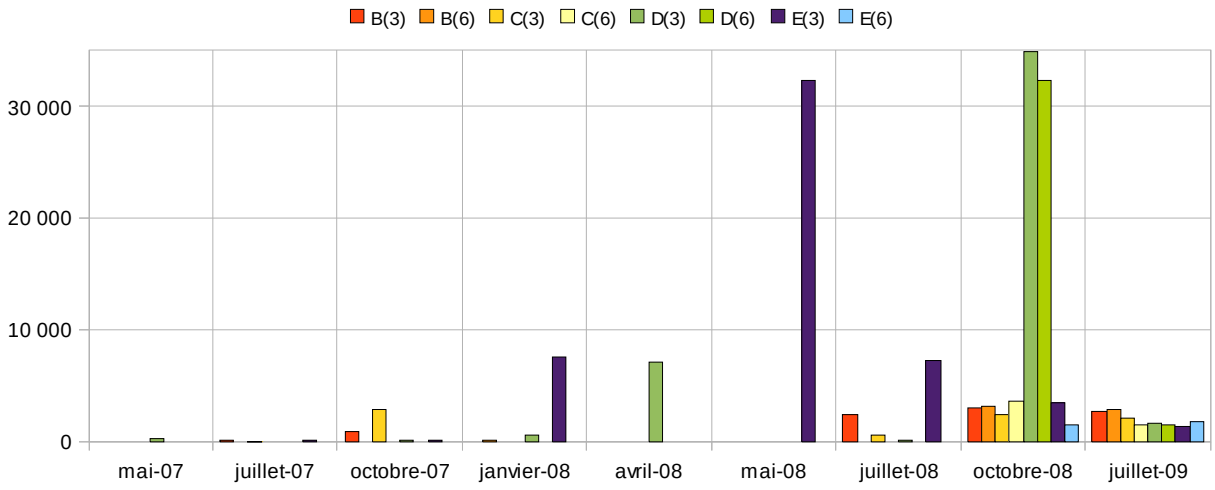


Figure 51. Effectif (/m linéaire) de naissains (taille < 10 mm) relevés sur les capteurs des sites B, C, D, E de mai 2007 à juillet 2009. Données non disponibles pour le site A des Trois-frères en raison de dégradations des structures. (3) et (6) représentent le temps d'immersion, en mois, des capteurs relevés à chaque campagne.

Au cours de la série temporelle, les plus fortes densités de naissains sont relevées sur les sites D (Arc) et E (Pointe de Berre). L'irrégularité des données recueillies ne permet pas d'établir de comparaisons significatives entre les différentes années de suivi. On note cependant des abondances particulièrement élevées ponctuellement sur certains sites (jusqu'à 35 000 individus sur le site D), avec des intensités de captage globalement plus élevées en juillet 2008 et juillet 2009 qu'en juillet 2007.

On note également une certaine variabilité entre les différents sites, en terme de période de captage. Ainsi, en 2008, l'essentiel du captage s'est réalisé entre mai et juillet pour les sites B et E, tandis que pour les sites C et D le captage semble plutôt s'être déroulé entre juillet et octobre.
Au cours du premier semestre 2009, en revanche, l'ensemble des sites affichent des intensités de captage comparables, dont l'essentiel semble avoir eu lieu entre mai et juillet (les capteurs ayant séjourné 3 mois et 6 mois dans l'eau présentant des densités de naissains identiques).

La présence de naissain de l'espèce introduite *Musculista senhousia* est également notée en octobre 2007 et jusqu'en octobre 2008, avec des effectifs atteignant jusqu'à 5 000 individus/m linéaire de capteur. Sur les capteurs du site D, en particulier, en janvier et avril 2008, *M. senhousia* représentait ainsi 76% des individus présents dans le naissain.

En revanche, en juillet 2009, la part de *Musculista senhousi*a sur les capteurs a chuté de manière significative (moins de 5% des individus dénombrés).

5.2.3 Réponse des individus aux variations des conditions du milieu

Le suivi d'échantillons de moules (200 individus de taille standardisée), maintenus dans des poches, en sub-surface, a permis de préciser leur conditions de survie et de croissance dans l'étang de Berre.

En 2007, les poches immergées en juillet sur les 5 sites témoins A, B, C, D, E n'ont pu être suivies que jusqu'en octobre, suite à des dégradations des systèmes. Un taux de croissance mensuel moyen compris entre 22.7% et 30.5% selon les sites a été établi. Cette croissance n'était cependant pas homogène selon les individus ; au bout de 3 mois la population était constituée de deux classes de taille : 8-16 mm pour 80 à 88% de l'effectif et 28-32 mm pour 12 à 20% de l'effectif. Les plus fortes croissances ont été relevées sur le site de l'Arc, où les plus grands individus atteignaient une taille de 39 mm au terme des 3 mois d'immersion.

Des systèmes améliorés ont été mis en place en juillet 2008. Une première relève des poches a été effectuée un mois et demi plus tard, fin août 2008. L'ensemble des systèmes a été retrouvé. Les poches ont été remises en place puis relevées à chaque campagne saisonnière.

Entre juillet 2008 et juillet 2009, le taux de survie des individus placés dans les poches a été de 92 %. Ce taux de survie est très homogène entre les sites, les mortalités ont été régulièrement réparties au cours de l'année de suivi sans que ne se dégage une période de mortalité accrue.

Sur les 5 sites témoins, les moules témoignent d'une croissance régulière au cours de l'année, avec un taux de croissance mensuel qui s'échelonne de 9 mm entre juillet et août à 1.7 mm entre mars et juillet. Le taux de croissance mensuel global étant de 3.7 mm sur la totalité de la période.

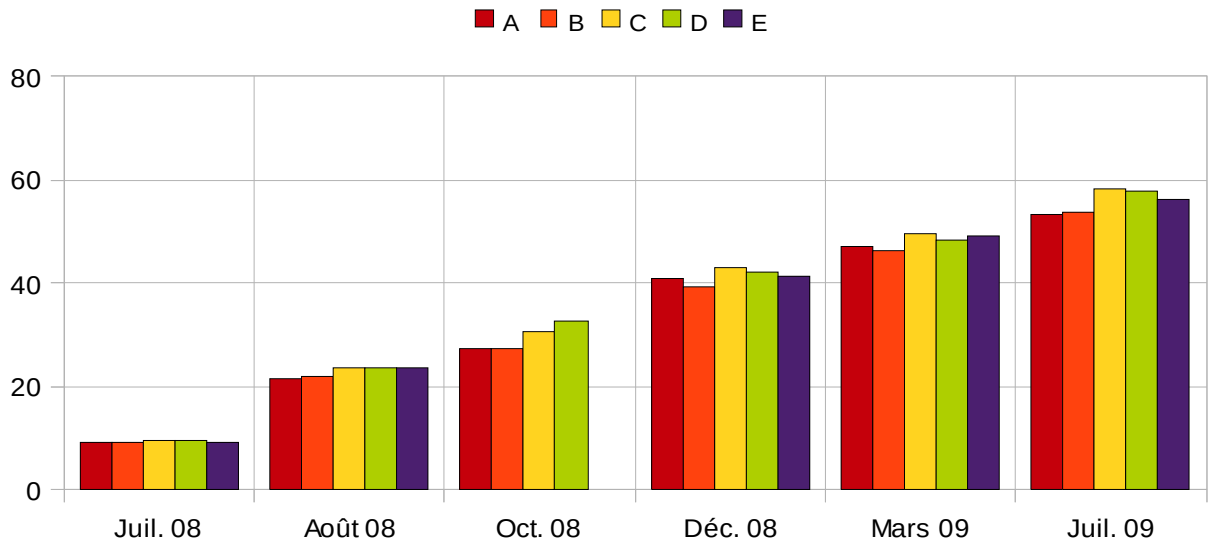


Figure 52. Taux de croissance de *Mytilus galloprovincialis*, en sub-surface (0.5 m de profondeur), sur les sites témoins A, B, C, D, E entre juillet 2008 et juillet 2009.

Ces résultats confirment que dans la partie supérieure de la colonne d'eau les conditions permettent la survie et la croissance des moules et témoignent de leur fort potentiel de croissance en particulier au cours de la période estivale.

5.2.4 Compétition avec Musculista senhousia

A partir de mai 2007, pour l'ensemble des sites témoins, les effectifs de *M. senhousia* dans les échantillons ont été comparés aux effectifs de *Mytilus galloprovincialis* (Figure 53). Ces observations permettent de déterminer la part de *M. senhousia* dans les peuplements et de confirmer ou non le caractère invasif de cette espèce. Enfin, elles permettent d'évaluer l'impact potentiel de son développement sur les populations de *M. galloprovincialis*.

Les populations de *M. senhousia* peuvent présenter de très importantes fluctuations d'une année à l'autre, le cycle de vie de cette espèce étant relativement court (2 ans). Si en mai 2007, cette espèce dominait les peuplements de moules, depuis juillet 2007, sa part dans les échantillons a fortement diminué. Entre octobre 2007 et juillet 2009 elle s'est maintenu à de très faibles niveaux sur les stations proches du rivage (0 à 5 %), elle est mieux représentée dans les stations plus profondes respectivement entre 10 et 60 % pour les stations

intermédiaires et autour de 20 % pour les stations du large (ponctuellement 100% en avril 2008 sur la station large du site D ; Fig. 53).

La contribution de *Musculista senhousia* au peuplement de moules apparaît au moins depuis juillet 2007 relativement stable au cours du temps ; son caractère invasif n'est ainsi pas clairement mis en évidence, *M. galloprovincialis* restant l'espèce majoritaire dans les échantillons prélevés. En revanche, la présence en quantité importante de naissains de *M. senhousia* sur les capteurs du site D, en particulier, confirme la capacité de cette espèce à se reproduire et se développer dans l'étang.

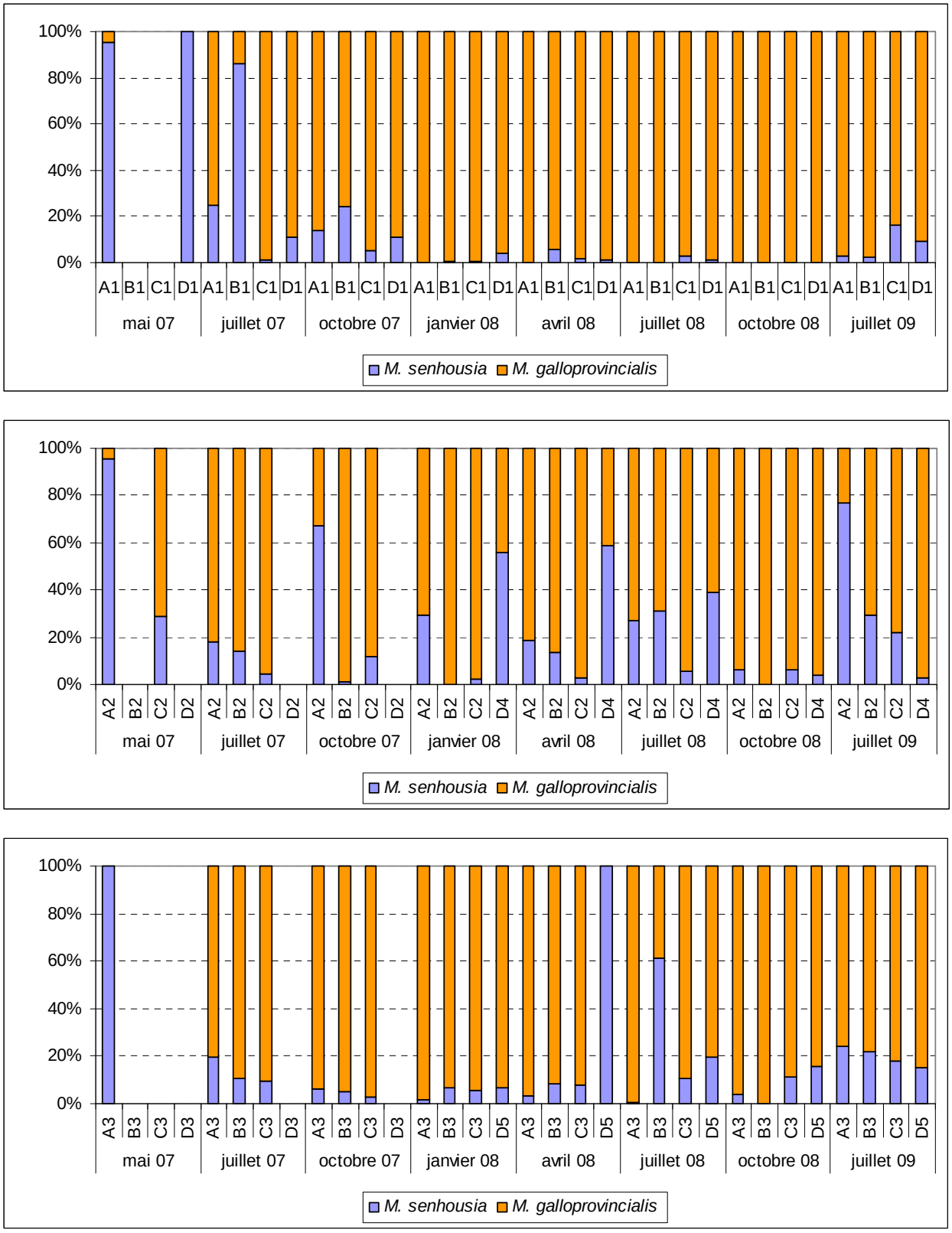


Figure 53. Répartition (en %) des populations de *M. senhousia* et *M. galloprovincialis* dans les prélèvements réalisés sur les sites témoins de mai 2007 à juillet 2009.

5.3 AXE 6 - Capacité du milieu à permettre le développement des moulières

5.3.1 Salinité

Le suivi de la salinité entre 2006 et 2009, détaillé en chapitre 2 de ce document renseigne, en particulier sur le caractère homogène de la masse d'eau comprise entre 1 et 6-7 m de profondeur pour l'ensemble de l'étang de Berre. De par leur localisation, les populations de moules sont plus directement concernées par cette masse d'eau dont la salinité a varié valeurs extrêmes inclues entre 15 et 31g/l au cours de ce suivi ; une gamme de variation parfaitement compatible avec le développement de ces populations. Ponctuellement, les variations de salinité de la couche d'eau de surface (0-1m) peuvent également concerner les populations de moules les plus superficielles, notamment celles fixées sur substrat rocheux. Les plus basses salinités enregistrées sur cette période, supérieures à 15 g/l, n'ont sans doute pas eu d'effet pénalisant pour ces populations.

5.3.2 Oxygénation des eaux

Au cours de l'année 2006, le relevé mensuel de l'oxygène dissous dans les eaux de l'étang de Berre sur les 10 stations du suivi hydrologique, avait mis en évidence un épisode d'anoxie marqué en juillet-août. Des teneurs proches de 0 $mg.l^{-1}$ étaient relevées, à moins de 2 m de profondeur, aux stations situées dans l'anse de Saint-Chamas et vers l'embouchure de l'Arc, et en dessous de 5 m de fond, l'ensemble des stations était touché par cette anoxie. La température élevée de l'eau à cette période (canicule de l'été 2006) et l'absence de vent, jusqu'au milieu du mois d'août, associées à une quantité importante de matière organique dans le milieu (biomasses phytoplanctoniques et macro-algales relativement élevées) avaient favorisé cette situation de crise.
L'eutrophisation du milieu et des conditions climatiques défavorables à l'oxygénation des eaux peuvent expliquer la forte régression des moules au niveau des sites témoins entre juillet et novembre 2006, en particulier pour le site D, situé à proximité du panache de l'Arc.

A partir de 2007, de manière complémentaire au suivi hydrologique mensuel aux 10 stations, les teneurs en oxygène des eaux ont été mesurées au niveau du fond en période estivale, en continu, sur les 4 sites témoins (ARC, 3 FRERES, MARTIGUES, RANQUET). Des diminutions des teneurs en oxygène ont été globalement observées, y compris à des profondeurs moindres (cf. suivi hydrologique mensuel). Le site du Ranquet semble avoir subi des épisodes plus fréquents de forte hypoxie voire d'anoxie. Ce site du Ranquet abrite les

populations les moins abondantes en profondeur. Il est probable que la topographie des fonds, le type de substrat (vaseux défavorable à la fixation des larves), et les épisodes d'anoxie plus fréquents sur ce site fragilisent les populations de moules en place.
Contrairement à l'été 2006, les périodes estivales 2007, 2008 et 2009 n'ont pas, sur la base des observations *in situ,* montré de mortalités massives de moules sur l'ensemble des quatre sites témoins de l'étang.

5.3.3 Sédimentation et qualité du sédiment

Les teneurs en matière organique et principaux contaminants ont été relevées dans le sédiment superficiel des 4 sites témoins pour le suivi des moulières en juillet 2008 (Tab. 23).

Tableau 23. Teneurs en matières organiques et principaux contaminants aux 4 sites témoins pour le suivi des populations de moules en 2008. Lorsque les valeurs sont inférieures aux seuils de quantification, les seuils sont indiqués.

date prélèvement 24/07/2008	**sites des moulières**			
sédiment superficiel	ARC	RANQUET	MARTIGUES	3 FRERES
Physico-chimie				
Matières sèches (%)	41,1	42,4	34,2	41,9
Oxydo-réduction (mV)	89,6	130,5	91,8	98,3
Oligo-éléments Micropolluants minéraux (mg/KgMS)				
arsenic	3,6	5,1	3,9	3,4
chrome	16	39	28	15
mercure	0,06	0,11	0,09	0,12
nickel	10	23	16	7,8
plomb	8,9	14	13	10
zinc	37	60	52	36
HAP (µg/kg MS)	< 250	< 250	< 250	< 250
PCB (7 congénères µg/kg MS)	< 10	< 10	< 10	< 10
Composés organo-stanneux (mg/kg Ms)				
Monobutylétain	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
dibutylétain	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
tributylétain	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Les teneurs en matière organique sont relativement élevées, en revanche, il n'y a pas trace de contamination particulière dans les sédiments de surface. Les teneurs en métaux lourds sont inférieures aux valeurs généralement données pour le fond géochimique de contamination.

5.3.4 Niveau trophique

La teneur en Chlorophylle-a dans l'eau peut renseigner sur les conditions de croissance des moules, en particulier sur la ressource nutritive. Elle a fait l'objet de 2005 à 2007 d'un suivi mensuel, sur 10 points de mesure régulièrement répartis dans l'étang de Berre (stations du suivi hydrologique en surface et au fond).

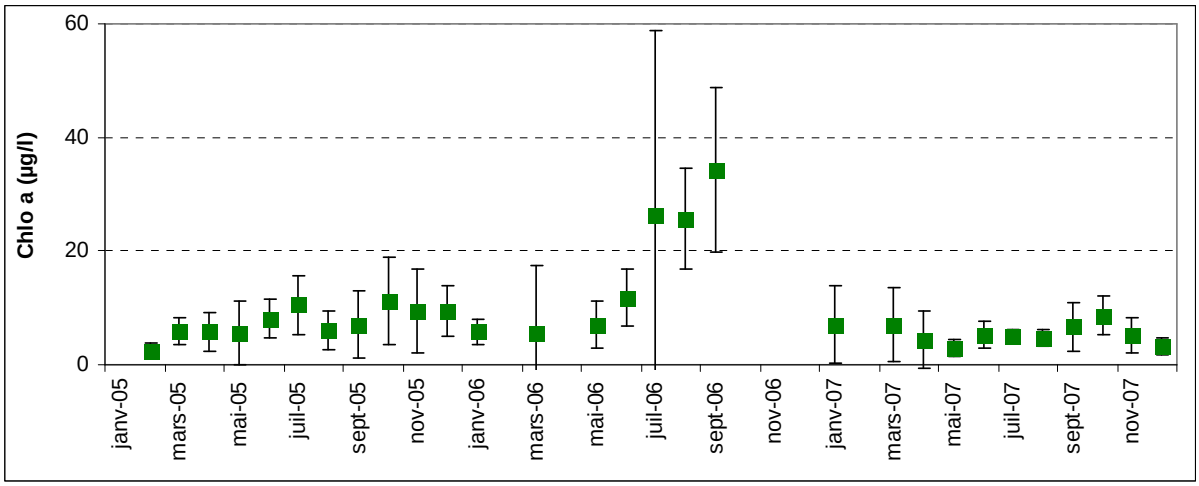


Figure 54. Teneurs moyennes en chlorophylle–a pour les 10 stations du suivi hydrologique (mesure surface et fond) en 2005, 2006 et 2007. Barres d'erreur = écarts-types.

La teneur moyenne en Chlorophylle-a se situe globalement entre 5 et 10 µg/l, excepté lors des mois de juillet, août et septembre 2006 où la valeur moyenne a atteint jusqu'à 35 µg/l. A titre de comparaison, la valeur moyenne relevée dans l'étang de Thau se situe autour de 4 µg/l, valeur suffisante pour assurer une production commerciale de bivalves. On peut conclure que le niveau trophique de l'étang de Berre est suffisant pour le développement des populations de moules.

A compter de juillet 2008, les teneurs en chlorophylle-a dans l'eau ont été mesurées au moyen d'un capteur optique. Les mesures ont été effectuées sur les 4 sites témoins, avec une fréquence mensuelle et sur l'intégralité de la colonne d'eau, de la surface au fond (Figure 55). Une calibration préalable du capteur a été effectuée d'après les valeurs données par les prélèvements.

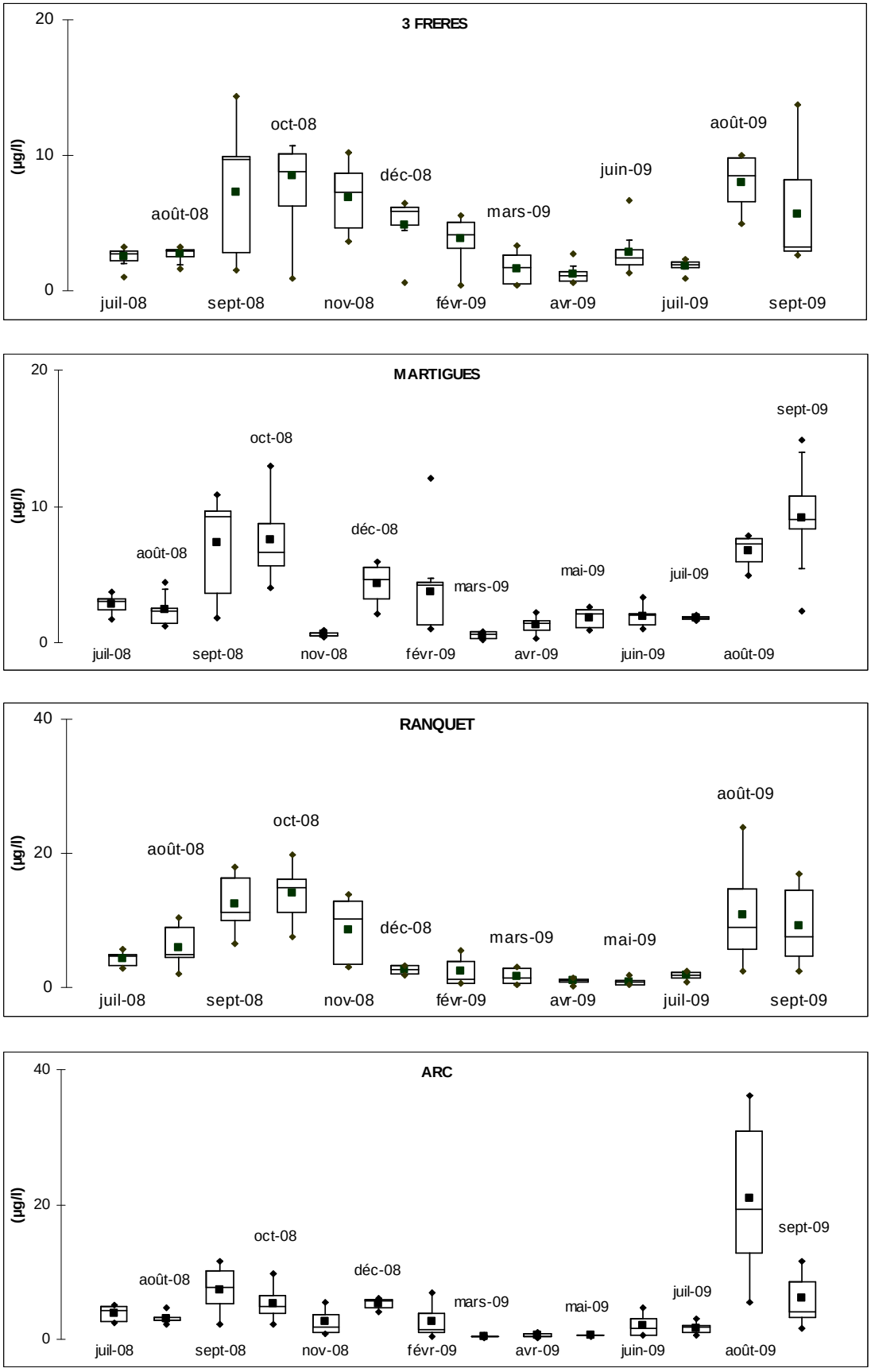


Figure 55. Teneurs en chlorophylle-a dans l'eau sur les 4 sites témoins de suivi des moulières dans l'étang de Berre, entre juillet 2008 et septembre 2009. (Boites = 1er quartile, médiane, 3ème quartile ; marques rectangulaires = moyennes ; moustaches = 1.5 x intervalle inter-quartile).

Au cours de la période, les valeurs moyennes s'échelonnent de 2.5 à 20.3 µg/l selon les sites. Les maximums sont atteints en fin d'été et en automne (août, septembre, octobre, novembre) pour l'ensemble des sites ; les plus fortes valeurs ayant été atteintes, en août 2009, sur le site de l'Arc (36 µg/l). On note un fort contraste entre les valeurs relevées en juillet 2009 et août 2009 avec une augmentation brusque des teneurs en chlorophylle *a*.

Par ailleurs, pour une même date, une très grande variabilité des teneurs en chlorophylle *a* dans la colonne d'eau, est observée selon la profondeur (Figure 56). Le pic de fluorescence se situe généralement soit à mi-profondeur, soit dans le tiers inférieur de la colonne d'eau. En octobre 2008, on observe des teneurs en chlorophylle *a* importantes en surface, sur le site des Trois-Frères, probablement liées à l'influence du canal de La Mède (milieu très eutrophe).

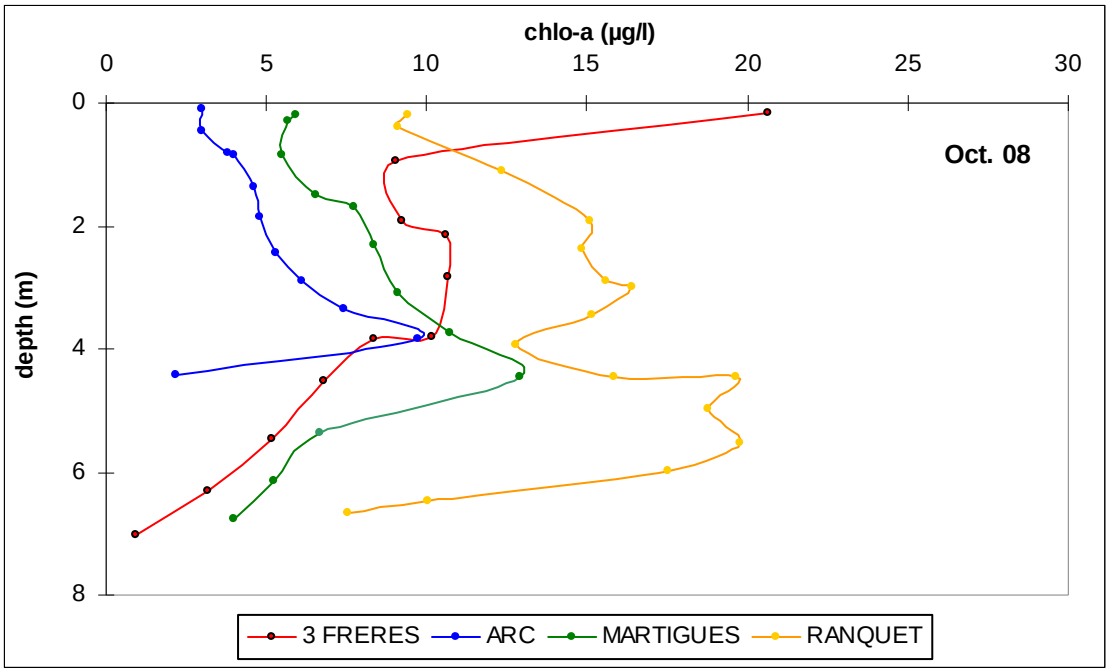


Figure 56. Teneurs en chlorophylle-a (en µg/l) dans la colonne d'eau, en fonction de la profondeur, sur les 4 sites témoins de suivi des moulières dans l'étang de Berre, en octobre 2008.

5.3.5 Bioaccumulation de contaminants

Les teneurs en contaminants organiques des moules dans l'étang de Berre ont été mesurées dans le cadre de la campagne RINBIO (IFREMER) en mai 2006 (Tableau 24). Les analyses ont été effectuées sur des échantillons standardisés de moules, laissés en stabulation durant 2.5 mois, dans le sud du Grand étang, au niveau du site B (Martigues).

Les résultats sont donnés, pour les principaux contaminants, sur la base d'un indice de qualité en 5 classes (de 0 à 4).

Tableau 24. Teneurs en contaminants organiques (unité mg/kg) des moules (source : campagne RINBIO mai 2006, IFREMER)

	Pb	Zn	Cd	Hg	Cu	Ni	As	Cr	SDDTs	SHCHs	SPCBs	S16HAPs
2006	0.7	142.5	0.5	0.03	4.0	1.4	9.8	0.4	11.5	1.5	42.9	35.2

Niveaux de base (bruit de fond de la contamination côtière)
Niveaux faibles
Niveaux modérés (valeurs sub-normales par rapport au bruit de fond)
Niveaux élevés (valeurs anormales de contamination)
Niveaux très élevés (valeurs très élevées de contamination)

Excepté pour les molécules organiques, dont les niveaux sont relativement élevés, il n'y a pas trace de contamination particulière dans les moules analysées. Les teneurs en PCB (congénères 138 et 153) sont cependant relativement élevées en comparaison des résultats obtenus sur la plupart des autres lagunes (par exemple, jusqu'à 5 fois plus élevées que sur l'étang du Vaccarès). Si il n'y a pas de caractère de toxicité aiguë, l'exposition chronique à de faibles doses de PCB peut être à l'origine de divers dysfonctionnements observés chez les animaux de laboratoire. En raison de leur persistance, de leur caractère bio-accumulable et de leur toxicité, les PCB font partie des contaminants prioritaires. Une nouvelle campagne de mesure a été réalisée de juin à août 2009 ; les résultats de cette campagne ne sont pas encore disponibles.

5.4 Conclusion sur les populations de moules

Les populations de *Mytilus galloprovincialis* s'étendent de 300 m à 2 300 m du rivage et entre 0 et 9,8 m de profondeur. L'abondance moyenne des peuplements est la plus élevée pour le site de Martigues qui est sous influence des entrées d'eaux marines par le canal de Caronte et la plus faible pour le site du Ranquet. Par ailleurs, l'extension des peuplements vers le large apparaît de manière générale dépendante de la profondeur et contrainte par l'oxygénation des eaux et la qualité du substrat, elle a été globalement stable depuis 2006. Au cours de la série temporelle, l'été 2006 a été marqué par de fortes mortalités, liées à des conditions anoxiques. Cependant la recolonisation des fonds a été relativement rapide, dès l'automne, par le recrutement de jeunes individus. En 2008, les peuplements avaient retrouvé leurs niveaux de 2006, et on note en 2009 des augmentations d'abondance sur certains sites. Cela souligne bien la sensibilité des peuplements de moules dans l'étang face aux perturbations du milieu (température, anoxie) mais aussi leur potentiel de recolonisation (par ailleurs mis en évidence par de très fortes densités de naissains).

En revanche, toutes stations confondues, à partir de juillet 2007, les tailles et poids moyens des individus restent globalement inférieurs à ceux mesurés entre novembre 2006 et mai 2007. Il est probable que les conséquences des fortes mortalités de l'été 2006, soient encore visibles sur le peuplement en place et sa composition. Ainsi, à compter de juillet 2007, et jusqu'en juillet 2009, les juvéniles restent très nettement dominants sur les 4 sites témoins. Le peuplement semble contrôlé par des arrivées massives et régulières de juvéniles (de 20 000 à 50 000 individus/m² au moment des pics de recrutement). Toutefois, ce recrutement ne donne par lieu au développement d'une fraction plus âgée, le peuplement est décalé vers les plus petites classes de taille, l'absence des plus grands individus dans les échantillons pourrait traduire sa difficulté à atteindre un certain niveau de maturité. Les indices de conditions, malgré une certaine hétérogénéité, suivent globalement une évolution saisonnière régulière, rythmée par les différents épisodes de la gamétogenèse. Néanmoins cette évolution saisonnière a été moins marquée en 2008 et 2009, probablement atténuée par la très forte représentation des individus juvéniles (moins de 1 an) dans l'ensemble des échantillons à compter de juillet 2007.

Pour autant, le suivi d'échantillons standardisés de moules, maintenus en immersion à très faible profondeur (0.5 m de profondeur) entre juillet 2008 et juillet 2009, a témoigné d'une croissance régulière des moules (compris entre 2 et 9 mm par mois selon la période considérée et l'âge des moules) et avec de très faibles taux de mortalité (8% en moyenne au

bout d’un an). Ces résultats confirment que, dans la partie supérieure de la colonne d'eau, les conditions permettent la survie et la croissance des moules et témoignent de leur fort potentiel de croissance en particulier au cours de la période estivale.

Les salinités observées depuis le début du suivi se sont maintenues dans une gamme compatible avec la croissance des moules et le déroulement de leur cycle de vie. En revanche, l’oxygène a pu être limitant. Des épisodes d’anoxie marquée ont été enregistrés au cours des périodes estivales, en particulier sur le site du Ranquet. Les conditions particulières de ce site (bathymétrie, type de substrat, anoxies) pourraient expliquer la répartition spatiale particulière des populations : absence d’individus vivants en s’éloignant de plus de 100 m du rivage.

Par ailleurs, des analyses effectuées dans les sédiments de surface des sites témoins ont montré l’absence de toute contamination organique.

Enfin, l’espèce invasive *Musculista senhousia* a été présente en abondance début 2007, en particulier sur les stations « intermédiaire » et « profonde » du site D et sur le rivage des sites A et B. Cependant, depuis octobre 2007, sa contribution au peuplement de moules apparaît relativement stable au cours du temps. Le caractère invasif de *Musculista senhousia* n’est pas clairement mis en évidence, *M. galloprovincialis* restant l’espèce majoritaire dans les échantillons prélevés. En revanche, la présence en quantité importante de naissains de *M. senhousia* sur les capteurs du site D, en particulier, confirme la capacité de cette espèce à se reproduire et se développer dans l'étang.

6 MACROFAUNE BENTHIQUE

6.1 AXE 7 - Répartition des peuplements de la macrofaune benthique

Les prélèvements pour l'analyse de la macrofaune benthique sont réalisés, à l'aide d'une benne Orange Peel, sur 11 stations côtières (4 m de profondeur environ) et 3 stations centrales (profondeur comprise entre 5 et 9 m) (Fig. 57 ; la station centrale B4 n'a été échantillonnée qu'à partir de janvier 2007). Les volumes de sédiments prélevés sont de 4.5 dm^3 pour les stations côtières et de 18 dm^3 pour les stations centrales (en raison des densités plus faibles dans ces dernières), ce qui correspond à des surfaces d'échantillonnage respectivement de 1/12 et 1/3 m^2. Les sédiments recueillis sont tamisés (maille 1 mm) puis traités selon les méthodes standards.

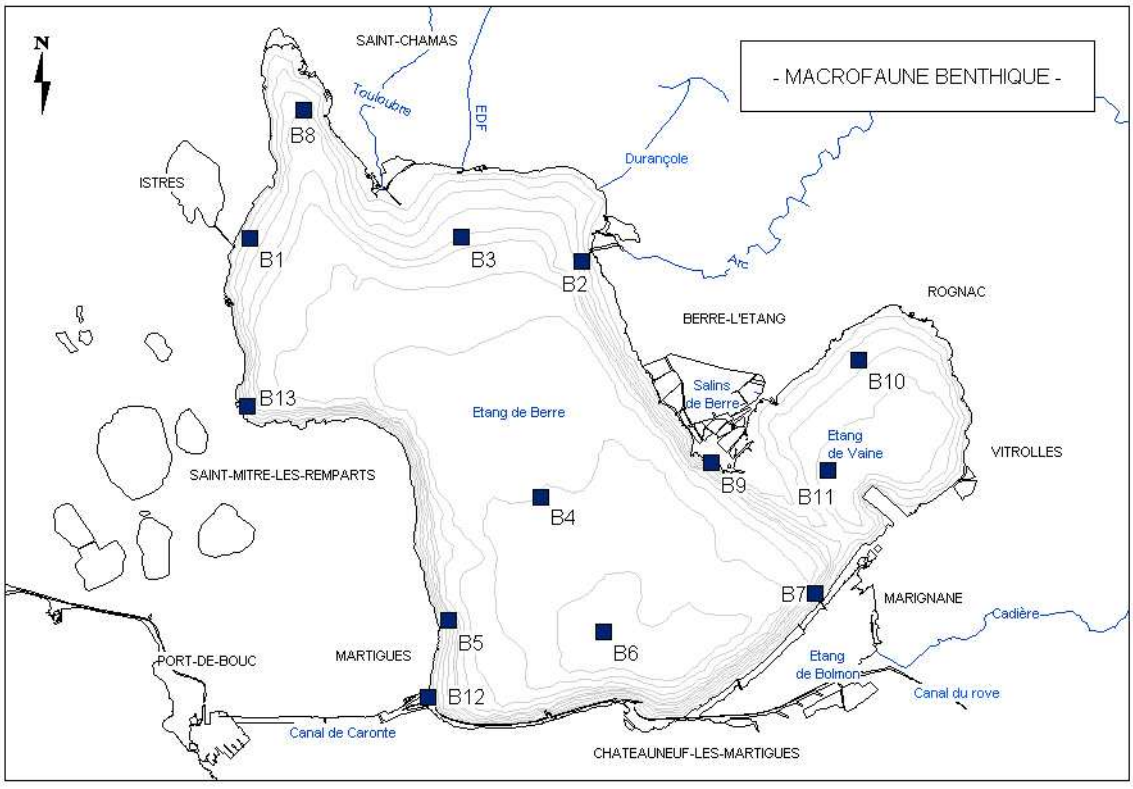


Figure 57. Localisation des stations côtières et centrales pour le suivi des peuplements de la macrofaune benthique dans l'étang de Berre.

La qualité des eaux des lagunes influent sur les espèces benthiques, tout d'abord au travers de la salinité. La majorité des espèces rencontrées dans l'étang de Berre sont des espèces caractéristiques exclusives de l'assemblage LEE (Lagunaire Euryhalin et Eurytherme)

représenté notamment par les Polychètes *Nereis succinea, Nereis diversicolor* et *Ficopomatus enigmaticus*, les Mollusques *Abra ovata*, *Brachidontes marioni*, *Musculista senhousia*, *Cerastoderma glaucum* et *Mya arenaria*, les Crustacés *Corophium insidiosum, Echinogammarus stocki, Rhitropanopeus cf harrissii* et *Balanus eburneus*. Ces espèces caractérisent les milieux où la salinité fluctue beaucoup, elles sont également aptes à résister à d'autres types de stress comme l'accumulation de matière organique. Parmi les espèces accompagnatrices au sein de l'assemblage LEE, on note également la présence des Polychètes *Polydora ciliata*, indicatrice d'instabilité, et *Capitella capitata* espèce indicatrice d'un fort enrichissement en matière organique, du Mollusque *Mytilus galloprovincialis* et du Crustacé *Melita palmata* qui constituent dans l'étang des indicateurs de salinité.

Principalement localisées dans le chenal de navigation et dans la partie profonde du coin salé au sud de l'étang, on retrouve, de manière très ponctuelle, des espèces de l'assemblage marin SVMC (Sables Vaseux de Mode Calme) mais qui caractérisent également les lagunes ou portions de lagunes sous influence marine, telles que le Polychète *Tharyx Marioni*.

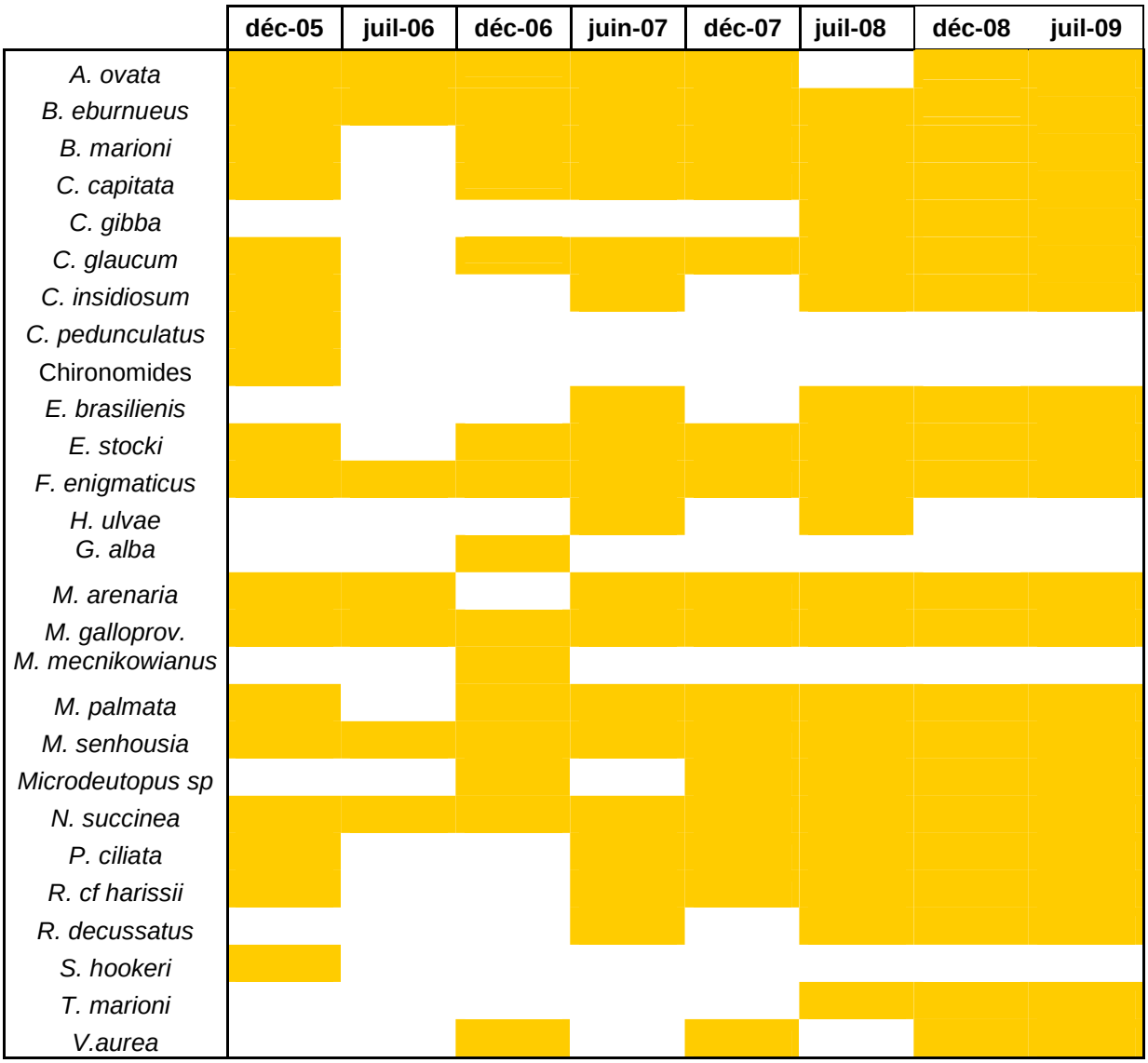
Stations de la bordure côtière

Stations B1, B2, B3, B5, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13.

Les prélèvements de la bordure côtière sont réalisés deux fois par an, en juin et décembre.

Une vingtaine d'espèces sont présentes sur la bordure côtière de l'étang de Berre (Tab. 25). Depuis décembre 2005, la liste globale des espèces présentes n'a pas montré d'évolution importante.

Tableau 25. Liste des espèces de la macrofaune benthique présentes dans les prélèvements des stations de la bordure côtière, entre décembre 2005 et juillet 2009.



Les peuplements de la bordure côtière sont dominés par des bivalves, notamment l'espèce introduite *Musculista senhousia* qui représente plus de 50% des organismes présents dans les échantillons (Fig. 58). *Mytilus galloprovincilialis* et *Brachydontes marioni*, espèces caractéristiques des peuplements LEE, sont également très présentes. Ensuite viennent les polychètes *Nereis succinea* et *Ficopomatus enigmaticus*.

Les stations les plus diversifiées sont celles situées au Sud Ouest de l'étang, sous l'influence des entrées d'eaux marines par le chenal de Caronte : stations B5 et B12. Ce sont dans ces stations que l'on retrouve les espèces à affinité marine comme *Venerupis aurea* ou *Ruditapes decussatus* caractéristiques de peuplements de type SVMC.

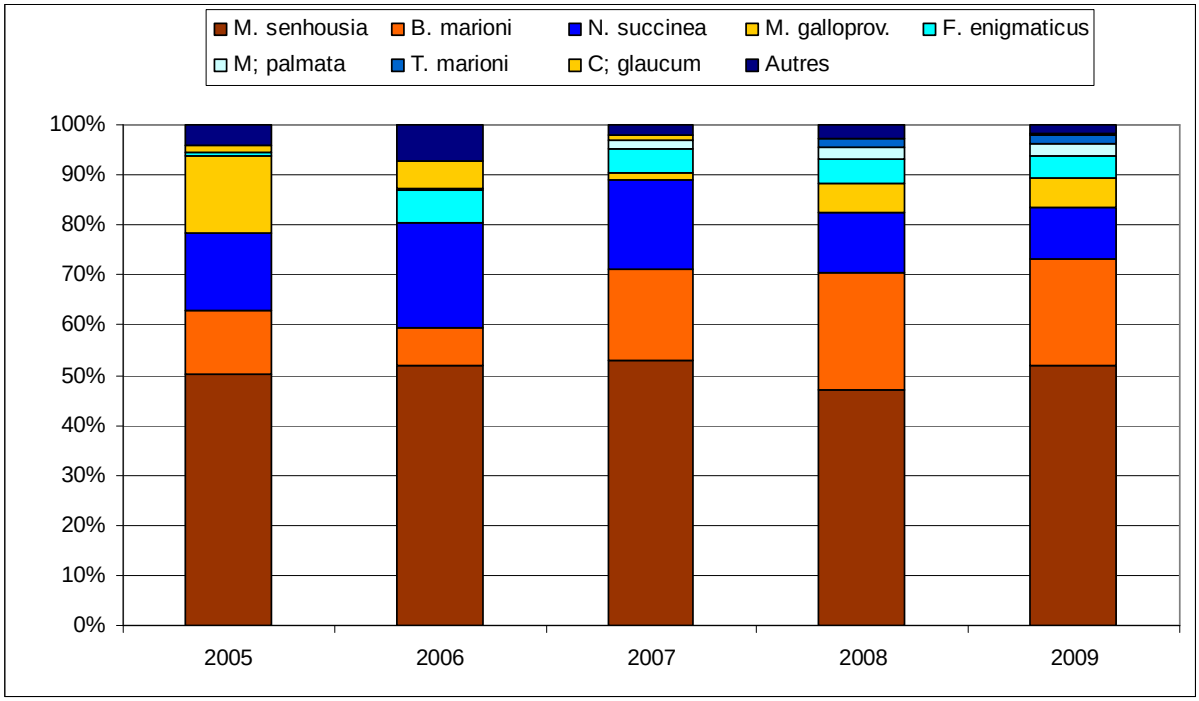


Figure 58. Composition par espèce pour l'ensemble des prélèvements de la bordure côtière (en pourcentage du nombre d'individus) entre 2005 et 2009.

Prises individuellement, les différentes stations présentent des richesses spécifiques qui varient selon la période échantillonnée (Figure 59). Toutefois, sur l'ensemble de la série temporelle, la richesse spécifique reste inférieure à 10 pour 75% d'entre elles, les plus fortes valeurs (jusqu'à 18 espèces en juillet 2009) sont observées à la station B12 (au débouché du chenal de Caronte, sous l'influence directe des entrées d'eaux marines). L'épisode de mortalité massive de juillet 2006 (à la suite d'anoxies liées à un épisode de canicule) reste un évènement d'une importance particulière : le nombre d'espèces avait ainsi chuté de manière drastique. Dès décembre 2006, toutefois, les peuplements s'étaient reconstitués. En 2007, 2008 et jusqu'en juillet 2009, la richesse spécifique n'a pas évoluée ; seule la station B12 présente une augmentation de ses valeurs entre juin 2007 et juillet 2009, de 14 à 18 espèces.

En terme de densité, les valeurs moyennes sont globalement centrées autour de 10 000 individus/m². Les densités les plus élevées sont relevées à la station B12 (au débouché du chenal de Caronte), les plus faibles valeurs étant observées dans la baie de Saint-Chamas (B8), l'anse du Ranquet (B13) et l'étang de Vaïne (B10, B11). Comme pour la richesse spécifique, l'épisode de mortalité de juillet 2006 s'est traduit par une chute brutale des densités sur la totalité des stations de la bordure côtière. En 2007 et 2008, les effectifs se sont maintenus dans des gammes de valeurs proches, en revanche, juillet 2009 a montré

des densités extrêmement faibles (proches des valeurs observées en 2006), sur la totalité des stations de la bordure côtière (y compris B12).

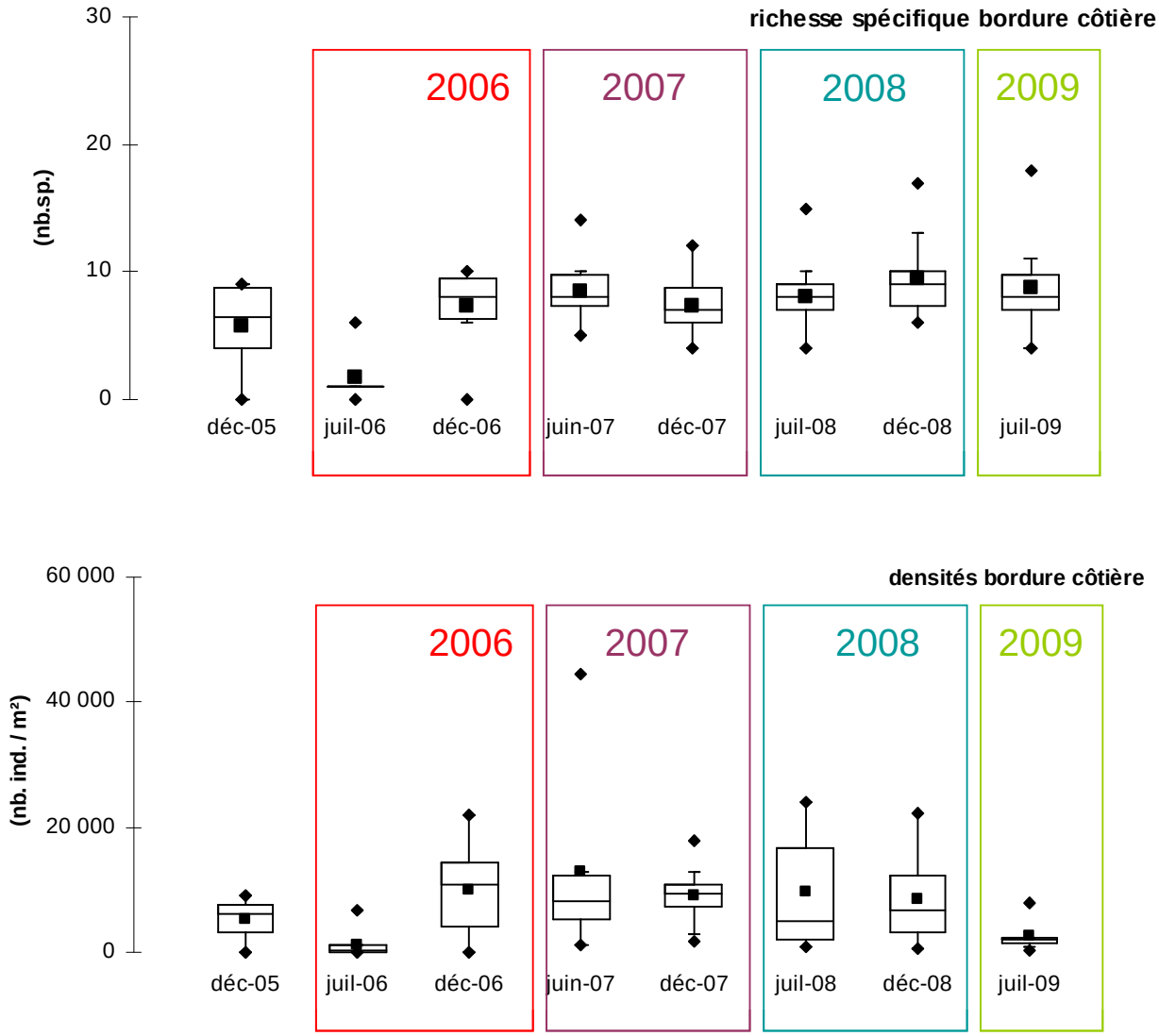


Figure 59. Richesses spécifiques et densités moyennes (en nombre d'individus / m²) des stations de la bordure côtière entre décembre 2005 et juillet 2009. (boites = 1er quartile, médiane, 3ème quartile ; marques rectangulaires = moyennes ; moustaches = 1.5 x intervalle inter-quartiles ; marques losanges = minimum – maximum).

Stations centrales

Stations : B3, B4 et B6

Les stations B3, B4 et B6 sont réparties le long d'un axe nord-sud, dans la partie centrale du Grand Etang (Figure 57). Les prélèvements sont réalisés mensuellement. La station B4 n'est échantillonnée mensuellement que depuis janvier 2007.

Entre décembre 2005 et juillet 2009, 22 espèces ont été recensées (Tab. 26). On note une grande disparité géographique de la richesse spécifique : la station B3 au nord, moins profonde (4 m de profondeur), est la plus diversifiée ; B4, située au centre du Grand Etang à 8.5 m de profondeur, est la plus pauvre. Enfin, B6, située au sud du Grand étang à 9 m de profondeur, au niveau du « coin salé », présente également une richesse spécifique inférieure à B3.

Tableau 26. Liste des espèces de la macrofaune benthique présentes dans les prélèvements des stations centrales, entre décembre 2005 et octobre 2009.

	B3	B4	B6
Abra ovata			■
Balanus eburnueus	■		
Brachydontes marioni	■		
Capitella. capitata	■	■	■
Cardium echinatum			■
Cerastoderma glaucum	■	■	■
Corbulla gibba	■		■
Corophium insidiosum	■		
Echinogammarus stocki	■	■	
Erichtonius brasilienis	■		
Ficopomatus enigmaticus			■
Microdeutopus sp			■
Musculista senhousia	■	■	■
Mya arenaria	■		
Mytilus galloprovincialis	■		
Nereis succinea	■	■	■
Oligochètes spp.	■		
Parvicardium exiguum			■
Phoronis psammophila			■
Polydora. ciliata	■		
Spiophanes kroyeri			■
Tharyx marioni	■		■
Venerupis aurea	■		

Les peuplements des stations B3 et B6 sont largement dominés par les bivalves *Musculista senhousia, Brachidontes mario*ni et les polychètes *Nereis succinea*. *Mytilus galloprovincialis*

n'y est que ponctuellement observée (Fig. 60). A la station B4, on note depuis janvier 2007 la présence ponctuelle d'organismes vivants (souvent une seule espèce : *Capitella capitata*, espèce indicatrice de milieu très dégradé, et parfois d'individu isolé de *Nereis succinea* ou de crustacés).

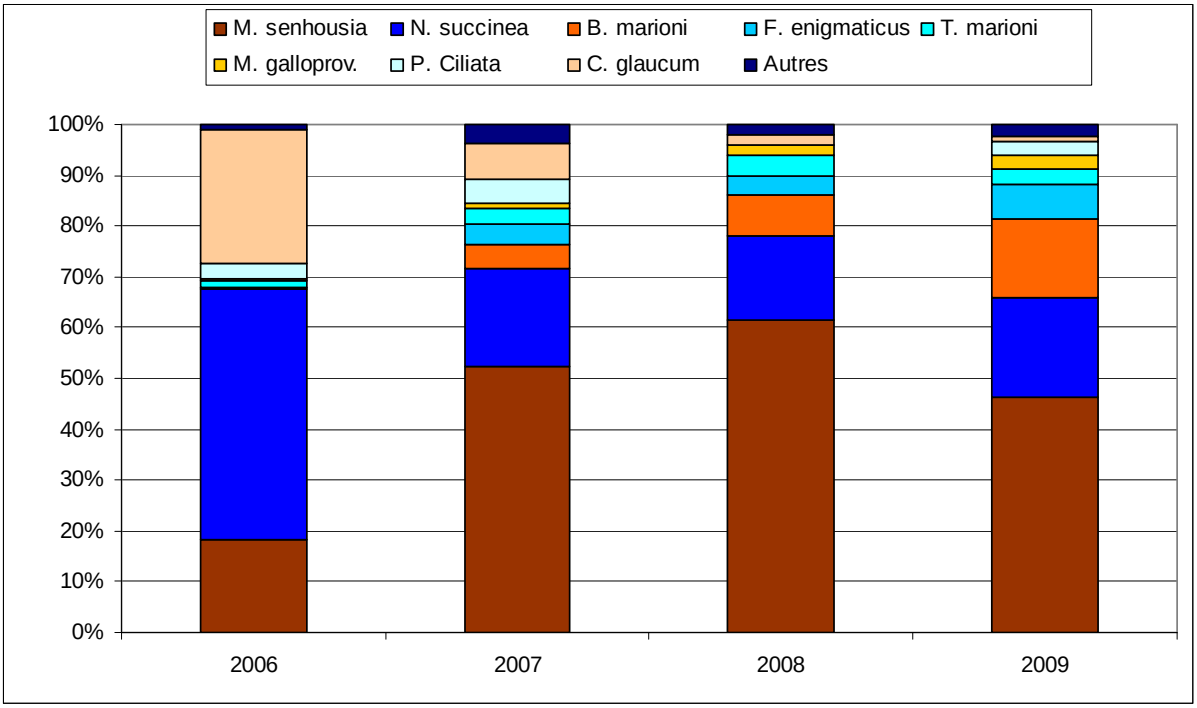


Figure 60. Composition par espèce (en pourcentage du nombre d'individus) pour l'ensemble des prélèvements des stations centrales B3 et B6 en 2006 et des stations centrales B3, B4 et B6 en 2006, 2007, 2008 et 2009 (jusqu'à octobre).

Prises individuellement, les stations centrales présentent, au moins pour les stations B3 et B6, une très grande instabilité de leur richesse spécifique. Au cours de la série temporelle, elle varie de 0 au minimum à 14 au maximum. La richesse spécifique et les densités d'individus dans le centre de l'étang restent très faibles en comparaison de la bordure côtière. Les fluctuations des peuplements liées aux conditions du milieu y sont bien plus marquées : les épisodes d'anoxie des fonds, durant les étés 2006 et 2007, se sont ainsi traduits par la disparition complète ou quasi-complète des organismes dans les prélèvements (Fig. 61). Les peuplements se reconstituaient ensuite, à l'automne. En 2008, les richesses spécifiques ont été globalement stables pour les stations B3 et B6, les abondances, en revanche, ont diminué au cours de l'été, puis ont retrouvé leurs niveaux en novembre et décembre 2008. A la station B4, il s'agit plutôt de présence ponctuelle de quelques individus d'espèces pionnières. Les plus fortes densités ont été observées en mai

2008 (140 individus/m²) avec 4 espèces recensées. Les abondances ont ensuite été quasi nulles.

Enfin, au cours de l'année 2009, pour les stations B3 et B6, les richesses spécifiques ont globalement été comparables aux valeurs relevées en 2008. En revanche, les abondances ont très fortement chutées à partir de février 2009 pour l'ensemble des stations centrales ; de juin à octobre 2009 elles sont restées proches de 0.

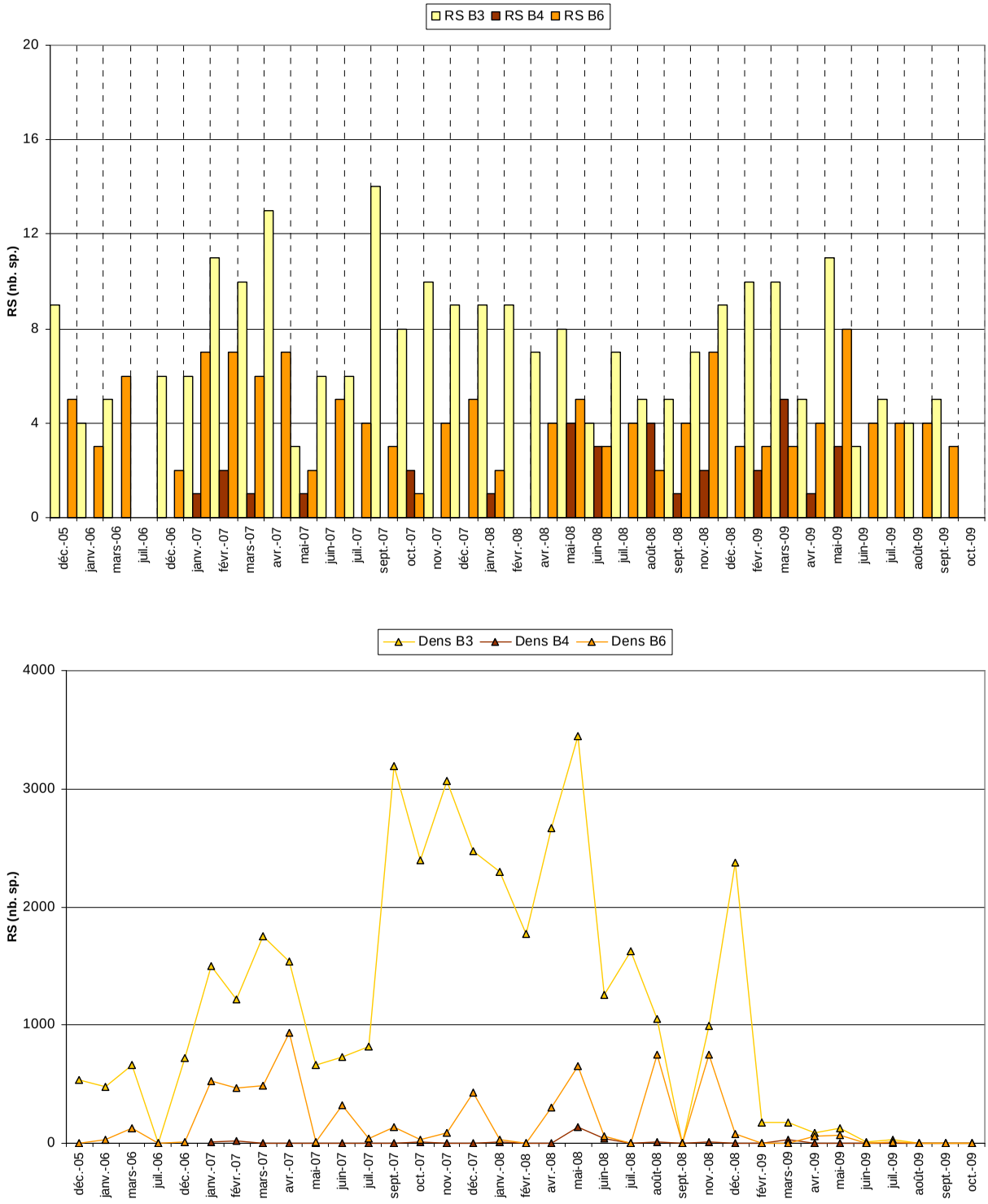


Figure 61. Richesse spécifique (en nombre d'espèces) et densités (/m²) des stations centrales B3, B4 et B6 entre décembre 2005 et octobre 2009.

Suivi de la biomasse

Depuis 2007, la biomasse totale par grand groupe (poids humide) a été mesurée, pour les 3 stations centrales (Fig. 62). Les deux principaux groupes présents dans les prélèvements des stations centrales sont les polychètes et les mollusques.

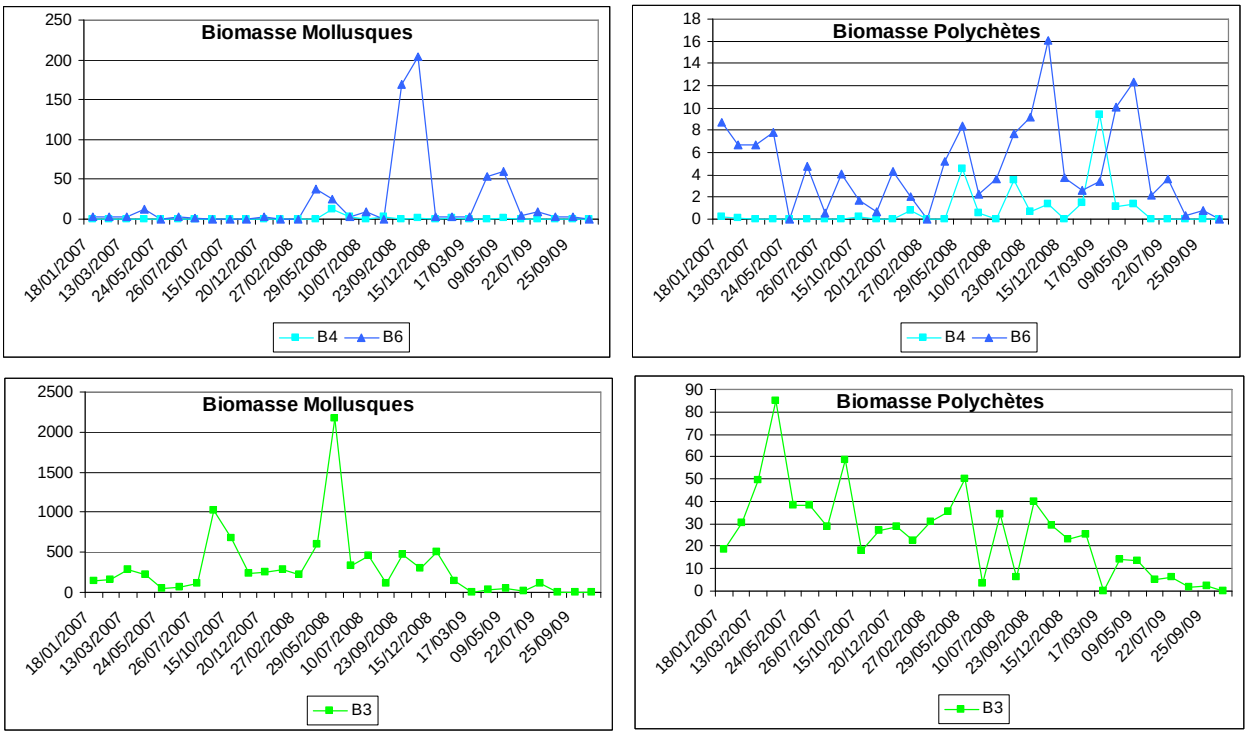


Figure 62. Biomasses totales (en g/m²) des mollusques et des polychètes dans les stations B3 et B4/B6 entre janvier 2007 et octobre 2009. Pour des raisons de lisibilité, les échelles des graphiques ont été adaptées en fonction des valeurs obtenues.

En terme de biomasse, comme pour les densités, la station B3 est plus riche que les stations B4 et B6. Les mollusques dominent globalement les peuplements, à l'exception de la station B6 pour les mois de juillet à septembre 2007 (figure 62). D'une manière générale, la biomasse mesurée est liée à la densité des peuplements. Les biomasses sont ainsi maximales au printemps et à l'automne, et minimales pendant l'été (épisodes estivaux d'anoxie des eaux qui entraînent des mortalités).

Indice M-AMBI

L'indice M-AMBI est utilisé dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau) pour classer le descripteur macrofaune benthique des eaux de transition. Le suivi DCE est réalisé tous les 3 ans dans l'étang de Berre sur deux points (équivalents de B3 et B6).

Nota : Pour les masses d'eau de Méditerranée, la France a défini des seuils provisoires et n'a pas réalisé d'intercalibration. A l'avenir les valeurs de référence et les seuils adaptés à la typologie des lagunes pourront être ajustés.

A titre indicatif, nous proposons ici de calculer cet indice avec les valeurs issues du suivi de la macrofaune benthique réalisé par le GIPREB, pour les stations centrales et les stations de la bordure côtière. Cela afin de mettre en évidence les éventuelles évolutions de cet indice au cours du temps, mais également de pouvoir comparer les peuplements de l'étang de Berre avec ceux d'autres lagunes méditerranéennes, sur la base d'un indice commun.
Le protocole de prélèvement diffère légèrement entre le suivi du Gipreb et le suivi DCE, en particulier en terme de surface de sédiment prélevé : respectivement 0.27 et 0.33 m² pour le suivi DCE et les stations centrales du suivi Gipreb. Nous considérerons néanmoins que ces surfaces sont comparables ; par ailleurs elles ne rentrent pas en compte dans le calcul de l'indice. En ce qui concerne les stations de la bordure côtière, les surfaces prélevées sont inférieures (0.1 m²), toutefois, ces stations ne sont pas suivies dans le cadre de la DCE.
L'indice M-AMBI est dérivé de l'indice biotique AMBI (*Azti Marine Biotic Index*). Cet indice AMBI repose sur les proportions d'abondance respectives de 5 groupes écologiques qui correspondent au classement des espèces en fonction de leur tolérance (sensibilité) face à un gradient de stress environnemental. Plus précisément, le M-AMBi dérive d'une analyse factorielle de l'AMBI, de la richesse spécifique et de l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H'). Le M-AMBI est borné (entre 0 et 1), la correspondance des bornes avec les valeurs de AMBI étant fixée par la DCE, pour l'ensemble des eaux de transition (Tab. 27). En termes de qualification du milieu, plus le M-AMBI est proche de 1, plus les peuplements sont de bonne qualité.

Tableau 27. Valeurs minimales et maximales du AMBI, de l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et de la richesse spécifique, utilisées pour le calcul des bornes du M-AMBI, dans le cadre de la DCE pour l'ensemble des eaux de transition en Méditerranée.

Stations	AMBI	H'	S	M-AMBI
Minimum	3.525	0	0	0
Maximum	0.58	4.56	50	1

Tab 28. Indice M-AMBI pour les stations centrales (B3, B4 et B6) du suivi Gipreb, entre décembre 2005 et octobre 2009. En grisé = données manquantes.

	2005	2006			2007										
	12	1	7	12	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12
B3	0,29	0,13	0,00	0,25	0,24	0,31	0,33	0,36	0,15	0,19	0,26	0,30	0,23	0,28	0,30
B4					0	0	0		0			0	0	0	0
B6	0	0,11	0	0,01	0,24	0,23	0,2	0,21	0	0,12	0,11	0,11	0,03	0,12	0,14

	2008									
	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12
B3	0,27	0,28	0,23	0,26	0,13	0,26	0,31	0,27	0,26	0,11
B4		0		0,11	0,14	0	0	0	0	0
B6	0	0,03	0,19	0,17	0,1	0,12	0,06	0,13	0,22	0,03

	2009								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B3	0,28	0,31	0,25	0,35	0,12	0,29	0,09	0,18	0
B4	0	0,12	0	0,09	0	0	0	0	0
B6	0,12	0,1	0,13	0,33	0,17	0,12	0,12	0,06	0

Tab 29. Indice M-AMBI pour les stations côtières du suivi Gipreb, entre décembre 2005 et juillet 2009.

Stations	déc-05	juil-06	déc-06	juin-07	déc-07	juil-08	déc-08	juil-09
B1	0,26	0,12	0,28	0,28	0,25	0,31	0,30	0,39
B2	0,30	0,00	0,27	0,18	0,25	0,22	0,31	0,23
B5	0,21	0,12	0,31	0,34	0,30	0,33	0,39	0,42
B7	0,24	0,00	0,21	0,20	0,17	0,23	0,25	0,21
B8	0,19	0,00	0,15	0,12	0,14	0,18	0,18	0,18
B9	0,29	0,00	0,22	0,31	0,32	0,31	0,29	0,41
B10	0,18	0,12	0,25	0,28	0,24	0,15	0,23	0,37
B11	0,00	0,00	0,19	0,18	0,26	0,17	0,23	0,25
B12	0,00	0,24	0,00	0,36	0,35	0,39	0,40	0,46
B13	0,22	0,27	0,22	0,29	0,22	0,19	0,28	0,32

Tab 30. Signification écologique de l'état de la macrofaune benthique et valeurs seuils de l'indice M-AMBI, donnée par la DCE pour l'ensemble des eaux de transition en Méditerranée.

M-AMBI<0,2	Mauvais
0,2<M-AMBI<0,39	Pauvre
0,39<M-AMBI<0,53	Moyen
0,53<M-AMBI<0,77	Bon
M-AMBI >0,77	Très Bon

La construction du M-AMBI s'est basée sur la définition de bornes minimum et maximum (valeurs minimum et maximum de la DCE en 2006). Les valeurs négatives (correspondant à des valeurs d'indices inférieures aux bornes définies préalablement par la DCE, N. DESROY, IFREMER comm. pers.) ont été ramenées à 0 dans les tableaux.

En ce qui concerne les stations centrales, B6 et B4 plus profondes, sont globalement classées en « mauvais » sur l'ensemble de la série temporelle ; B3 est plutôt classée en qualité « pauvre ». Lors de la campagne DCE (Ifremer), réalisée en juin 2006, les valeurs du M-AMBI étaient de 0.36 pour la station Berre sud (équivalente à B6) et de 0.25 pour Berre nord (équivalente à B3), soit des classements comparables.
Pour la bordure côtière, les stations sont globalement classées en qualité « pauvre » à « mauvais ». Les deux stations B5 et B12 (situées au sud-ouest du Grand Etang, à proximité des entrées d'eaux marines par le canal de Caronte) présentent des qualités « moyennes ». C'est également le cas de la Pointe de Berre en juillet 2009. Notons enfin que l'événement de mortalité de l'été 2006 (prélèvement de juillet 2006) est bien visible pour la plupart des stations de la bordure côtière.

A titre de comparaison, l'ensemble des prélèvements réalisés dans le cadre du suivi présente des valeurs de M-AMBI inférieures à la valeur moyenne de l'ensemble des eaux de transition en Méditerranée en 2006 (soit M-AMBI = 0.42 ; compris entre 0.12 et 0.86). Pour les stations côtières, ces résultats semblent être liés plutôt à la faible diversité spécifique des peuplements qu'à leur abondance (diversités spécifiques inférieures ou égales à 10 pour 75% des stations) ; les autres étangs méditerranéens présentant des richesses spécifiques supérieures à 15 (jusqu'à 30 espèces par exemple dans l'étang de Thau).

Cartographie des peuplements

La répartition bathymétrique des différents assemblages présents dans l'étang de Berre a été cartographiée en 2004, 2006 et 2009. En plus des 10 stations de la bordure côtière et des 3 stations centrales, une série de 18 points de prélèvements complémentaires a été réalisée le long de 2 transects à l'est et à l'ouest de l'étang et dans le sud, autour du chenal de navigation (Figure 63). Ces prélèvements ont été complétés par une série d'observations visuelles, le long de 17 radiales, positionnées au niveau des stations côtières et centrales. La localisation des assemblages biocénotiques est ensuite définie d'après la profondeur à laquelle sont présentes les différentes espèces qui caractérisent ces assemblages.

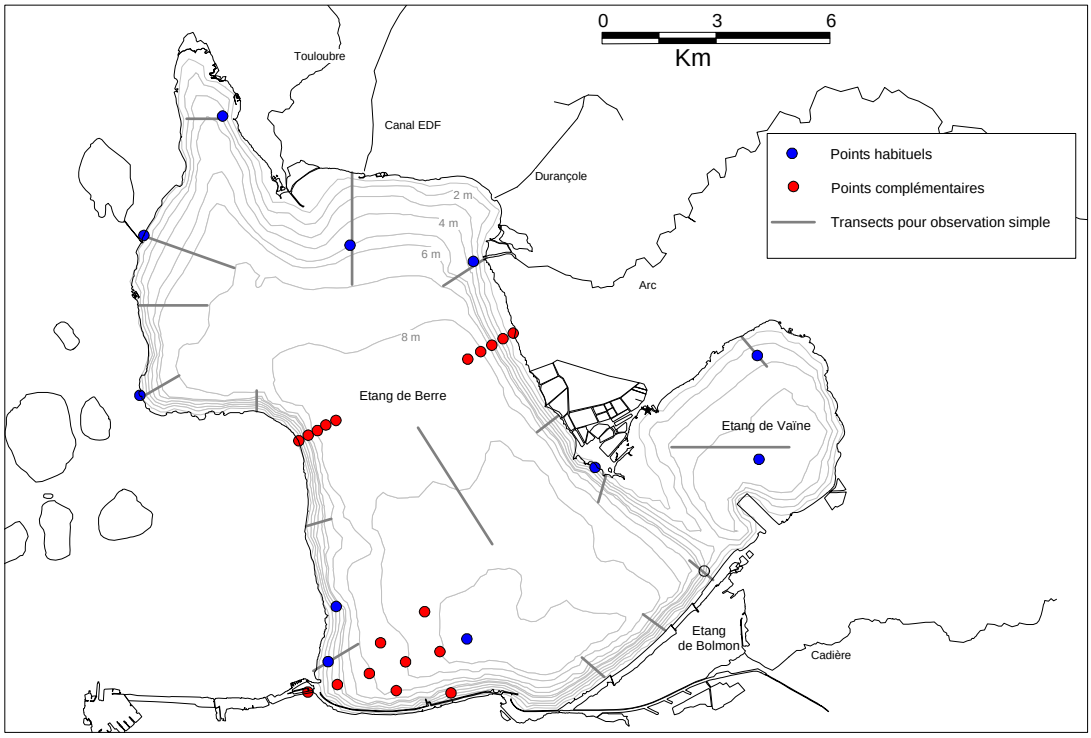


Figure 63. Localisation des points de prélèvements et radiales d'observation visuelle effectués pour la cartographie des peuplements de la macrofaune benthique en 2004, 2006 et 2009.

Deux assemblages principaux sont ainsi décrits dans l'étang de Berre : la biocénose Lagunaire Eurytherme et Euryhaline (LEE), largement dominante, et la biocénose des Sables Vaseux de Mode Calme (SVMC) constituée d'espèces à affinité marine. Ces deux assemblages sont présents avec différents niveaux de dégradation (Fig. 64).

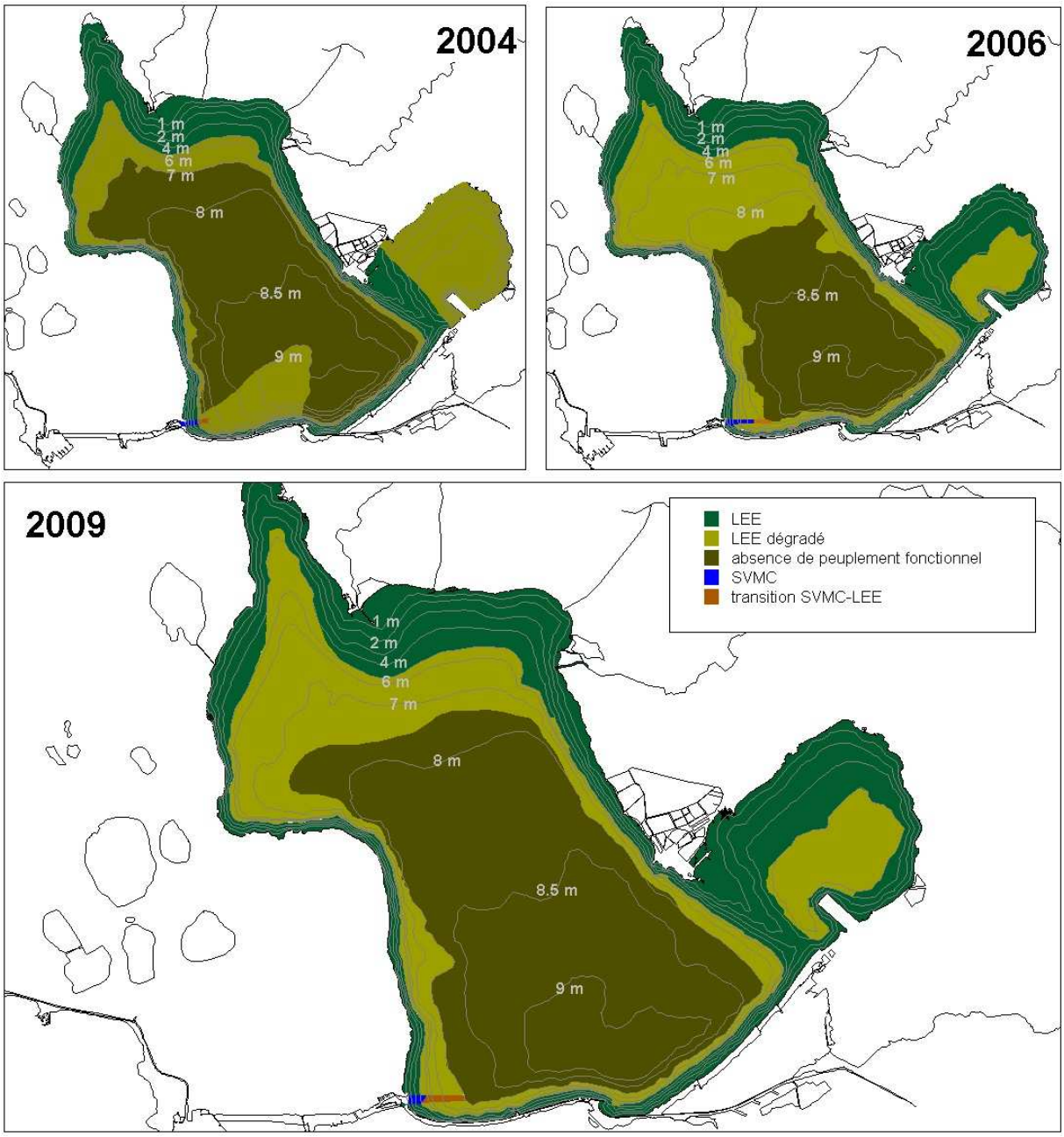


Figure 64. Répartition des principaux assemblages de la macrofaune benthique présents dans l'étang de Berre en décembre 2004, juillet 2006, juillet 2009.

Ils se répartissent selon quatre grands secteurs bathymétriques :

- La bordure côtière jusqu'à 5 m de profondeur où se développe un peuplement de type Lagunaire Eurytherme Euryhalin (LEE) généralement appauvri (en termes de richesse spécifique et d'abondances)[1] ;

[1] Un peuplement LEE florissant se caractérise à la fois par une richesse spécifique élevée et une densité importante liées au développement particulier d'une ou de plusieurs espèces formant des faciès.

- La zone comprise entre l'isobathe 5 et 8 m occupée par un assemblage LEE dégradé, avec une réduction marquée du nombre d'organismes tout d'abord puis du nombre d'espèces en fonction de la profondeur. A la limite inférieure de ce liseré, seules subsistent quelques espèces indicatrices de perturbation maximale telles que *Capitella capitata*. Il est à noter que dans l'étang de Vaine ce peuplement LEE dégradé s'observe à partir de 4 m de profondeur.

- La partie centrale de l'étang, à partir de 8 m de profondeur, colonisée par *C. capitata*. Dans la partie sud de l'étang, sous l'influence des courants de marée, *C. capitata* est associée à *Brachidontes marioni*, caractéristique du peuplement LEE.

- Le chenal de navigation au débouché du canal de Caronte, ou l'on trouve un assemblage marin SVMC appauvri qui cède la place au fur et à mesure que l'on s'éloigne de Martigues à un peuplement de transition SVMC-LEE puis à un peuplement LEE dégradé.

La proportion relative de ces quatre grands secteurs a globalement peu évoluée entre 2004 et 2009. La zone centrale, dépourvue de tout peuplement fonctionnel (caractérisée par la seule présence, ponctuelle, de quelques individus d'une ou deux espèces résistantes au stress), reste la plus étendue (elle occupe 32 à 46% des fonds selon les années). A noter toutefois que cette zone était complètement azoïque avant 2007.

On note une extension de l'assemblage LEE (au lieu de l'assemblage LEE dégradé) dans la partie littorale de l'étang de Vaïne entre 2004 et 2006. En revanche, en 2009, la surface de la zone occupée par l'assemblage SVMC s'est réduite au débouché immédiat du chenal de Caronte.

6.2 Conclusion sur la macrofaune benthique

La macrofaune benthique dans l'étang de Berre est caractérisée par des richesses spécifiques et des abondances faibles (dans un état majoritairement « mauvais » à « pauvre » selon l'indice M-AMBI tel qu'utilisé actuellement dans le cadre de la DCE ; des ajustements de cet indice par typologie des lagunes sont à l'étude). Les peuplements de la bordure côtière ont régressé lors des épisodes d'anoxies qui ont touché une grande partie des fonds de l'étang, à plusieurs reprises, au cours de la série temporelle (principalement en période estivale, en lien avec la stratification et l'eutrophisation des eaux de surface). Dès que les conditions d'oxygénation se sont améliorées, ces peuplements ont retrouvé leurs niveaux antérieurs (richesse spécifique, densités), ce qui témoigne de leur potentialité de développement si les conditions étaient favorables.

Dans la zone centrale et profonde, soumise à la stratification haline et donc à des anoxies récurrentes (au-dessous de 6 m de profondeur), on note l'absence de peuplement fonctionnel de la macrofaune benthique, voire l'absence de tout individu vivant pendant plusieurs mois.

Les espèces présentes dans l'étang de Berre appartiennent à la biocénose Lagunaire Eurytherme Euryhaline (LEE) ; cet assemblage s'appauvrit en s'éloignant du rivage vers le large, avec l'augmentation de profondeur. La présence d'espèces à affinité marine (constitutives de la biocénose des Sables Vaseux de Mode Calme, SVMC) n'est notée qu'à proximité du débouché du chenal de Caronte, qui relie l'étang avec le golfe de Fos. La localisation et l'étendue des différents assemblages n'ont pas montré de franche évolution entre 2004 et 2009.

Enfin, notons la présence, en forte proportion, de la moule introduite *Musculista senhousia* au sein du peuplement benthique. Si son caractère invasif n'est pas mis en évidence, il importe néanmoins de rester vigilant quant à l'impact que pourrait avoir le développement de cette espèce sur les espèces indigènes, notamment en termes d'occupation, voire de modification, des substrats.

7 SUIVI ICHTYOLOGIQUE

7.1 Inventaire ichtyologique

7.1.1 Méthodologie

L'inventaire ichtyologique est basé sur la réalisation de quatre campagnes de pêches annuelles. Les pêches sont réalisées en six points de l'étang (Tab. 31, Fig. 65) à l'aide d'engins de capture standardisés, les « capétchades », adaptés au milieu, et à maille suffisamment fine pour capturer les espèces de petite taille[1]. La méthodologie retenue s'appuie sur le protocole DCE (Directive Cadre sur l'Eau) pour la caractérisation ichtyologique des « eaux de transition » (estuaires et lagunes, indicateur poisson ; Cemagref). Deux campagnes de pêche « DCE » ont été réalisées dans l'étang de Berre selon ce protocole en 2006 (mai et septembre).

Le premier cycle annuel de l'inventaire ichtyologique porte sur 4 campagnes :

- du 2 au 6 juin 2008
- du 15 au 19 septembre 2008
- du 08 au 11 décembre 2008
- du 09 au 13 mars 2009.

Le bilan final de l'étude sera restitué à l'issue du deuxième cycle annuel, en mars 2010.

Tous les poissons capturés[2] sont identifiés pour chacune des six stations jusqu'à l'espèce et font l'objet de mesures biométriques (longueurs et biomasses). Des sous-échantillons sont réalisés pour les espèces particulièrement abondantes telles que les anchois, les sardines et les Gobiidés. Les poissons capturés ont fait l'objet d'un examen vétérinaire afin de déceler des traces externes et/ou internes de parasitoses ou de pathologies.

[1] A l'occasion de 2 campagnes, des filets de pêcheurs à maille plus grosse ont été utilisés en complément.

[2] Les campagnes sont réalisées dans le souci de restituer au maximum les poissons capturés vivants dans l'étang. Les pêches sont réalisées à l'aide de deux pêcheurs professionnels et de leur embarcation prévue pour manipuler les capétchades ; la récupération des pêches est effectuée à partir d'un navire océanographique côtier muni d'un laboratoire de travail à bord.

Tableau 31. Localisation des stations de pêche.

Zone	Filet	Site	Position des filets (WGS 84)	Profondeur (m)
Nord	1	Poudrière	43°33' 258 N – 05°01' 143 E	1.30
	2	Ranquet	43°28' 688 N – 05°00' 048 E	1.60
	6	Centrale EDF St-Chamas	43°31' 557 N – 05°03' 475 E	0.90
Sud	3	Martigues	43°24' 778 N – 05°03' 551 E	1.10
	4	La Mède	43°24' 058 N – 05°07' 200 E	1.60
	5	Pointe de Berre	43°27' 505 N – 05°08' 806 E	1.5 0
	Pêcheur3*	Martigues	Près de la station 3	
	Pêcheur4*	Martigues	Près de la station 4	

* Les filets de pêche des pêcheurs sont dénommés « pêcheur », P3 et P4 en fonction du numéro de la station de suivi la plus proche.

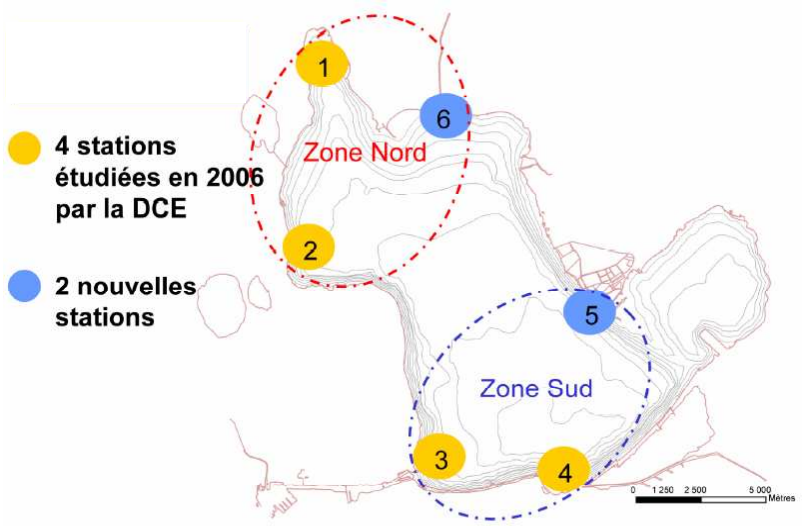


Figure 65. Localisation des stations de pêche. Les stations 1 à 4 sont identiques au protocole DCE appliqué pour les pêches DCE de 2006, les stations 5 et 6 ont été ajoutées dans le cadre de ce suivi.

7.1.2 Captures

L'occurrence, l'abondance et la biomasse des espèces ou groupes d'espèces de poissons et de crustacés pêchés sont présentés dans les tableaux ci-après en fonction du type de filets : captéchades DCE (Tab. 32a, 32b, 32c, 32d) et filets des pêcheurs (Tab. 33a et 33b). Les valeurs d'abondance et de biomasse restent provisoires en ce qui concerne les Gobiidés ; elles seront ajustées suite au tri et à la détermination finale des espèces.

Tableau 32a. Répartition, abondances et biomasses des captures effectuées avec les filets de type DCE sur les 6 stations du suivi de l'étang de Berre lors de la campagne de pêche du 2 au 6 juin 2008.

Espèce	Zone nord			Zone sud			Total 6 stations		
	St 1	St 2	St 6	St 3	St 4	St 5	Occurrence (%)[1]	Abondance	Biomasse (g)
Poissons									
Anguilla anguilla			+		+	+	16.7	9	962
Atherina boyeri	+	+	+	+	+	+	91,7	841	3 488
Atherina hepsetus		+		+			8,3	99	819
Boops boops				+			4,2	2	
Dicentrarchus labrax					+	+	8,3	4	
Diplodus annularis	+	+					12,5	5	46
Diplodus sargus				+			4,2	1	29
Engraulis encrasicholus	+	+	+	+	+	+	58,3	504	1 477
Gasterosteus aculeatus					+		4,2	1	
Gobie		+					8,3	819	1569
Gobie gros	+		+	+	+	+	41,7	198	1254
Gobie petit	+	+	+	+	+	+	91,7	28 073	17 424
Gobius niger					+		4,2	22	166
Gobius paganellus					+		4,2	2	18
Liza ramada			+				4,2	1	295
Mugil saliens			+				4,2	1	105
Mugil sp			+				4,2	1	
Oblada melanura				+			4,2	2	7
Platichtys flesus	+	+	+				12,5	3	
Salaria pavo			+		+	+	29,2	40	88
Sardina pilchardus	+		+	+	+	+	83,3	4 648	4 725
Solea solea		+					4,2	1	
Sparus aurata	+	+	+			+	50,0	684	1 033
Syngnathus abaster			+		+		20,8	64	119
Crustacés									
Carcinus maenas (crabe vert)	+	+	+	+	+	+	95,8	273	12 593
Crabes non identifiés	+						8,3	4	
Crangon crangon (grise)	+	+	+	+	+	+	66,7	2 238	410
Palaemon longirostris (ponctuée)	+	+	+	+	+	+	79,2	1 006	788
Palaemon serratus (striée)	+	+	+	+	+	+		2 285	745
Total								**41 961**	**48 416**
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de poisson = 24	8	9	13	9	12	9	100		
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de Crustacés = 5	5	4	4	4	3	4			
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce totales = 29	**13**	**13**	**17**	**13**	**16**	**13**			

[1] Occurrence : pourcentage de présence d'une espèce dans les pêches (5 jours * 6 filets)

Tableau 32b. Répartition, abondances et biomasses des captures effectuées avec les filets de type DCE sur les 6 stations du suivi de l'étang de Berre lors de la campagne de pêche du 15 au 19 septembre 2008. * : nouvelle espèce observée lors de la deuxième campagne. Occurrence = pourcentage de présence d'une espèce dans les 18 prélèvements (3 stations x 5 jours + 3 stations x 4 jours).

Espèce	Zone nord			Zone sud			Total 6 stations		
	St 1	St 2	St 6	St 3	St 4	St 5	Occurrence (%)[1]	Abondance	Biomasse (g)
Poissons									
Anguilla anguilla				+			5	1	16
Atherina boyeri		+	+	+	+	+	85	6 592	8 968
Atherina hepsetus			+			+	10	97	431
Atherina "points noirs" *****				+	+	+	35	1 207	2 697
Atherina sp.						+	5	22	
Engraulis encrasicholus	+	+	+	+	+	+	70	324	606
Gobie gros	+	+	+			+	20	4	15
Gobie petit	+	+	+	+	+	+	100	5 862	3 519
Gobius niger		+					5	2	
Liza aurata *****				+	+	+	25	8	150
Mugil cephalus *****		+					5	1	301
Mullus surmuletus *****				+		+	15	14	109
Platichtys flesus			+				5	1	
Salaria pavo				+			15	7	14
Sardina pilchardus				+	+	+	10	7	54
Solea solea		+		+		+	20	7	424
Sparus aurata	+					+	5	1	69
Syngnathus abaster			+	+			15	4	
Crustacés									
Carcinus maenas (crabe vert)		+	+	+	+	+	85	482	20 033
Rhithropanopeus harrisii (crabe) *****	+	+	+				40	82	67
Crangon crangon (grise)	+	+	+	+			60	251	78
Palaemon longirostris (ponctuée)	+	+	+	+		+	50	369	239
Palaemon serratus (striée)	+	+	+	+	+	+	95	3 010	579
Total								**18 355**	**38 370**
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de poisson = 19	4	8	7	12	6	9			
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de Crustacés = 5	4	4	5	4	2	4			
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce totale = 24	**8**	**12**	**12**	**16**	**8**	**13**			

Tableau 32c. Répartition, abondances et biomasses des captures effectuées avec les filets de type DCE sur les 6 stations du suivi de l'étang de Berre lors de la campagne de pêche du 08 au 11 décembre 2008. * : nouvelle espèce observée lors de la troisième campagne. Occurrence = pourcentage de présence d'une espèce dans les 18 prélèvements (6 stations x 4 jours).

Espèce	Zone nord			Zone sud			Total 6 stations		
	Stn 1	**Stn 2**	**Stn 6**	**Stn 3**	**Stn 4**	**Stn 5**	**Occurrence (%)**	**Abondance (n)**	**Biomasse (g)**
Poissons									
Anguilla anguilla		+			+		11	2	
Atherina sp.	+	+	+	+	+	+	94	313	591
Gasterosteus aculeatus				+			6	1	
Gobie gros		+				+	11	3	50
Gobie petit	+	+	+	+	+	+	100	14 301	9 737
Liza aurata	+	+	+	+	+		44	108	1 399
Mugil sp.					+		6	2	
Sardina pilchardus	+						6	2	34
*Solea lascaris**					+		6	1	
Solea solea				+			6	1	72
Syngnathus abaster		+			+		11	2	
*Syngnathus acus**				+			6	2	
Crustacés									
Carcinus maenas (crabe vert)	+	+		+	+		39	86	1 127
Crangon crangon (grise)	+	+	+	+	+	+	78	954	605
Palaemon longirostris (ponctuée)		+	+				17	6	6
Palaemon serratus (striée)	+	+	+	+	+	+	78	168	50
Total								**15 953**	**13 671**
Nombre de taxons									
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de poisson = 12	4	6	3	6	7	3	12		
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de Crustacés = 4	3	4	3	3	3	2	4		
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce totale = 16	**7**	**10**	**6**	**9**	**10**	**5**	16		

Tableau 32d. Répartition, abondances et biomasses des captures effectuées avec les filets de type DCE sur les 6 stations du suivi de l'étang de Berre lors de la campagne de pêche du 09 au 13 mars 2009.

Occurrence = pourcentage de présence d'une espèce dans les 18 prélèvements (6 stations x 5 jours). Les valeurs d'abondance et de biomasse restent provisoires en ce qui concerne les gobiidés.

Espèce	Zone nord			Zone sud			Total 6 stations		
	Stn 1	**Stn 2**	**Stn 6**	**Stn 3**	**Stn 4**	**Stn 5**	**Occurrence (%)**	**Abondance (n)**	**Biomasse (g)**
Poissons									
Anguilla anguilla						+	8	2	415
Atherina boyeri	+	+	+	+	+	+	88	319	524
Atherina hepsetus	+						4	1	
Atherina punctata	+			+	+		13	4	6
Gasterosteus aculeatus						+	4	1	
Gobie gros		+			+	+	17	7	45
Gobie petit	+	+	+	+	+	+	100	5 225	4 013
Liza aurata		+	+	+			25	120	3 650
Mugil sp.	+	+	+	+	+		46	320	
Salaria pavo		+		+			8	2	6
Sardina pilchardus	+	+			+		17	5	42
Solea solea						+	4	1	155
Syngnathus abaster				+	+		8	2	
Crustacés									
Carcinus maenas (crabe vert)	+	+		+	+	+	71	390	4 978
Crangon crangon (grise)	+	+		+			17	7	
Palaemon longirostris (ponctuée)		+	+	+	+	+	100	3 272	3 414
Palaemon serratus (striée)	+	+	+	+	+	+	83	4 141	906
Rhithropanopeus harrisi	+	+					13	4	2
Total								**13 823**	**18 156**
Nombre de taxons									
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de poisson = 13	6	7	4	7	7	6	13		
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de Crustacés = 5	4	5	2	4	3	3	5		
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce totale = 18	**10**	**12**	**6**	**11**	**10**	**9**	18		

Sur l'ensemble des 6 stations de pêche avec les filets DCE, le bilan total des pêches de poissons (hors crustacés) est de :

- 36 025 individus représentant une biomasse de 33,6 kg en juin 2008,
- 14 161 individus représentant une biomasse de 17,4 kg en septembre 2008,
- 14 825 individus représentant une biomasse de 13,0 kg en décembre 2008,
- 6 009 individus représentant une biomasse de 8,8 kg en mars 2009.

En ce qui concerne les poissons, le nombre d'espèces varie entre 24 en juin, 19 en septembre, 12 en décembre et 13 en mars. Le peuplement est nettement dominé par les gobies, avec néanmoins une variabilité notable ; ce groupe représente 41% des effectifs capturés en septembre et 96% en décembre. Le reste du peuplement est constitué de sardines (*Sardina*), d'athérines (*Atherina*), d'anchois (*Engraulis*), de daurades (*Sparus)* et de mugilidés (*mugil* spp. et *Liza aurata*). Le nombre d'espèces de crustacés reste stable, compris entre 4 et 5. Parmi les gobiidés, deux espèces constituent la quasi-totalité du peuplement : *Gobius niger* pour les plus gros individus et *Pomatoschistus minutus* pour les plus petits individus. Les tailles de ces gobies ne diffèrent pas significativement selon les stations.

L'analyse de la diversité, des abondances et des biomasses des différentes espèces ne permet pas à ce stade de se prononcer de manière significative sur des éventuelles disparités entre stations. On peut toutefois noter une forte influence marine à la station 3 (Martigues) et la pauvreté spécifique de la station 1 (Poudrerie-anse de Saint-Chamas).

Dans les lagunes méditerranéennes, les peuplements ichtyologiques marqués par les mouvements migratoires saisonniers (entrées/sorties de la lagune) d'un certain nombre d'espèces varient au cours de l'année. On note les très faibles captures réalisées au mois de décembre en comparaison de la période estivale. Au mois de mars 2009 encore, les pêches réalisées restent très modestes en nombre et en biomasse. Une comparaison avec les données DCE obtenues en 2006 pourra être réalisée lorsque ces données seront disponibles. Par ailleurs, l'intégration des données de ce suivi dans la base DCE est en cours.

Tableau 33a. Abondances et biomasses des captures effectuées avec les filets du pêcheur (capétchade maille 8 ou maille 16 étirée) sur 3 stations de l'étang de Berre lors de la campagne de pêche du 2 au 6 juin 2008.

Espèce	Occurrence (%)	Abondance	Biomasse
Poissons			
Anguilla anguilla	33,3	19	2 215
Boops boops	66,7	66	6 670
Diplodus annularis	100,0	80	1 321
Diplodus vulgaris	100,0	6	234
Engraulis encrasicholus	33,3	2	4
Gobie gros	33,3	196	1 091
Gobius cobitis	33,3	2	258
Gobius niger	33,3	9	98
Mugil sp.	33,3	1	
Oblada melanura	33,3	1	120
Salaria pavo	33,3	1	
Sardina pilchardus	66,7	2	3
Sarpa salpa	33,3	1	110
Solea solea	66,7	4	563
Sparus aurata	100,0	21	102
Syngnathus abaster	33,3	4	
Trachurus trachurus	33,3	1	74
Trisopterus luscus	33,3	1	10
Crustacés			
Carcinus maenas	100,0	198	9 270
Crevette striée	33,3	5	8
Crevette ponctuée	100,0	12	8
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de poisson = 18			
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce totales = 21			
Total		**633**	**22 199**

Tableau 33b. Abondances et biomasses des captures effectuées avec les filets du pêcheur (capétchade maille 8 ou maille 16 étirée) sur 2 stations de l'étang de Berre lors de la campagne de pêche du 15 au 19 septembre 2008.

Espèce	Occurrence (%)	Abondance	Biomasse
Poissons			
Anguilla anguilla	100	53	3 774
Atherina « points noirs » *****	25	8	24
Atherina sp.	25	3	7
Boops boops	25	2	181
Engraulis encrasicholus	25	4	9
Gobius niger	25	2	9
Mullus surmuletus *****	50	5	95
Oblada melanura	25	1	71
Solea solea	50	4	416
Symphodus cinereus *****	25	1	16
Crustacés			
Carcinus maenas	100	245	8 601
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce de poisson =10			
Nombre d'espèces ou catégories d'espèce totales =11			
Total		**328**	**13 203**

* : nouvelle espèce pêchée lors de la seconde campagne.

L'analyse des captures réalisées avec les filets de pêcheurs met en évidence la plus grande sélectivité des espèces (espèces-cibles commerciales) et des biomasses plus élevées.

7.1.3 Approche fonctionnelle

L'étude et la classification des traits de vie caractéristiques de la communauté ichtyologique aboutissent à la définition de guildes fonctionnelles. Afin que les résultats de cet inventaire ichtyologique soient comparables aux résultats obtenus dans le cadre de la DCE, il a été décidé d'employer les guildes définies pour la DCE :

Tableau 34. Code DCE des guildes fonctionnelles.

Guildes fonctionnelles	**Composition spécifique**
Ecologiques	CA : migrateurs amphihalins ER : espèces autochtones FW : espèces dulçaquicoles MA : espèces marines présentes occasionnellement MJ : espèces marines utilisant l'étang au stade juvénile comme nourricerie MS : migrants marins saisonniers
Trophiques	V : herbivores Z : zooplanctonophages IB : prédateurs d'invertébrés benthiques IS : prédateurs d'invertébrés suprabenthiques F : piscivores O : omnivores
Distribution verticale	P : espèces pélagiques D : espèces démersales B : espèces benthiques

Tableau 35. Guildes fonctionnelles écologiques, trophiques et de distribution verticale des poissons péchés dans l'étang (voir codes Tab. 34).

Abramis brama	FW	IB	D
Anguilla anguilla	CA	O	D
Atherina boyeri	ER	Z	P
Atherina hepsetus	ER	Z	P
Atherina punctata	ER	Z	P
Boops boops	MA	O	P
Dicentrarchus labrax	MJ	IS	D
Diplodus annularis	MA	IS	D
Diplodus sargus	MA	IS	D
Diplodus vulgaris	MA	IS	D
Engraulis encrasicholus	MS	Z	D
Gasterosteus aculeatus	ER	IB	D
Gobius niger	ER	IB	B
Pomatoschistus minutus	ER	IB	B
Gobius cobitis	ER	IB	B
Liza aurata	MA	O	D
Liza ramada	CA	V	D
Mugil cephalus	MJ	O	D
Mugil saliens	MJ	O	D
Mullus surmuletus	MA	IB	B
Oblada melanura	MA	O	D
Platichtys flesus	CA	IB	B
Salaria pavo	ER	O	B
Sardina pilchardus	MJ	Z	P
Sarpa salpa	MA	V	D
Solea lascaris	MA	IB	B
Solea solea	MJ	IB	B
Sparus aurata	MA	IS	D
Symphodus cinereus	ER	IS	D
Syngnathus abaster	MA	Z	D
Syngnathus acus	ER	Z	D
Trachurus trachurus	MJ	F	P
Trisopterus luscus	MJ	IS	D

Cette approche permet de faire ressortir les fluctuations saisonnières de chacune des guildes étudiées (Fig. 66).

La part respective des différentes guildes écologiques au sein du peuplement varie relativement peu de juin à décembre. Les variations concernent essentiellement les espèces résidentes (ER), les espèces marines utilisant l'étang au stade juvénile (MJ) ou au stade adulte (MA). De décembre à mars, la progression des espèces résidentes s'accompagne d'une nette régression des espèces marines utilisant l'étang au stade adulte (MA). Ces comportements sont cohérents d'un point de vue écologique : les espèces marines quittent les lagunes durant la saison froide, tandis que les espèces résidentes s'y maintiennent et ont tendance à accroître leur activité en mars à l'approche de la saison de frai.

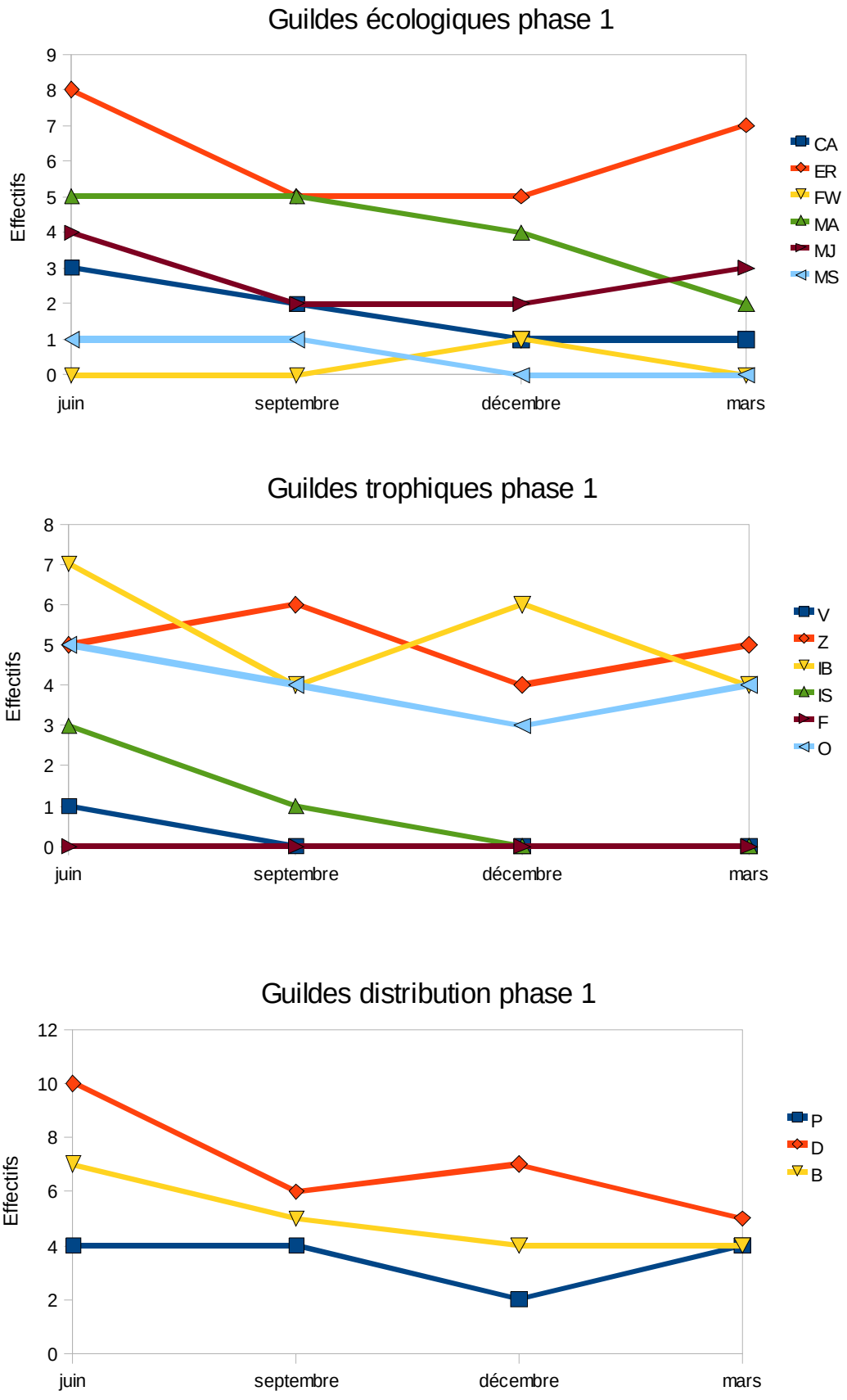


Figure 66. Evolution saisonnière des guildes fonctionnelles au cours du premier cycle annuel, toutes stations confondues.

L'étude des guildes trophiques montre des variations relativement importantes au cours du cycle annuel. On notera la réduction des prédateurs d'invertébrés supra-benthiques (IS) avec la saison froide et les fluctuations croisées des zooplanctonophages (Z) et des consommateurs d'invertébrés benthiques (IB).
Les espèces benthiques et démersales présentent une réduction régulière de leurs effectifs au cours de la saison froide, tandis que les espèces pélagiques restent plus stables.
D'une manière générale, les évolutions des différentes guildes fonctionnelles au cours de ce premier cycle annuel, rendent bien compte de ce que peut être la saisonnalité du peuplement ichtyologique en milieu lagunaire. A ce stade de l'étude, et en ce qui concerne le comportement des guildes fonctionnelles, on ne met pas en évidence de différences significatives entre les stations échantillonnées.

7.1.4 Analyses pathologiques

En plus du protocole DCE, l'analyse de l'état sanitaire et parasitaire des poissons a été réalisée à chaque campagne d'échantillonnage :

- identification de l'espèce et mesures biométriques,
- examens macroscopiques externes et internes destinés à noter toute altération ou lésion éventuelle,
- examens parasitologiques externes et internes destinés à apprécier l'ambiance parasitaire globale :
    - ↳ cutanéo-branchiale : Crustacés, Myxosporidies, Monogènes et surtout Protozoaires qui, pour la plupart, sont des bioindicateurs de la qualité des milieux,
    - ↳ interne : Acanthocéphales, Cestodes, Nématodes.

Les nécroses et les érosions ont plusieurs causes possibles (les causes les plus probables sont soulignées) :

- <u>parasites externes, bactérioses</u>, viroses
- <u>pollutions chimiques</u> : pétrole, Cd (poissons plats), Cr, Hg
- brûlures (UV) ; <u>traumatismes</u> ; cannibalisme
- carences vitaminiques (biotine, inositol)

Les hémorragies et les ulcères ont plusieurs causes possibles :

- des causes bactériennes ou parasitaires (même si aucun parasite n'a pu être mis en évidence),
- des traumatismes,
- des pollutions chimiques (métaux lourds : Cd ; Hg ; Cr) ou hydrocarbures (pétrole).

Les causes les plus probables de l'état de maigreur peuvent être bactériennes ou parasitaires ou encore des intoxications chroniques.

Concernant l'état de santé à l'échelle du peuplement, un « Code pathologie » est établi à partir du taux de nécroses et d'anomalies externes au sein d'une population. Cet indice permet d'apprécier la condition sanitaire des peuplements piscicoles, mais également de proposer une orientation de diagnostic en renseignant sur la nature et les étiologies (causes et facteurs) possibles des différentes altérations constatées.

Karr *et al*. (1986) estiment que la santé d'une communauté de poissons est bonne lorsque son taux d'anomalies externes de type DELT [Déformations, Erosion des nageoires, Lésions Tumeurs] est inférieur à 2%, qu'elle montre des signes de détérioration entre 2 et 5%, et devient mauvaise au-dessus de 5% (Tab. 36).

Tableau 36 : Interprétation des données de prévalence des anomalies sur l'état de santé des poissons.

Variables	Interprétation		
Condition des poissons	bonne	détériorée	précaire
Prévalence des individus avec une ou plusieurs des anomalies externes suivantes : Déformations, Erosions, Lésions et Tumeurs	0 - 2%	> 2 - 5%	> 5%

Girard (1998) estime que la qualité de l'eau et/ou des habitats est altérée lorsque la prévalence (P%) des lésions externes et/ou du parasitisme est supérieure à 5% conformément à la grille suivante basée sur le modèle des grilles de qualité des Agences de l'eau (Tab. 37) :

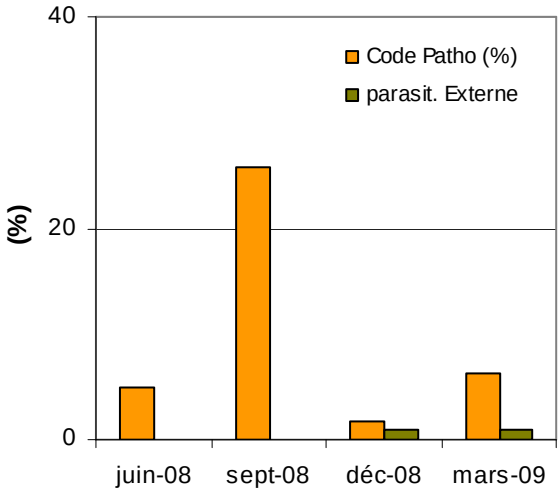
Tableau 37. Interprétation des données de prévalence sur la qualité du milieu.

P%	Qualité de l'eau et habitat	Classes Agence
0-1 % (= NS)	excellente	1 A
1-5 % (= faible)	bonne	1 B
5-20 % (= moyenne)	moyenne	2
20-35 % (= forte)	médiocre	3
> 35 % (= très forte)	mauvaise	HC

Sur les 4 campagnes d'échantillonnage du premier cycle annuel et pour l'ensemble des stations suivies, les prévalences des lésions externes se sont échelonnées entre 1.7 et 25.7 % (Fig. 67). Sur la totalité des lésions constatées, 63.8 % étaient de faible intensité, 27.5 % d'intensité moyenne et 4.3 % d'intensité forte.

Le microparasitisme cutané est frustre, il se résume à deux groupes de parasites, uniquement observés lors des campagnes de décembre et mars (dans des abondances faibles : deux protozoaires ciliés, *Trichodinella* sp. et *Trichodina* sp., et un monogène *Gyrodacylus* sp.

Le microparasitisme interne est quasiment nul et se résume à la présence d'un monogène Pseudodactylogyrus sp., observé sur la branchie d'une anguille.



	Grilles de Classification	
	GIRARD (1988)	KARR (1986)
juin-08	bon	détérioré
sept-08	mauvais	précaire
déc-08	bon	bon
mars-09	médiocre	précaire

Figure 67. Taux de prévalence des nécroses et parasitisme externe observé sur les échantillons de poissons sur les 4 campagnes d'échantillonnage au cours du premier cycle annuel et classification de la qualité des eaux (selon Girard, 1988) et de la santé du peuplement (selon Karr, 1986).

En se référant à ces grilles de classification, septembre et mars sont les périodes où les peuplements de poissons témoignent d'une qualité de milieu plus dégradée. La saisonnalité de la prévalence de certaines pathologies est mise en évidence, probablement liée à l'augmentation estivale de la température et aux épisodes d'hypoxie. A noter que ces « codes pathologie » ont été établis pour les milieux fluviatiles, et qu'il n'existe pas à ce jour de référence sur les milieux de transition. Ces résultats seront donc à valider par la suite à l'issue du second cycle annuel, et par comparaison avec d'autres milieux lagunaires.

7.2 Suivi des pêcheries

Le suivi des pêcheries a démarré en avril 2009, pour une durée de deux ans. Cette étude a pour objet de décrire la pêcherie de l'étang de Berre et d'analyser quantitativement sa production. La mise en œuvre du suivi s'appuie sur 5 volets :

1- Caractérisation préalable de la pêcherie

2- Analyse des déclarations volontaires des captures par les pêcheurs auprès des Affaires Maritimes

3- Enquêtes de débarquements à quai dans les différents ports de pêche de l'étang

4- Enquêtes par embarquements d'enquêteurs scientifiques au moment des pêches

5- Evaluation de l'effort de pêche

La méthodologie retenue permettra de comparer les résultats obtenus avec ceux publiés dans une précédente étude de la pêcherie de l'étang de Berre réalisée en 1987-1988 (Le Corre et Garcia, 1989), seule référence récente disponible. Les résultats seront également comparés avec les pratiques et les captures effectuées dans d'autres lagunes méditerranéennes.

La première phase de l'étude a consisté à caractériser l'activité de pêche dans l'étang de Berre, sur la base des connaissances disponibles dans la littérature et d'un premier volet d'enquêtes auprès des professionnels, approchés dans les principaux ports de débarquements. La mise au point du questionnaire d'enquête ainsi que la stratégie d'échantillonnage, dans le temps et dans l'espace des enquêtes se sont appuyés sur les choix méthodologiques décrits dans Le Corre et Garcia (1989).

Pour la stratégie d'échantillonnage, 4 ports principaux (Martigues, Saint-Chamas, Berre, Marignane) et 3 ports secondaires (La Mède, Istres, Champigny) ont été retenus ; ils correspondent aux stations « strates » identifiées dans Le Corre et Garcia (1989).

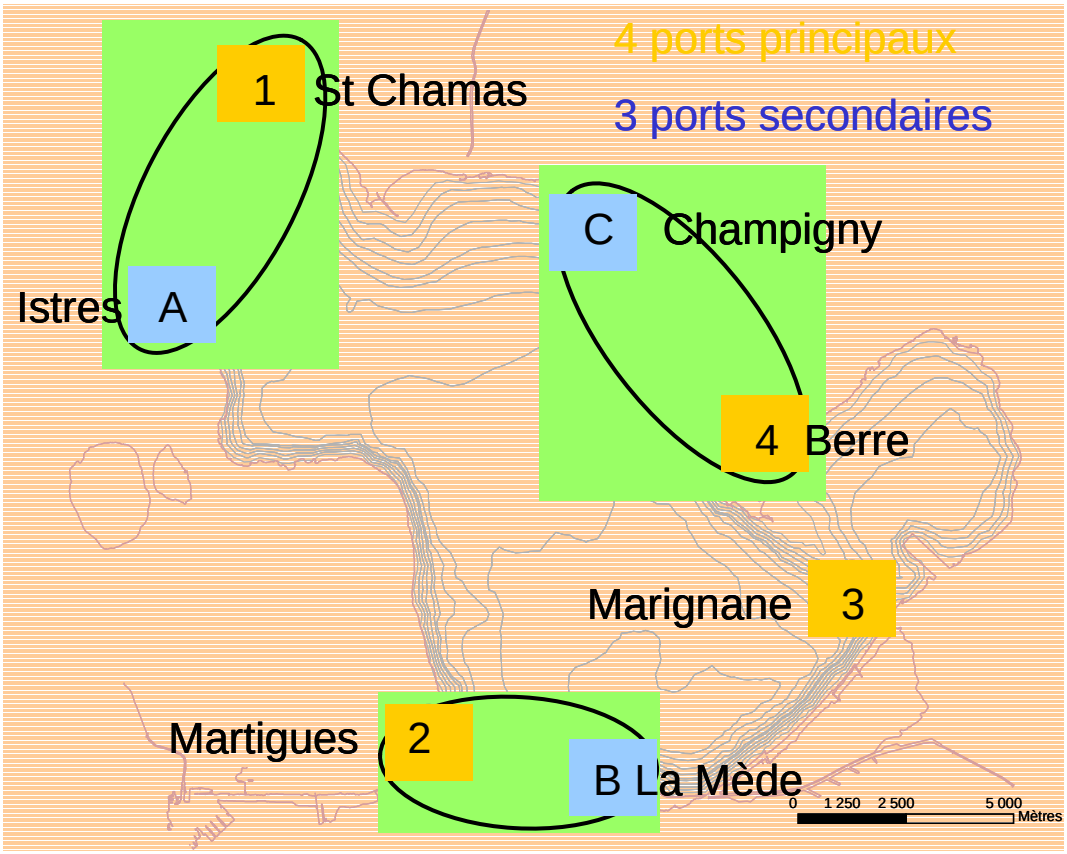


Figure 68. Ports échantillonnés dans le cadre du suivi des pêcheries de l'étang de Berre.

Sur la durée de l'étude, 120 jours d'enquête soit 24 j X 4 saisons + 1 saison supplémentaire au moment de la période privilégiée de capture des anguilles ont été prévus. La fréquence d'échantillonnage retenue en 1987-1988 (5 sorties hebdomadaires, pendant deux ans), très lourde, ne se justifiant plus au regard du nombre de pêcheurs encore en activité sur l'étang.

32 pêcheurs professionnels, en activité sur l'étang de Berre, ont été identifiés. A ce stade 22 d'entre eux ont accepté de participer à cette première série d'enquêtes ; Saint-Chamas, Martigues et Berre étant les ports d'attache les mieux représentés (Tableau 38). En 1988, la flottille active comptait 118 bateaux se répartissant comme suit : 44 à Martigues, 26 à Saint-Chamas, 23 à Berre, 20 à Marignane et 5 à Istres.

Tableau 38. Principaux Ports d'attache des 22 pêcheurs interrogés.

Port d'attache	St Chamas	Martigues	Marignane	Berre	Port St Louis	Istres	Chateauneuf	Champigny
Nombre de pêcheurs interrogés	7	5	2	3	1	2	1	1

En 2009, l'âge moyen de ces pêcheurs est de 45 ans (de 24 à 71 ans), les plus âgés sont en activité sur l'étang depuis 1948. Notons que 71% d'entre eux sont issus d'une famille de pêcheurs, travaillant déjà dans l'étang de Berre. L'activité semble donc issue d'un ancrage familial et local fort.

Ils possèdent 1 à 2 embarcations de 6 m de longueur en moyenne (un règlement prudhomal limite la taille des embarcations à la pêche dans l'étang de Berre à 10m). Ce sont des barges stratifiées, de faible tirant d'eau, en moyenne motorisées de 115 Cv. Ces caractéristiques sont très similaires à celles relevées en 1987-1988.

Les principaux métiers pratiqués n'ont pas changé depuis 1987-1988. L'essentiel de l'activité est réalisée avec la capechade (ou trabaque) à poste fixe (Tab. 39). Le taux d'équipement par pêcheur a cependant augmenté : 45 pièces en moyenne en 2009, 27 en 1988. Les autres métiers les plus employés sont les filets maillants et les cannes ; un certain nombre de métiers secondaires sont cités par les professionnels, ils n'étaient pas répertoriés dans l'étude de 1987-1988. 71% déclarent ne pêcher que dans l'étang de Berre, pour les autres, l'étang de Berre constitue encore 80% de leur chiffre d'affaires. Tous tirent le principal de leurs revenus de la capéchade.

Tableau 39. Métiers pratiqués dans l'étang de Berre, part en temps de travail et part en chiffre d'affaires, espèce cibles et captures annuelles moyennes des pêcheurs professionnels interrogés en 2009 (n=22).

Principaux métiers pratiqués (en gras) et métiers secondaires	Part en temps de travail	Part en CA	Espèce-cible	Moyenne des captures (t/an)
Capéchade	78 %	83 %	anguille	7.5
Filet droit (lignole) **Filet encerclant (seinche)** **Filet trémail**	31 %	30 %	Daurade Loup Muge sole	1.1 0.9 6.1 0.1
Canne avec leurre **Palangre**	3 %	3 %	Loup	0.2
Casiers (cerf-volant)				
Senne (Vauguier)				
Sardinale				
Moulinet (thon)				
Calin				
Filet à Merlan				
Filet à Sole				

Depuis 1988, les espèce-cibles sont restées très sensiblement les mêmes : anguilles, muges, loup. On note toutefois, que les daurades et les soles, classées dans les prises accessoires en 1987-1988, font maintenant partie des espèces-cibles.

Enfin, la répartition des métiers au cours de l'année est également très similaire (Fig. 69) : utilisation des capéchades et des filets maillants tout au long de l'année (avec une compensation de la baisse de la pêche à l'anguille en juillet-août par une utilisation accrue des filets), utilisation saisonnière des cannes au printemps et en été.

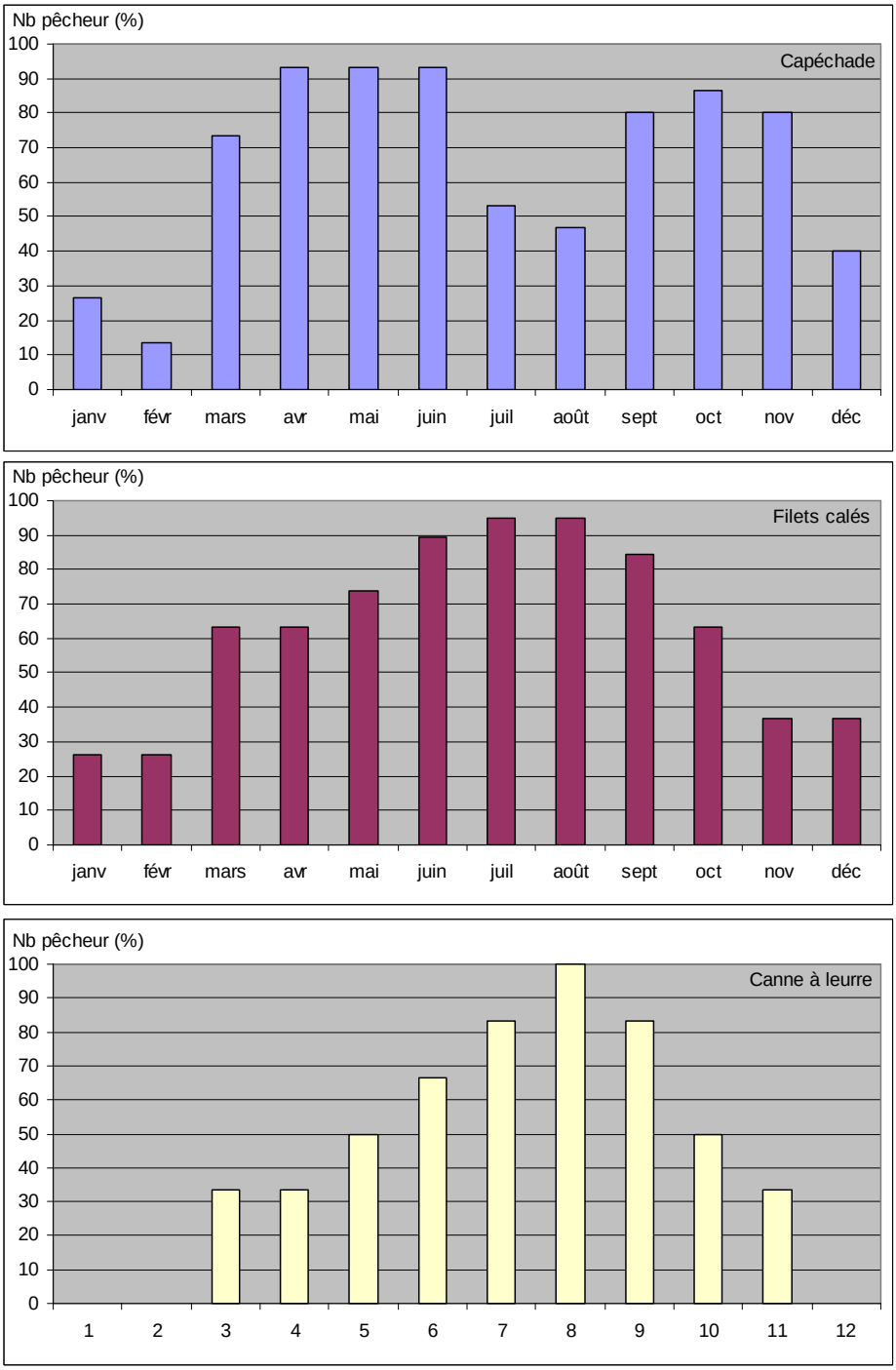


Figure 69. Répartition annuelle de l'utilisation des principaux métiers dans l'étang de Berre

Les Figures 70, 71, 72 présentent la répartition spatiale des zones de pêches pour les principaux métiers.

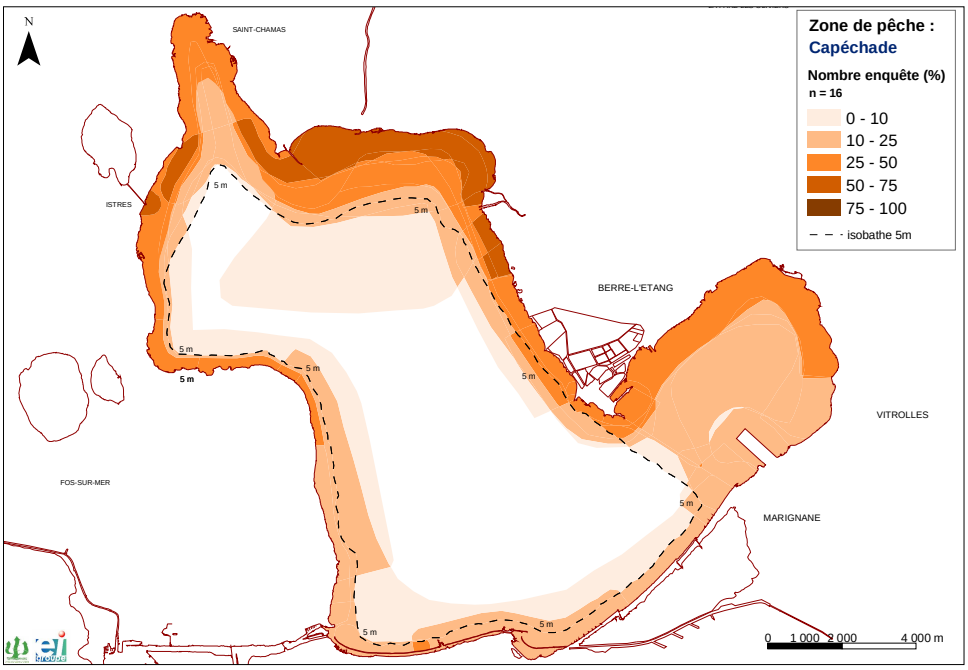


Figure 70. Localisation des zones de pêche à la capétchade en 2009.

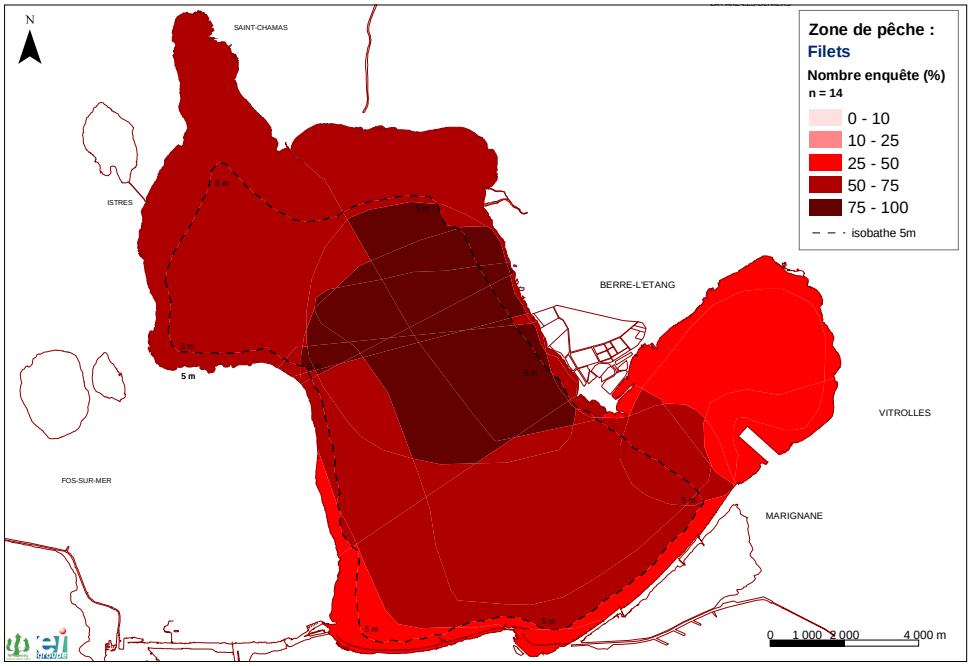


Figure 71. Localisation des zones de pêche au filet en 2009.

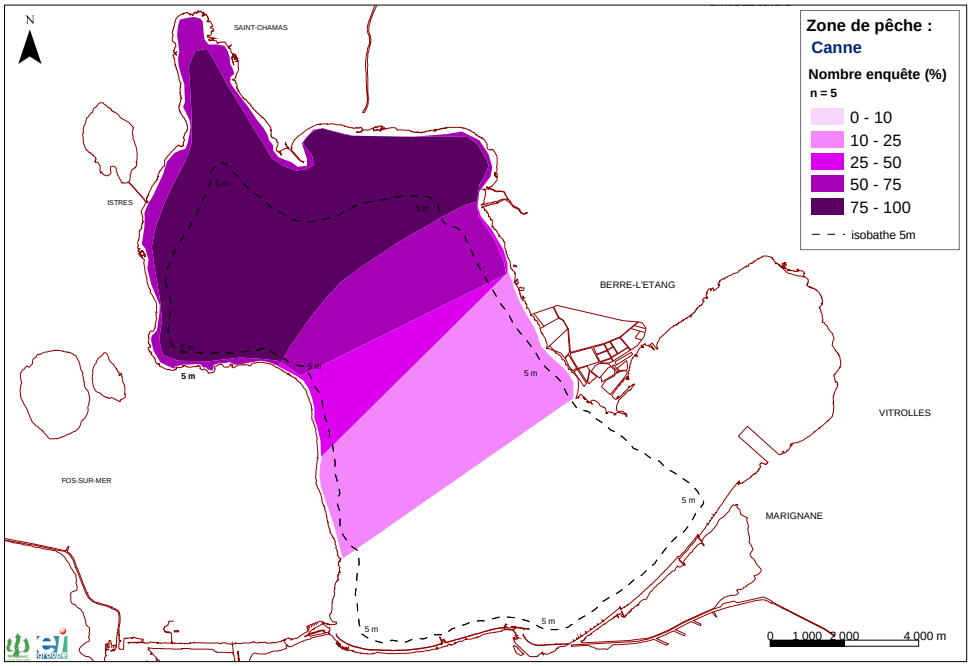


Figure 72. Localisation des zones de pêche à la canne en 2009.

En 1987-1988, l'essentiel de l'activité de ligne de traîne restait concentrée dans le chenal de Caronte ou à proximité pour le passage des loups. On note que cette activité s'est récemment développée dans le nord de l'étang (Fig. 72).

Enfin, de la même façon qu'en 1987-1988, le circuit de vente passe essentiellement par les mareyeurs (puis la criée) en relation avec les espèces pêchées (*e.g.* anguilles).

La seconde partie de l'étude sera consacrée aux enquêtes de débarquements, ainsi qu'aux embarquements avec les professionnels. Les débarquements seront réalisés selon la même méthodologie que celle employée en 1987-1988, et rapportés aux différents secteurs de l'étang de Berre (Fig. 73), dont le découpage s'est également basé sur celui défini en 1987-1988. Les chiffres de production pourront alors être directement comparés entre les deux études.

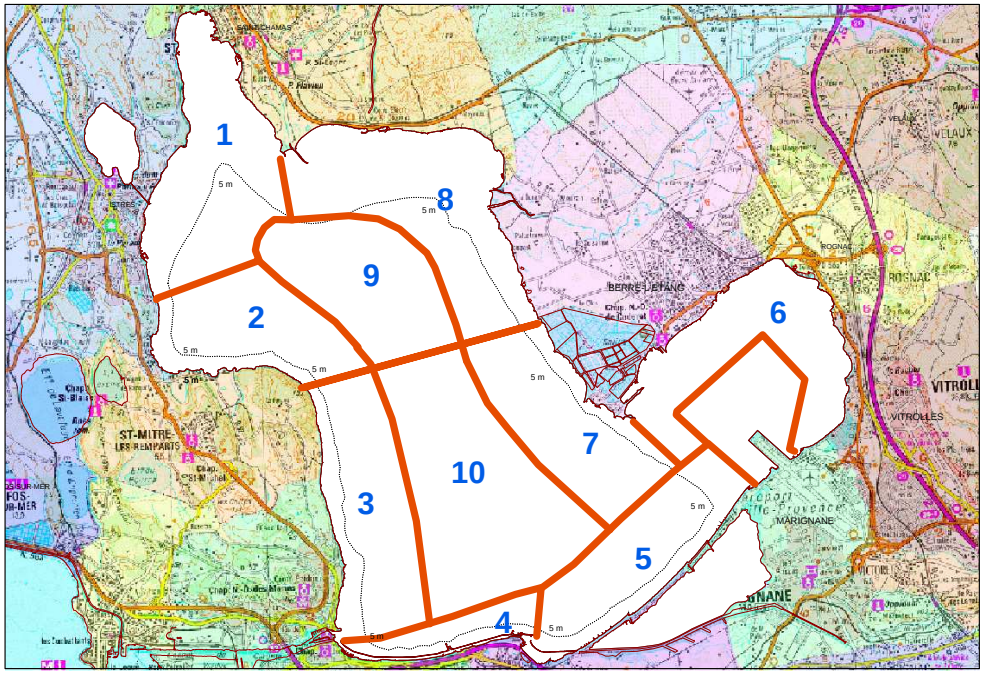


Figure 73. Localisation des 10 secteurs retenus pour la caractérisation de l'effort de pêche et de la production dans l'étang de Berre (modifiée d'après Le Corre et Garcia, 1989).

Enfin, l'évaluation de l'effort de pêche et sa cartographie seront réalisées, comme en 1987-1988, par des survols aériens.

7.3 Conclusion sur l'inventaire ichtyologique

L'inventaire ichtyologique réalisé par des pêches expérimentales et le suivi des pêcheries constituent deux volets complémentaires de l'évaluation des stocks.

Le premier cycle annuel de l'inventaire ichtyologique a permis de recenser 35 espèces de poissons (dont certaines qui ne sont que très ponctuellement présentes) et 6 espèces de crustacés. Un premier niveau de fluctuations saisonnières a été mis en évidence dans la composition et l'abondance du peuplement (appauvries durant la saison froide, maximales au printemps), fluctuations cohérentes avec ce qui était attendu au regard des connaissances sur le fonctionnement des lagunes. A ce stade, seules 2 stations se différencient significativement : Martigues, plus proche des entrées d'eaux marines, et la Poudrière plus confinée au nord de l'étang. L'analyse des guildes fonctionnelles montre une influence de la saison sur l'abondance des espèces selon leur régime trophique et leur comportement écologique (espèces pélagiques, benthiques ou démersales), variations là encore habituelles en milieu lagunaire.

Parmi l'ensemble des espèces collectées, les gobies et les atherines, de petite taille, présentent de très grands effectifs. Ces espèces constituent une part importante de la biomasse et servent de base à l'alimentation d'autres espèces (poissons fourrage). Pour autant, avec près de 70 % de planctonophages ou consommateurs d'invertébrés benthiques ou omnivores, le peuplement ichtyologique de l'étang de Berre semble dominé par les espèces carnivores. Les grands ichtyophages n'y sont que peu représentés. Notons, toutefois, que la sélectivité des engins employés s'exerce au détriment des espèces de grande taille qui évitent ce type d'engins. Ainsi, si l'échantillonnage privilégie la capture des petits benthiques il semble sous-estimer fortement celle des démersaux et des pélagiques.

Des analyses sanitaires ont été réalisés à chaque campagne de l'inventaire ichtyologique en se basant notamment sur les taux de nécroses externes et le parasitisme externe et interne des poissons échantillonnés. Bien que ces approches n'aient pas été développés pour les eaux de transition et qu'il n'existe pas de référence dans ces milieux, ces analyse indiquent en premier résultat un état de santé de l'ichtyofaune globalement médiocre (plus particulièrement durant les périodes chaudes), certains paramètres du milieu comme la température et l'oxygénation des eaux pouvant avoir des incidences sur la santé des poissons. La seconde année de suivi devrait permettre de valider ces résultats ; une comparaison avec ceux d'autres lagunes méditerranéennes est nécessaire.

Le choix méthodologique opéré pour les pêches expérimentales de l'inventaire icthyologique (filet sélectif ciblé sur les petites tailles) ne permet pas de traduire les listes d'espèces obtenues en production. C'est pourquoi le suivi de l'activité de pêche vient compléter cet inventaire.

La pêcherie dans l'étang de Berre est essentiellement centrée sur l'exploitation d'espèces lagunaires (anguilles, muges) et d'espèces marines effectuant une partie de leur cycle de vie en lagune (loup, daurade). L'activité, en terme d'espèces-cibles et de principaux métiers, semble avoir globalement peu évoluée depuis la fin des années 1980, en revanche la taille de la flottille active a fortement diminuée.

Comme pour la plupart des lagunes méditerranéennes françaises, la pêcherie de l'étang de Berre reste une pêcherie « à risques », contrainte par sa dépendance au milieu extérieur pour le recrutement des juvéniles (anguille), le faible nombre d'espèces-cibles (l'essentiel de la production est basé sur 4 espèces) ce qui limite les possibilités de report d'effort et, enfin, les contraintes liées au milieu (eutrophisation, crises anoxiques estivales).

Le suivi des pêcheries en est a sa phase initiale, il se déroulera sur deux ans, à l'issue desquels une estimation de l'effort de pêche et de la production pourra être fournie.

8 CONCLUSIONS

Suivi des apports et de la salinité

Au cours des 4 exercices annuels 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009, l'ensemble des contraintes sur les apports des centrales de Salon-St Chamas à l'étang de Berre a été respecté (quotas annuels et hebdomadaires en eau, quotas annuels en limons et objectifs annuels de salinité). Les 3 premières années ont été globalement marquées par des conditions de sécheresse et une limitation dans la gestion prévisionnelle des turbinages par le quota en limons, alors que la dernière année caractérisée par une hydrologie nettement plus élevée a été globalement limitée par les objectifs de salinité.

Le bilan des contraintes réglementaires sur les 4 exercices annuels est récapitulé dans le tableau suivant :

Apports à l'étang de Berre	**2005/2006**	**2006/2007**	**2007/2008**	**2008/2009**	**seuil réglementaire**
Apports en eau totaux (Mm^3)	**788**	**841**	**666**	**1058**	**1200 maxi**
% quota liquide	66%	70%	56%	88%	**100% maxi**
Objectif de salinité 15 g/l	n.d	100%	100%	99.9%	**95% mini**
Objectif de salinité 20 g/l	n.d	98.8%	99.9%	77.8%	**75% mini**
Apports en limons totaux, exceptionnels compris (tonnes)	**46 843**	**41 411**	**63 816**	**45 199**	
Apports en limons comptabilisés dans le quota annuel (tonnes)	45 632	40 756	57 011	43 740	**60 000 maxi**
% quota solide	76%	68%	95%	73%	**100% maxi**

Ces quatre années d'acquisition de mesures et de suivi depuis la mise en place du lissage ont permis de connaître le fonctionnement hydrodynamique de l'étang, notamment l'influence de la distribution des turbinages et de l'action des vents sur la dynamique de la masse d'eau, les échanges par le chenal de Caronte et l'évolution de la salinité. Un modèle hydrodynamique 3D de l'étang a pu être validé, et un modèle opérationnel de gestion des turbinages par la salinité est utilisé par l'exploitant EDF.

Les mesures de salinité acquises confirment la maîtrise de ce paramètre avec la quasi totalité des valeurs moyennes hebdomadaires supérieure à 20 g/l ; les valeurs inférieures

étant dues pour l'essentiel à la période particulière de l'hiver 2009 marquée par un cumul de turbinages liés aux travaux sur le seuil 68 en Durance et à des apports naturels à l'étang conséquents.
L'analyse des données de salinité montre que l'évolution de ce paramètre est globalement homogène sur l'ensemble des stations ; il n'y a pas de net découpage horizontal de la masse d'eau. Toutefois, ponctuellement et en fonction du régime des vents, des stations relativement plus sensibles à l'influence des turbinages et des entrées d'eau marines présentent des évolutions particulières : les stations du Ranquet, de St-Chamas et SA1 (station centrale nord) sont plus sensibles aux apports d'eau douce en surface ; les stations SA3 (station centrale sud), du canal de Caronte et des Trois-Frères sont plus sensibles à l'intrusion du coin salé en profondeur.
La variabilité de la salinité est essentiellement fonction de la profondeur : les profils de salinité montrent une structure bicouche de l'étang, avec une stratification aux alentours de 6-7 m de fond. Cette stratification haline réduit les échanges diffus d'oxygène dissous entre la couche plus profonde et plus salée et le reste de la masse d'eau et peut conduire à des hypoxies (voire anoxies) dans la couche profonde. On note également parfois l'apparition d'un gradient de salinité en surface sous l'influence de turbinages cumulés.
Par ailleurs, l'analyse de l'évolution de la salinité au fil des 4 ans tend à montrer qu'à l'échelle de l'année l'équilibre en sel de l'étang dépend plus de la distribution des apports d'eau douce au cours de l'année que du volume annuel de ces apports, confirmant l'intérêt du lissage.

Enfin, les analyses de qualité d'eau ont permis de confirmer que les eaux du canal EDF sont de bonne qualité (aucune mesure de substance dangereuse supérieure aux normes de qualité), et de réviser avec les nouvelles modalités d'exploitation leurs apports à l'étang en azote et phosphore.

Evolution des populations d'herbiers de *Zostera noltii*

Au début de l'expérimentation, les herbiers de zostères sont présents à l'état de reliques, restant cantonnés à 2-3 sites dans l'étang.
Depuis 2006, on ne note pas de recolonisation sur les autres stations suivies, les herbiers ne subsistant que sur deux sites de l'étang. Sur ces sites témoins, les herbiers ne constituent pas de ceinture continue et restent sous la forme de taches semi-circulaire différenciées, de taille métrique à décamétrique. Leur extension est limitée aux fonds de profondeur inférieure à 1.2 m. Depuis 2006, après un épisode de régression en 2007 qui a conduit à la quasi

disparition de *Zostera* sur le site de l'Arc, en 2008 et 2009 elle est de nouveau présente sur ce site. Sur le site de Berre, les surfaces couvertes ont progressé depuis 2007. Cette progression s'est exprimée par la croissance de la taille individuelle des taches les plus grandes, ainsi que par le développement de petites taches, probablement issues de la dispersion de propagules (boutures ou graines).
Les surfaces couvertes en 2009, sur les sites témoins, ne représentent toutefois qu'une très faible proportion de la surface potentiellement colonisable (respectivement 0.2 et 3.7% pour les sites de l'Arc et de Berre).
Au cours de la série temporelle, les paramètres de vitalité des herbiers en place (densités de faisceaux, biomasses) sont faibles comparativement à d'autres lagunes méditerranéennes. Ces paramètres ont montré une relative stabilité entre 2006 et 2008 mais ont été en diminution au cours de l'été 2009. Cette diminution semble avoir accompagné une dégradation des conditions lumineuses en 2009 (plus particulièrement marquée sur le site de l'Arc).
Indépendamment de la salinité dont les gammes de valeurs sont compatibles avec le maintien et le développement de ces populations, plusieurs facteurs peuvent influer sur la dynamique de *Zostera noltii*. Parmi ceux-ci la lumière doit jouer un rôle important. Globalement suffisante à la profondeur des herbiers, elle apparaît ponctuellement en dessous des seuils donnés pour leur survie. Des conditions lumineuses dégradées peuvent notamment contribuer à maintenir les herbiers à un niveau de vitalité qui ne leur permette pas de faire face à d'autres facteurs de pression plus locaux (remise en suspension des sédiments superficiels par agitation de l'eau sous l'effet du vent et induisant localement une augmentation de la turbidité, compétition inter-spécifique, épibiontes, *etc*..). De tels évènements peuvent maintenir les herbiers dans un état de fragilité.

Une opération de réimplantations expérimentales de Zostera *noltii* et Z. *marina* a été réalisée en juin 2009. Le suivi des transplants est actuellement en cours.

Evolution des populations de moules *Mytilus galloprovincialis*

La gamme de salinité de l'étang au cours de la période considérée est compatible avec la présence permanente, la croissance et la reproduction des populations de moules. Leur développement peut néanmoins être perturbé dans les zones les plus profondes en raison du déficit chronique en oxygène. Les populations semblent globalement contraintes par la bathymétrie, les effectifs diminuant régulièrement avec la profondeur. On note aux sites de suivi des moulières l'absence de contamination organique des sédiments.

Les populations de moules ont été fortement affectées par une anoxie sévère au mois de juillet 2006, touchant toutes les zones de l'étang, mais une recolonisation s'est opérée par la suite, témoignant de la capacité de reproduction des populations. Néanmoins, on observe à partir de juillet 2007 une représentation plus limitée des grands individus (de plus de 1 an). Pourtant, le suivi d'échantillons standardisés montre des taux de croissance importants et réguliers, au moins sur la période estivale (juillet - août). Des épisodes d'anoxie, notamment au printemps et en été, pourraient donc être à l'origine de mortalités des individus en place expliquant ainsi la faible représentativité des grandes tailles.

Les analyses biométriques et le captage des naissains mettent en évidence des cycles de reproduction des populations en place, le recrutement de juvéniles et la croissance des individus.

La présence en abondance de l'espèce invasive *Musculista senhousia* est à noter. Un suivi a été mené afin de déterminer l'influence du développement de cette espèce sur les populations de *Mytilus galloprovincialis*, notamment en termes d'occupation des substrats pour la fixation des larves et le développement des organismes. L'évolution des effectifs de *Mytilus galloprovincialis* et de *Musculista senhousia* dénombrés depuis mai 2007 n'indique pas clairement le caractère invasif de *M. senhousia*; l'espèce autochtone *M. galloprovincialis* restant, à l'exception du prélèvement de mai 2007, largement majoritaire de juillet 2007 à juillet 2009.

Evolution des peuplements de la macrofaune benthique

La macrofaune benthique dans l'étang de Berre est caractérisée par des richesses spécifiques et des abondances faibles (dans un état majoritairement « mauvais » à « pauvre » selon l'indice M-AMBI tel qu'utilisé actuellement dans le cadre de la DCE ; des ajustements de cet indice par typologie des lagunes sont à l'étude). Les peuplements de la bordure côtière ont régressé lors des épisodes d'anoxies qui ont touché une grande partie des fonds de l'étang, à plusieurs reprises, au cours de la série temporelle (principalement en période estivale, en lien avec la stratification et l'eutrophisation des eaux de surface). Dès que les conditions d'oxygénation se sont améliorées, ces peuplements ont retrouvé leurs niveaux antérieurs (richesse spécifique, densités), ce qui témoigne de leur potentialité de développement si les conditions étaient favorables.

Dans la zone centrale et profonde, soumise à la stratification haline et donc à des anoxies récurrentes (au-dessous de 6 m de profondeur), on note l'absence de peuplement fonctionnel de la macrofaune benthique, voire l'absence de tout individu vivant pendant plusieurs mois.

Les espèces présentes dans l'étang de Berre appartiennent à la biocénose Lagunaire Eurytherme Euryhaline (LEE) ; cet assemblage s'appauvrit en s'éloignant du rivage vers le large, avec l'augmentation de profondeur. La présence d'espèces à affinité marine (constitutives de la biocénose des Sables Vaseux de Mode Calme, SVMC) n'est notée qu'à proximité du débouché du chenal de Caronte, qui relie l'étang avec le golfe de Fos. La localisation et l'étendue des différents assemblages n'ont pas montré de franche évolution entre 2004 et 2009.

Enfin, notons la présence, en forte proportion, de la moule introduite *Musculista senhousia* au sein du peuplement benthique. Si son caractère invasif n'est pas mis en évidence, il importe néanmoins de rester vigilant quant à l'impact que pourrait avoir le développement de cette espèce sur les espèces indigènes, notamment en termes d'occupation, voire de modification, des substrats.

Suivi ichtyologique

Les quatre premières campagnes d'inventaire ichtyologique ont été réalisées en juin 2008, sept. 2008, déc. 2008 et mars 2009.

En terme de captures, les observations montrent une variabilité saisonnière importante caractéristique des milieux lagunaires qui sont marqués par des mouvements migratoires d'un certain nombre d'espèces au cours de l'année. Les biomasses et abondances de poissons sont maximales au mois de juin et diminuent progressivement de septembre à mars.

Le peuplement de l'étang est globalement dominé par les gobies. Le reste du peuplement variable selon les saisons est constitué d'athérines, de sardines, d'anchois et de daurades.

Au cours de ce premier cycle annuel, des analyses sanitaires montrent des niveaux de pathologie variables. A noter que les indices associés à ces analyses n'ont pas encore été validés pour les eaux de transition, et qu'il n'y a pas de référence pour ce type de milieux. Si aucun lien de causalité ne peut être pour le moment mis en avant, il est toutefois permis de faire l'hypothèse qu'un stress important lié à des conditions de milieu difficiles en période

estivale (fortes température, phénomènes d'anoxie, *etc*.) est à l'origine du mauvais état général des individus observés en septembre.

D'une manière générale, pour les quatre campagnes effectuées, les échantillons sont constitués d'individus adultes de petite taille et de juvéniles de poissons, ainsi que de crevettes et crabes verts en quantité. La sélectivité des engins employés (capetchades type DCE) s'exerce au détriment des espèces de grande taille qui évitent ce type d'engins. Ainsi, si l'échantillonnage privilégie la capture des petits benthiques il semble sous-estimer fortement celle des démersaux et des pélagiques. Les pêcheurs professionnels mobilisés dans le cadre de l'inventaire ont formulé un certain nombre de remarques sur la structure des engins. Ils émettent des réserves quant à leur représentativité en ce qui concerne la biomasse de poissons pêchée, celle-ci semblant dérisoire, quelle que soit la saison ou la station, au regard des captures effectuées avec les filets traditionnels pour une même station. D'un point de vue quantitatif, les résultats acquis dans le cadre de l'inventaire ichtyologique ne peuvent donc être employés à des évaluations de production, et doivent être complétés par le suivi des pêcheries. Celui-ci a démarré en avril 2009. Une première phase de caractérisation préalable de la pêcherie tend à montrer à ce stade que l'activité, en termes d'espèces-cibles et de principaux métiers, a peu évoluée depuis 1987-1988.

Rappelons que l'évolution des peuplements, soumis à différents facteurs, est globalement difficile à évaluer à court terme ; le temps de réponse des peuplements à des changements de conditions du milieu doit s'évaluer sur plusieurs années.