

RESUME

Les lagunes méditerranéennes sont des milieux particulièrement soumis et sensibles au phénomène d'eutrophisation (enrichissement des eaux en sels nutritifs). L'impact de cette eutrophisation est amplifié par l'ensoleillement important qui caractérise ces régions, et peut avoir des effets dommageables tant au point de vue écologique, patrimonial qu'économique. Dans un but de surveillance et d'accompagnement aux actions de restauration ou d'aménagement, il était indispensable de mettre en oeuvre un outil opérationnel pour suivre l'évolution de ces milieux du point de vue de l'eutrophisation. A terme, cet outil devait permettre de classer les lagunes concernées suivant cinq états d'eutrophisation, formalisés par des couleurs, allant du « très bon » (pas d'eutrophisation) au « très mauvais » (très eutrophisé).

 **Très bon** **Bon** **Passable** **Mauvais** **Très mauvais**

L'enjeu de cette étude a consisté à mettre à jour des indicateurs de l'état et/ou du niveau d'eutrophisation de ces écosystèmes qui puisse être fiable, applicable à différents types de lagunes et utilisable en routine à des coûts raisonnables.

Pour ce faire, la présente étude a procédé en trois phases :

1. Caractérisation et validation de variables pertinentes, indicatrices du niveau d'eutrophisation des écosystèmes lagunaires
2. Construction d'un outil de diagnostic basé sur les variables retenues, intégrées dans des grilles de lecture,
3. Test de l'outil et analyse de sa sensibilité et de ses limites.

1. Caractérisation et validation des variables indicatrices

Les résultats d'une étude bibliographique avaient identifié des indicateurs (physiques, chimiques et biologiques) potentiels de l'eutrophisation à travers les différents compartiments de l'écosystème lagunaire (phytoplancton, macrophytes, macrofaune benthique, sédiments, eau). Dans cette première phase, le groupement IFREMER-Université de Montpellier II-CREOCEAN a eu pour objectif de valider un certain nombre de ces variables par des mesures et des expérimentations sur le terrain.

Dans ce but, neuf lagunes ont été sélectionnées pour constituer un pool de référence représentatif de la diversité des écosystèmes (topographie, régime hydraulique, physico-chimie, écologie, utilisation) et des niveaux d'eutrophisation rencontrés sur le littoral méditerranéen. Il s'agit des étangs de Salses-Leucate, de Bages, de l'Ayrolle, de Campagnol, de Gruissan, de Thau, de l'Ingril, du Grec et de l'Or, les plus grandes de ces lagunes ayant été découpées en plusieurs secteurs pour tenir compte de l'hétérogénéité des milieux. Des campagnes de mesures ont été menées mensuellement pendant un an (1998-99) pour la colonne d'eau et le phytoplancton, en février 1999 pour la faune benthique et au cours l'été 1999 pour les sédiments et la macroflore.

L'analyse croisée des résultats par variable et par lagunes a permis de sélectionner, pour chaque compartiment, les variables pertinentes pour caractériser l'état et/ou le niveau de l'eutrophisation (ci-dessous).

Variables sélectionnées pour caractériser l'état et le niveau d'eutrophisation des lagunes

Sédiments	Phytoplancton	Macroflore	Macrofaune benthique	Colonne d'eau
Matière organique	Nb.cellules < 2 µm	Biomasse relative des espèces climax	Richesse spécifique	Oxygène dissous Turbidité Orthophosphates Nitrites Nitrates Ammonium Chlorophylle a Chlorophylle a/ phéophytine Azote total Phosphore total
Azote total	Nb.cellules > 2 µm		Densité de population	
Phosphore total		Diversité totale		

Cependant, l'ensemble de toutes les autres variables non retenues (granulométrie des sédiments, profondeur, biomasse totale des macrophytes ou des algues vertes, rouges et brunes, ...) restent indispensables pour analyser et interpréter les résultats et doivent être toujours mesurées en complément.

2. Construction de l'outil

La construction de l'outil de diagnostic repose sur l'hypothèse que les variables caractérisant la colonne d'eau sont facilement mesurables en routine et permettent l'élaboration d'une grille de lecture donnant le niveau d'eutrophisation d'une lagune et d'un secteur de lagune. De plus, les variables de la colonne d'eau intègrent à la fois les causes (concentrations en sels nutritifs) et les conséquences (chlorophylle, turbidité, oxygène dissous) de l'eutrophisation. Cette construction s'est réalisée en deux étapes.

Diagnostic de l'eutrophisation

Cette étape a consisté à finaliser la définition des états de l'eutrophisation à partir des variables biologiques (phytoplancton, macrophytes et macrofaune benthiques) et celles associées au sédiment très intégratrices dans le temps. Ces variables caractérisent plutôt les conséquences de l'eutrophisation, exprimant les états de dégradations des compartiment concernés. Pour chaque variables, les seuils de cinq classes de qualité, allant du bleu (très bon) au rouge (très mauvais) ont été définis. Les résultats pour chaque écosystème peuvent être rassemblés dans une planche qui conduit à un état global de l'écosystème en terme d'eutrophisation.

PLANCHE DE RESULTATS				
SEDIMENTS				
PHOSPHORE SEDIMENTS				
		PHYTOPLANCTON		
		MACROPHYTES		
		PROLIFERATIONS		
		POTENTIALITE BIOLOGIQUE MACROFAUNE		
ETAT GENERAL DE L'EUTROPHISATION				
Légende : Très bon Bon Passable Mauvais Très mauvais				

L'ensemble des résultats rassemblés dans cette planche permet d'identifier sommairement dans quel(s) compartiment(s) les éventuelles dégradations entraînées par le niveau d'eutrophisation se font sentir. Cette planche doit être accompagnée de l'interprétation d'un expert. La détermination de l'état général de l'écosystème par rapport à l'eutrophisation est effectuée en considérant l'état le plus déclassant des variables actives (en rouge).

Ce diagnostic a permis de classer les neuf lagunes du pool de référence en fonction de leur état d'eutrophisation. Les résultats obtenus sont fortement cohérents avec l'historique physico-chimique et écologique de ces lagunes.

Elaboration de l'outil

Chaque lagune ou secteur de lagune dont a été diagnostiqué l'état d'eutrophisation est munie d'une base de données comprenant les variables retenues pour la colonne d'eau. Ce couple de données permet l'élaboration de seuils (les seuils sont différents selon que l'on considère l'ensemble de l'année ou les mois d'été). L'ensemble des variables sont formalisées dans une grille de lecture (ci-dessous). Pour chaque lagune, les états issus de la grille doivent être les mêmes que ceux issus du diagnostic.

Grille de lecture de la colonne d'eau pour les mois d'été

			BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
$ \Delta\%O_2 \text{ SAT} $		0		20		30		40		50	
TUR	(NTU)	0		10		20		30		40	
PO_4^{3-}	(μM)	0		0,3		1		1,5		4	
NID	(μM)	0		15		20		40		60	
NITRI	(μM)	0		0,5		1		5		10	
NITRA	(μM)	0		7		10		20		30	
AMMO	(μM)	0		7		10		20		30	
Chl-a	(mg m^{-3})	0		5		7		10		30	
Chlaphe	(mg m^{-3})	0		7		10		15		40	
NT	(μM)	0		50		75		100		120	
PT	(μM)	0		1		2		5		8	

Des grilles ont été remplies pour l'ensemble de l'année et chaque mois d'été pour toutes les lagunes du pool de référence. Malgré des seuils plus sévères pour les mois d'été, les grilles effectuées sur l'année et les mois d'été ont montré une bonne cohérence. Des ajustements (reclassement) sont apparus nécessaires pour les eaux de fond des lagunes profondes (Thau).

En routine, la détermination de l'état de l'eutrophisation à partir de la colonne d'eau s'effectue en remplissant la grille pour chaque mois d'été. La grille de lecture permet de guider l'interprétation de l'expert sur le niveau d'eutrophisation. L'état général pour une lagune ou un secteur de lagune est obtenue selon un procédure bien définie.

3. Test de l'outil

L'outil, grille de lecture de l'eau et diagnostic de l'eutrophisation, a été testé en l'appliquant à trois lagunes corses (étangs de Diana, Urbino et Biguglia), l'étang de La Palme (Aude) et une lagune atlantique (lagune de Grande-entrée, Iles-de-la-Madeleine, Canada). La comparaison entre les grilles estivales de la qualité de l'eau et le diagnostic de l'eutrophisation a permis de confirmer l'efficacité de l'outil, même dans le cas de la lagune de l'Atlantique. Cependant la validation de cet outil repose essentiellement sur son efficacité face aux variations interannuelles ; il semble donc indispensable d'engager un suivi de plusieurs de plusieurs des variables sur plusieurs années consécutives.

La sensibilité de l'outil, notamment la sensibilité des différents compartiments, a été analysée et discutée en fonction des sources potentielles de variabilité. La grille du sédiments s'est avérée la

moins sensible et tout changement d'état dans ce compartiment sera significatif d'une dégradation ou d'une restauration durable. A l'autre extrémité, le phytoplancton est le compartiment le plus sensible.

Cet outil a été conçu pour rendre compte de l'état et du niveau d'eutrophisation des lagunes méditerranéennes, et ne peut donc s'appliquer que dans ce cadre là. Sa conception très simple, en module, devrait faciliter son intégration dans un outil plus vaste intégrant également les aspects physiques (topographie, régime hydraulique, ...) et ceux liés à l'utilisation des milieux. Cette simplicité ne peut faire oublier la nécessité de recourir à des experts pour son application et l'interprétation des résultats.

Même s'il est opérationnel, l'outil ne saurait être considéré comme un produit fini. Sa validation ne pourra se faire que sur une base pluriannuelle, et il n'est pas exclu de modifier les variables de diagnostic ou les seuils retenus. Certains aspects soulèvent encore des questions et appellent à des compléments d'étude dans plusieurs compartiments.

SOMMAIRE

TOME I

INTRODUCTION

I - MATERIELS et METHODES

METHODE DE CONSTRUCTION DE L'OUTIL.....	4
CRITÈRES DE SÉLECTION DES LAGUNES ÉTUDIÉES (JEU DE RÉFÉRENCE).....	7
PRÉSENTATION DES LAGUNES	9
<i>Etang de l'Or</i>	9
<i>Etang du Grec</i>	9
<i>Etang d'Ingril</i>	9
<i>Etang de Bages</i>	15
<i>Etang de Campagnol</i>	15
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	16
<i>Etang de Gruissan</i>	16
<i>Etang de Thau</i>	19
<i>Etang de Leucate</i>	19
PRELEVEMENTS ET ANALYSES.....	24
SÉDIMENTS	24
<i>Prélèvements</i>	24
<i>Granulométrie</i>	24
<i>Potentiel d'oxydo-réduction</i>	24
<i>Matières Organiques</i>	25
<i>Azote Total dans les sédiments (NTS)</i>	25
<i>Phosphore Total dans les sédiments (PTS)</i>	25
PHYTOPLANCTON	27
<i>Prélèvements</i>	27
<i>Observations en microscopie</i>	27
<i>Cytométrie en flux</i>	27
MACROPHYTES	31
<i>Prélèvements</i>	31
<i>Traitement des échantillons</i>	32
MACROFAUNE.....	32
<i>Prélèvements</i>	32
<i>Traitement des échantillons</i>	32
COLONNE D'EAU	33

<i>Prélèvements</i>	33
<i>Température et salinité</i>	33
<i>Oxygène dissous</i>	34
<i>Turbidité</i>	34
<i>Transparence au disque de Secchi</i>	34
<i>Azote ammoniacal ou ammonium (NH₄⁺)</i>	35
<i>Nitrites (NO₂⁻)</i>	35
<i>Nitrates (NO₃⁻)</i>	35
<i>Phosphates (PO₄³⁻)</i>	36
<i>Silicates (Si)</i>	36
<i>Azote total (NTE)</i>	36
<i>Phosphore total (PTE)</i>	37
<i>Chlorophylles (a, b et c)</i>	37

Chapitre II – SEDIMENTS

TRAITEMENT DES DONNEES	41
DONNÉES BRUTES	41
RÉSULTATS	41
CARTOGRAPHIE.....	42
RESULTATS PAR VARIABLE	46
VARIABLES PHYSIQUES	46
<i>Profondeur</i>	46
<i>Particules fines ou vases</i>	52
<i>Sables fins</i>	55
<i>Sables grossiers</i>	56
<i>Potentiel d'oxydo-réduction</i>	58
VARIABLES CHIMIQUES	63
<i>Matière organique</i>	63
<i>Azote total dans les sédiments ou NTS</i>	69
<i>Phosphore total dans les sédiments ou PTS</i>	69
RESULTATS PAR ECOSYSTEME	72
<i>Etang de l'Or</i>	72
<i>Etang du Grec</i>	72
<i>Etang d'Ingril</i>	72
<i>Etang de Bages</i>	72
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	73
<i>Etang de Campagnol</i>	73
<i>Etang de Gruissan</i>	73
<i>Etang de Thau</i>	73
<i>Etang de Leucate</i>	74
DIAGNOSTIC ET CHOIX DES VARIABLES	75
VARIABLES PHYSIQUES	75
<i>Profondeur</i>	75
<i>Granulométrie</i>	75

<i>Potentiel d'oxydo-réduction</i>	75
VARIABLES CHIMIQUES.....	76
<i>Matière organique</i>	76
<i>Azote Total Sédiments (NTS)</i>	76
<i>Phosphore Total Sédiments (PTS)</i>	77
CONSTRUCTION DE LA GRILLE DE SEUILS.....	78
MATIÈRE ORGANIQUE.....	78
AZOTE TOTAL.....	78
PHOSPHORE TOTAL.....	78
DÉTERMINATION DE L'ÉTAT GÉNÉRAL.....	93
RESULTATS DES GRILLES DE QUALITE.....	95
<i>Etang de l'Or</i>	95
<i>Etang du Grec</i>	95
<i>Etang d'Ingril</i>	96
<i>Etang de Bages</i>	97
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	98
<i>Etang de Campagnol</i>	98
<i>Etang de Gruissan</i>	98
<i>Etang de Thau</i>	99
<i>Etang de Leucate</i>	102
DIAGNOSTIC DES SEDIMENTS.....	104

Chapitre III - PHYTOPLANCTON

INTRODUCTION.....	108
RESULTATS.....	109
OBSERVATIONS EN MICROSCOPIE.....	109
CYTOMÉTRIE EN FLUX.....	111
GRILLE DE SEUILS.....	115
<i>Etang de l'Or</i>	116
<i>Etang du Grec</i>	117
<i>Etang de l'Ingril</i>	117
<i>Etang de Bages</i>	118
<i>Etang de Campagnol</i>	119
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	119
<i>Etang de Gruissan</i>	119
<i>Etang de Thau</i>	120
<i>Etang de Leucate</i>	121
DIAGNOSTIC BASE SUR LE PHYTOPLANCTON.....	122

Chapitre IV - MACROPHYTES

TRAITEMENT GÉNÉRAL DES DONNÉES.....	125
DONNÉES BRUTES	125
TABLEAUX DE RÉSULTATS	125
CARTOGRAPHIE.....	125
RÉSULTATS GÉNÉRAUX	134
RÉSULTATS PAR ÉCOSYSTÈME	136
<i>Étang de l'Or.....</i>	<i>136</i>
<i>Étang du Grec</i>	<i>142</i>
<i>Étang d'Ingril.....</i>	<i>143</i>
<i>Étang de Bages.....</i>	<i>144</i>
<i>Étang de l'Ayrolle.....</i>	<i>151</i>
<i>Étang de Campagnol.....</i>	<i>153</i>
<i>Étang de Gruissan.....</i>	<i>155</i>
<i>Étang de Thau</i>	<i>157</i>
<i>Étang de Leucate.....</i>	<i>161</i>
DIAGNOSTIC DES VARIABLES	167
DIVERSITÉ.....	167
ESPÈCES INDICATRICES	167
<i>Les espèces Climax.....</i>	<i>167</i>
<i>Les algues dérivantes</i>	<i>168</i>
<i>Les algues vertes opportunistes.....</i>	<i>169</i>
CONSTRUCTION DU DIAGNOSTIC.....	169
RESULTATS.....	173
DIAGNOSTIC DES MACROPHYTES.....	182

V - MACROFAUNE BENTHIQUE

<u>TRAITEMENT GÉNÉRAL DES DONNÉES.....</u>	185
DONNÉES BRUTES	185
TRAITEMENT DES RÉSULTATS	185
<u>STRUCTURE GÉNÉRALE DES PEUPEMENTS</u>	<u>192</u>
<i>Densité totale.....</i>	<i>192</i>
<i>Richesse taxonomique</i>	<i>194</i>
<i>Diversité</i>	<i>194</i>
COMPOSITION GÉNÉRALE DES PEUPEMENTS.....	194
<i>Distribution des espèces selon leur embranchement.....</i>	<i>194</i>

<i>Distribution des espèces selon leur mode trophique</i>	195
LE PRINCIPE D'UN INDICE GLOBAL	198
<u>L'UTILISATION D'ESPÈCES INDICATRICES DE L'ÉTAT D'EUTROPHISATION DES MILIEUX LAGUNAIRES</u>	199
<u>LE RÉDOX : UNE MÉTHODE EFFICACE MAIS NON SPÉCIFIQUE</u>	199
DETERMINATION D'UN INDICE GLOBAL LAGUNAIRE	200
<u>DESCRIPTEURS SYNTHÉTIQUES</u>	200
<u>VALEURS SEUILS</u>	201
<i>Etape I : Caractérisation globale de la lagune</i>	201
<i>Etape II : Caractérisation de l'enrichissement trophique</i>	201
<i>Etape III : Caractérisation physique du milieu</i>	203
<i>Etape IV : Autres contraintes</i>	203
<u>CALCUL DE L'INDICE</u>	204
<i>SEO Eau</i>	204
<i>SEO Bio</i>	205
APPLICATION AUX LAGUNES ECHANTILLONNEES	207
<u>RÉSULTATS PAR LAGUNES</u>	207
<u>CLASSIFICATIONS DES LAGUNES</u>	222
SYNTHÈSE CRITIQUE DE LA MÉTHODE	223
CAS PARTICULIER DE PROLIFÉRATIONS	224

TOME II

Chapitre VI – COLONNE D'EAU

TRAITEMENT DES DONNÉES	228
DONNÉES BRUTES	228
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	228
RESULTATS PAR VARIABLE	230
VARIABLES PHYSIQUES	230
<i>Précipitations</i>	230
<i>Température de l'eau</i>	230
<i>Salinité</i>	231
<i>Oxygène dissous</i>	233
<i>Transparence au disque de Secchi</i>	235
<i>Turbidité</i>	236
VARIABLES CHIMIQUES	238
<i>Nitrates</i>	238
<i>Nitrites</i>	239

<i>Ammonium</i>	240
<i>Azote inorganique Dissous ou NID</i>	242
<i>Phosphates</i>	243
<i>Silicates</i>	244
<i>Azote Total Eau (NTE)</i>	246
<i>Phosphore Total Eau (PTE)</i>	248
CHLOROPHYLLES	249
<i>Chlorophylle-a</i>	250
<i>Phéophytine-a</i>	251
<i>Chlorophylles b et c</i>	251
<i>Rapports Chl-b/Chl-a et Chl-c/Chl-a</i>	251
DIAGNOSTIC DES ECOSYSTEMES	254
<i>Etang de l'Or</i>	254
<i>Etang du Grec</i>	255
<i>Etang d'Ingril</i>	256
<i>Etang Bages</i>	257
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	259
<i>Etang de Campagnol</i>	259
<i>Etang de Gruissan</i>	260
<i>Etang de Thau</i>	260
<i>Etang de Leucate</i>	262
DIAGNOSTIC DES VARIABLES	263
VARIABLES PHYSIQUES	263
<i>Paramètres météorologiques</i>	263
<i>Température</i>	263
<i>Salinité</i>	263
<i>Oxygène dissous</i>	264
<i>Profondeur Secchi</i>	264
<i>Turbidité</i>	264
VARIABLES CHIMIQUES	265
<i>Nitrates</i>	265
<i>Nitrites</i>	265
<i>Ammonium</i>	265
<i>Azote Inorganique Dissous</i>	265
<i>Phosphates</i>	266
<i>Silicates</i>	266
<i>Azote Total Eau (NTE)</i>	266
<i>Phosphore Total Eau (PTE)</i>	266
CHLOROPHYLLES	267
<i>Chlorophylles a et phéophytine-a</i>	267
<i>Chlorophylles b et c</i>	267

VII – DIAGNOSTIC PAR LAGUNE. ELABORATION DE LA GRILLE DE QUALITE DE L'EAU

<u>DIAGNOSTIC GENERAL PAR LAGUNE</u>	270
<u>COMPARAISON GENERALE</u>	271
<u>RESULTATS PAR ECOSYSTEME</u>	272
<i>Planches de résultats du diagnostic de l'eutrophisation</i>	272

<i>Etang de l'Or</i>	273
<i>Etang du Grec</i>	275
<i>Etang de l'Ingril</i>	277
<i>Etang de Bages</i>	279
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	282
<i>Etang de Campagnol</i>	283
<i>Etang de Guissan</i>	285
<i>Etang de Thau</i>	286
<i>Etang de Leucate</i>	288
ELABORATION DE LA GRILLE DE QUALITE DE L'EAU	289
RESULTATS	194
<i>Etang de l'Or Ouest</i>	295
<i>Etang de l'Or Est</i>	296
<i>Etang du Grec</i>	297
<i>Etang d'Ingril Sud</i>	298
<i>Etang d'Ingril Nord</i>	299
<i>Etang de Bages Nord</i>	300
<i>Etang de Bages Milieu</i>	301
<i>Etang de Bages Sud</i>	302
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	303
<i>Etang de Campagnol</i>	304
<i>Etang de Guissan</i>	305
<i>Etang de Thau Est surface</i>	306
<i>Etang de Thau Est fond</i>	307
<i>Etang de Thau Ouest surface</i>	310
<i>Etang de Thau Ouest fond</i>	311
<i>Etang de Leucate</i>	312
<i>Leucate Sud</i>	313
COMPARAISON DES DEUX DIAGNOSTICS	314
VIII – TEST DE L'OUTIL	
MATERIELS ET METHODES	318
SITES D'ÉTUDES	318
<i>Etang de Diana</i>	318
<i>Etang d'Urbino</i>	320
<i>Etang de Biguglia</i>	320
<i>Etang de La Palme</i>	325
<i>Lagune de Grande-Entrée (Canada)</i>	327
<i>Figure VIII.6 : Présentation de la lagune de Grande-Entrée. Prélèvements et analyses</i>	329
<i>Lagunes Corses</i>	330
<i>Etang de Lapalme</i>	330
<i>Lagune de Grande-Entrée</i>	331
GRILLE DE QUALITE DE L'EAU	332
RÉSULTATS PAR GRILLE	332
<i>Etang d'Urbino</i>	338
<i>Etang de Biguglia</i>	342
<i>Etang de La Palme</i>	346
<i>Lagune de Grande-Entrée</i>	347
RÉSULTATS GÉNÉRAUX	350
DIAGNOSTIC DE L'EUTROPHISATION DES LAGUNES TESTEES	352

LAGUNES CORSES	352
<i>Sédiments</i>	352
<i>Phytoplancton</i>	368
<i>Macrophytes</i>	369
LA PALME	379
<i>Macrophytes</i>	379
<i>Phytoplancton</i>	379
LAGUNE DE GRANDE-ENTRÉE (CANADA)	380
<i>Macrophytes</i>	380
<i>Phytoplancton</i>	380
DIAGNOSTIC DE L'EUTROPHISATION DES LAGUNES TEST	382
<i>Planche de resultats du diagnostic ecologique</i>	385
CONCLUSION	386

IX – OUTIL. PROTOCOLES ET COUTS D'ACQUISITION DES DONNEES

OUTIL	390
DIAGNOSTIC DE L'EUTROPHISATION	390
<i>Sédiments</i>	390
<i>Phytoplancton</i>	390
<i>Macrophytes</i>	391
<i>Macrofaune benthique</i>	392
<i>Etat général issu du diagnostic de l'eutrophisation</i>	393
<i>Grille de qualité de l'eau</i>	394
SENSIBILITE DE L'OUTIL	394
<i>Sédiments</i>	394
<i>Phytoplancton</i>	395
<i>Macrophytes</i>	395
<i>Macrofaune benthique</i>	395
<i>Colonne d'eau</i>	395
LIMITES DE L'OUTIL	396
<i>Limites générales</i>	396
<i>Sédiments</i>	396
<i>Phytoplancton</i>	396
<i>Macrophytes</i>	396
<i>Macrofaune benthique</i>	396
<i>Colonne d'eau</i>	398
CONDITIONS D'UTILISATION	398
PROTOCOLES ET COUTS D'ACQUISITION DES DONNEES	398
SÉDIMENTS	398
<i>Stratégie d'échantillonnage</i>	398
<i>Prélèvements et analyses</i>	399
<i>Coûts</i>	399
PHYTOPLANCTON	400
<i>Prélèvements et analyses</i>	400

<i>Laboratoires</i>	400
<i>Coûts</i>	400
MACROPHYTES	400
<i>Protocole</i>	400
<i>Coûts</i>	400
MACROFAUNE BENTHIQUE.....	401
<i>Prélèvements et analyses</i>	401
<i>Coûts</i>	402
PARAMÈTRE DE LA COLONNE D'EAU	402
<i>Domaine d'application</i>	402
<i>Stratégie d'échantillonnage</i>	403
<i>Prélèvements</i>	403
<i>Filtration et analyses</i>	407
<i>Laboratoires</i>	409
<i>Coûts</i>	410

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Parmi les écosystèmes côtiers, les lagunes méditerranéennes sont particulièrement sensibles à l'eutrophisation en raison des faibles marées qui limitent le renouvellement de leurs eaux. L'eutrophisation dans ces écosystèmes est aussi amplifiée par l'ensoleillement important qui caractérise ces régions. Dans son aspect excessif, ce phénomène touche certaines lagunes du Languedoc-Roussillon comme celles situées près de Palavas (étangs palavasiens) qui subissent des proliférations de végétation aquatique entraînant des effets dommageables tant au point de vue écologique qu'économique. Dans l'objectif de restaurer ou de maintenir les lagunes du Languedoc-Roussillon à un niveau acceptable d'eutrophisation, il est nécessaire de mettre à jour un outil permettant de mesurer en routine leur niveau d'eutrophisation.

Le groupement CEMAGREF-IARE (1994) avait identifié dans une étude bibliographique des indicateurs potentiels de l'eutrophisation à travers les différents compartiments de l'écosystème lagunaire (phytoplancton, macrophytes, macrofaune benthique, sédiments, eau).

Dans cette étude, Le groupement IFREMER-Université de Montpellier II-CREOCEAN avait pour premier objectif de valider un certain nombre de ces variables par des expérimentations sur le terrain. Les variables retenues devaient ensuite être intégrées dans une grille de lecture du niveau d'eutrophisation des lagunes, constituée d'indices calés sur des valeurs seuils. L'outil ainsi construit doit permettre le classement trophique des lagunes.

Ce travail débouche sur une proposition de programme de suivi du niveau d'eutrophisation des lagunes comportant les protocoles, les coûts et les prestataires potentiels.

Ce rapport n'est pas une publication scientifique et ne saurait être utilisé comme référence pour d'autres travaux que celui-ci. Les résultats concernant Thau et Leucate nous ont été prêtés par le PNEC, ceux concernant la Corse par le programme PNEC/INTEREG II.

Chapitre I

MATERIELS ET METHODES

METHODE DE CONSTRUCTION DE L'OUTIL	4
CRITERES DE SELECTION DES LAGUNES ETUDIEES (JEU DE REFERENCE).....	7
PRESENTATION DES LAGUNES	9
<i>Etang de l'Or</i>	9
<i>Etang du Grec</i>	9
<i>Etang d'Ingril</i>	9
<i>Etang de Bages</i>	15
<i>Etang de Campagnol</i>	15
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	16
<i>Etang de Gruissan</i>	16
<i>Etang de Thau</i>	19
<i>Etang de Leucate</i>	19
PRELEVEMENTS ET ANALYSES	24
SEDIMENTS	24
<i>Prélèvements</i>	24
<i>Granulométrie</i>	24
<i>Potentiel d'oxydo-réduction</i>	24
<i>Matières Organiques</i>	25
<i>Azote Total dans les sédiments (NTS)</i>	25
<i>Phosphore Total dans les sédiments (PTS)</i>	25
PHYTOPLANCTON	27
<i>Prélèvements</i>	27
<i>Observations en microscopie</i>	27
<i>Cytométrie en flux</i>	27
MACROPHYTES	31
<i>Prélèvements</i>	31
<i>Traitement des échantillons</i>	32
MACROFAUNE	32
<i>Prélèvements</i>	32
<i>Traitement des échantillons</i>	32
COLONNE D'EAU.....	33
<i>Prélèvements</i>	33
<i>Température et salinité</i>	33
<i>Oxygène dissous</i>	34
<i>Turbidité</i>	34
<i>Transparence au disque de Secchi</i>	34

<i>Azote ammoniacal ou ammonium (NH_4^+)</i>	35
<i>Nitrites (NO_2^-)</i>	35
<i>Nitrates (NO_3^-)</i>	35
<i>Phosphates (PO_4^{3-})</i>	36
<i>Silicates (Si)</i>	36
<i>Azote total (NTE)</i>	36
<i>Phosphore total (PTE)</i>	37
<i>Chlorophylles (a, b et c)</i>	37

METHODE DE CONSTRUCTION DE L'OUTIL

L'analyse bibliographique portant sur la recherche d'indicateurs de niveaux trophiques dans les lagunes méditerranéennes (CEMAGREF et IARE, 1994) a identifié quatre compartiments comportant des variables indicatrices des apports en matières eutrophisantes.

Le **phytoplancton** peut être considéré comme un indicateur "objectif" de l'eutrophisation. Les proliférations phytoplanctoniques ou blooms sont en relation étroite avec les apports d'azote et de phosphore. Les niveaux de proliférations doivent être formalisés au travers de comptages. Les chlorophylles qui constituent des indicateurs de biomasses phytoplanctoniques sont associées aux variables de routine.

Les **macrophytes** sont aussi en relation directe et indirecte avec les apports d'azote et de phosphore dans le milieu. La relation indirecte provient de l'augmentation de turbidité liée à l'accroissement des densités phytoplanctoniques. Ce dernier entraîne le déclin des phanérogames au profit des algues. La prolifération d'algues vertes constitue la relation directe sur les apports en azote de phosphore dans les lagunes. Les changements dans les biomasses de macrophytes, au fur et à mesure que les apports en azote et phosphore augmentent, doivent faire l'objet d'une formalisation.

Le **sédiment** est en relation indirecte avec les apports d'azote et de phosphore car il constitue le "lieu de passage" des matières eutrophisantes dans l'écosystème lagunaire. Le phytoplancton et les macrophytes sont recyclés à son interface, consommant de l'oxygène et libérant des sels minéraux. Ces derniers viennent enrichir en partie le sédiment. Ce processus fait du sédiment un compartiment intégrateur des apports d'azote et du phosphore dans le milieu. Aussi, les niveaux de concentration en matière organique, azote et phosphore, doivent présenter une graduation.

Placée en aval de la production primaire dans la chaîne trophique, la **macrofaune** benthique est en relation indirecte avec les apports d'azote et de phosphore. Les excès de matière organique entraînent une diminution de l'oxygène dissous dans les sédiments ce qui change les conditions de vie pour les animaux. L'excès de phytoplancton peut aussi entraîner la prolifération de filtreurs benthiques.

La **colonne d'eau** comporte une batterie de variables, certaines révéleront les causes et d'autres les conséquences de l'eutrophisation. Les sels nutritifs constituent les causes, la turbidité et les chlorophylles restituent les conséquences. Enfin, les formes totales d'azote et de phosphore intègre les causes et les conséquences, car les formes organiques (plancton, matière détritique) constituent à terme des matières eutrophisantes en raison du recyclage efficace à l'interface eau-sédiment.

La mise à jour d'une grille de seuil des variables de l'eau pouvant permettre, au moins chaque année, d'indiquer l'état trophique des environnements lagunaires, repose au préalable sur la **définition des états de l'eutrophisation**. Cette définition ne peut s'effectuer qu'à partir des variables biologiques indicatrices couplées à celles du sédiment très intégratrice dans le temps.

La première partie du travail consiste donc à formaliser le diagnostic de l'eutrophisation dans chaque compartiment biologique et dans le sédiment en considérant cinq classes, allant du bleu (très bon) au rouge (très mauvais). Ce travail est effectué à partir d'une base de données portant sur 9 lagunes du Languedoc-Roussillon (jeu de référence). Le choix de variables indicatrices dans chaque compartiment biologique donne accès à l'état issu du diagnostic de l'eutrophisation pour chaque lagune. Un classement trophique est donc possible.

La mesure des variables de la colonne d'eau est effectuée en même temps que le diagnostic de l'eutrophisation.

La démarche de séparer les variables de l'eau de celles du diagnostic de l'eutrophisation a pour but de caler les valeurs seuil de la grille sur les états définis dans chaque lagune et cela sans redondance. Pour chaque lagune, les états issus de la grille doivent être les mêmes que ceux issus du diagnostic de l'eutrophisation.

Enfin, l'outil doit être testé sur d'autres lagunes. Les bases de données de cinq lagunes permettent de tester l'outil.

La méthode est comparable à celle visant à élaborer l'alcootest (tableau comparatif page suivante)

ALCOOTEST	INDICATEURS EUTROPHISATION LAGUNES MEDITERRANEENNES																																
<p style="text-align: center;">Objectif</p> <p>Trouver un indicateur d'alcoolémie susceptible d'être utilisé sur le terrain. Mettre en œuvre un outil afin de mesurer l'alcoolémie = alcool test.</p>	<p style="text-align: center;">Objectif</p> <p>Trouver un indicateur d'eutrophisation susceptible d'être utilisé en routine à des coûts raisonnables. Mettre en œuvre un outil afin de mesurer l'eutrophisation = Indicateurs Eutrophisation.</p>																																
<p style="text-align: center;">Hypothèse</p> <p>L'alcool contenu dans l'air des poumons peut faire passer du rouge au vert un gel de silice imprégné de bichromate de potassium en milieu acide.</p>	<p style="text-align: center;">Hypothèse</p> <p>Les concentrations en N, P, Chl <i>a</i>, O₂ etc... dans l'eau sont des variables mesurables en routine permettant l'élaboration d'une grille donnant l'état d'eutrophisation d'une lagune.</p>																																
<p style="text-align: center;">Construction de l'outil</p> <p>Un échantillon d'individus en bon état général mais ayant reçu une dose plus ou moins forte d'alcool (âge, poids).</p>	<p style="text-align: center;">Construction de l'outil</p> <p>Un échantillon de lagunes en bon état général mais ayant des niveaux variables d'eutrophisation (profondeur, confinement).</p>																																
<p>Diagnostic médical</p> <ul style="list-style-type: none"> - comportement - sang (alcool, γ globulines) - état des organes par rapport à l'alcool <p>Le diagnostic médical permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la définition des états d'ébriété - une sanction et un traitement médical 	<p>Diagnostic de l'eutrophisation</p> <ul style="list-style-type: none"> - phytoplancton - macrophytes - sédiments - macrofaune <p>Le diagnostic de l'eutrophisation permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la définition des états de l'eutrophisation - une évaluation réelle et une politique d'aménagement 																																
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 </div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 20%;">bleu</td> <td style="width: 20%;">vert</td> <td style="width: 20%;">jaune</td> <td style="width: 20%;">orange</td> <td style="width: 20%;">rouge</td> </tr> </table>	bleu	vert	jaune	orange	rouge																											
bleu	vert	jaune	orange	rouge																													
<p>Outil</p> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: -20px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">air →</div> <div style="position: absolute; right: -20px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">ballon</div> </div> </div>	<p>Outil</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px;">0</td> <td style="width: 20px;">20</td> <td style="width: 20px;">40</td> <td style="width: 20px;">60</td> <td style="width: 20px;">80</td> <td style="width: 20px;">100</td> <td style="width: 20px;">120</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: right;">SAT O₂</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">50</td> <td></td> <td style="text-align: center;">100</td> <td></td> <td style="text-align: center;">150</td> <td></td> <td style="text-align: right;">NT (μM)</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td></td> <td style="text-align: right;">PT (μM)</td> </tr> </table>	0	20	40	60	80	100	120									SAT O ₂		50		100		150		NT (μM)		1	2	3	4	5		PT (μM)
0	20	40	60	80	100	120																											
							SAT O ₂																										
	50		100		150		NT (μM)																										
	1	2	3	4	5		PT (μM)																										
<p>Chaque individu dont on a diagnostiqué l'état d'ébriété souffle dans un ballon. Les couples de données (diagnostic général, graduation) permettent de graduer l'alcootest.</p>	<p>Chaque lagune dont on a diagnostiqué l'état d'eutrophisation est munie d'une base de données comprenant les variables de la colonne d'eau. Le couple de données (diagnostic de l'eutrophisation, variable de la colonne d'eau) permet l'élaboration de seuils. L'ensemble des variables sont associées dans une grille de lecture.</p>																																
<p>Test de l'outil</p> <p>Un autre échantillon d'individus que l'on fait souffler dans un ballon :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Chaque individu est caractérisé par un état donné par le ballon. 2) Elaboration du diagnostic médical de chaque personne qui donne l'état "réel". 3) Les états donnés pour l'alcootest et le diagnostic médical doivent être identiques. 	<p>Test de l'outil</p> <p>Un autre échantillon de lagunes où l'on a mesuré les variables de la colonne d'eau permet :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) La détermination de l'état (couleur) à partir de la grille de lecture. 2) Elaboration du diagnostic de l'eutrophisation qui donne l'état réel d'eutrophisation. 3) Les états donnés par la grille de lecture et le diagnostic doivent être identiques. 																																

SITES D'ETUDE

Critères de sélection des lagunes étudiées (jeu de référence)

Le littoral de la région du Languedoc-Roussillon est formé d'une côte basse où de nombreuses lagunes couvrent au total une surface proche de 38 000 hectares (figure I.1). Sept des 9 lagunes étudiées sont réparties dans deux grands ensembles lagunaires : le complexe palavasien et le complexe narbonnais. Les grandes lagunes de Thau et Salses-Leucate font aussi partie du jeu de référence.

Les sites ont été choisis à partir de critères physiques, chimiques, hydrologiques et biologiques préalablement connus.

La sélection a aussi consisté à retenir des écosystèmes permettant de représenter correctement des lagunes à faible et à fort enrichissement, mais en assurant une bonne représentation des niveaux intermédiaires, pour pouvoir préciser au mieux des seuils.

Les critères de sélection sont indiqués ci-dessous (tableaux I.1 et I.2).

Tableau I.1 : Critères de sélection des lagunes retenues : croisement des facteurs physiques et hydrologiques avec la végétation.

PROFONDEUR MAXIMALE	GRAU DIRECT	GRAU DIRECT	GRAU INDIRECT	GRAU INDIRECT	GRAU INDIRECT
< 2 mètres	Ayrolle	Gruissan	Campagnol	Ingril Grec	Or
> 2 mètres	Leucate	Bages-Sud Thau	Bages-Nord Bages-Milieu		
dont > 5 m		Thau			
Dominance	Herbiers	Herbiers et macroalgues		Macroalgues	Phytoplancton

Tableau I.2 : Critères de sélection des lagunes retenues : croisement des facteurs physiques et hydrologiques avec les contenus sédimentaires en azote et phosphore.

PROFONDEUR MAXIMALE	GRAU DIRECT	GRAU INDIRECT	GRAU INDIRECT	GRAU INDIRECT
< 2 mètres	Ayrolle Gruissan	Campagnol	Ingril	Grec Or
> 2 mètres	Bages-sud	Bages-Nord Bages-Milieu		
dont > 5 m	Leucate, Thau			
Enrichissement du sédiment	Modéré		Moyen	Fort

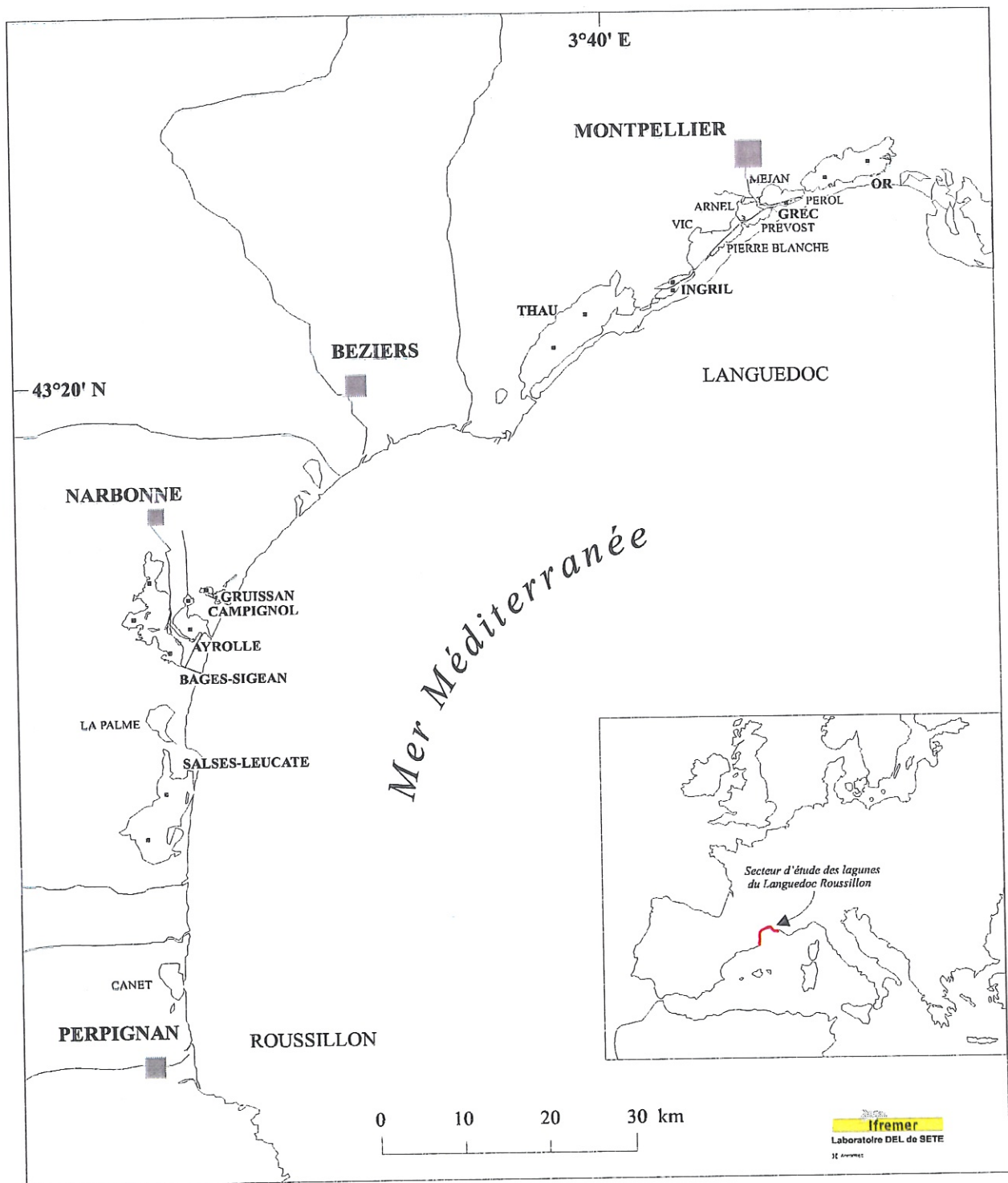


Figure I. 1 : Les lagunes du littoral du Languedoc-Roussillon. Les lagunes du jeu de référence sont indiquées en gras. Les points de prélèvement pour l'acquisition des variables physico-chimiques sont indiqués par des carrés noirs.

Présentation des lagunes

Etang de l'Or

L'Or est une vaste lagune bordée au sud par le canal du Rhône à Sète avec laquelle elle communique par des passes (tableau I.3, figure I.2). L'étang de l'Or est alimenté indirectement en eau de mer par le grau de Carnon à l'extrême sud-ouest mais il est soumis à un confinement forcé par le biais de «portes anti-sel» installées entre le port de Carnon et le canal du Rhône à Sète. Ces portes sont fermées à l'occasion de forts vents marins afin d'éviter la marinisation de l'étang de l'Or. De part leur position, elles limitent aussi le renouvellement des eaux du canal qui cependant reçoit les effluents de la station d'épuration de la Grande-Motte. Les apports continentaux se font essentiellement au nord par des ruisseaux qui drainent un bassin versant occupé majoritairement par l'agriculture maraîchère et fruitière. Les principaux ruisseaux reçoivent des effluents de stations d'épuration.

Tableau I.3 : Présentation des étangs palavasiens choisis dans le jeu de référence.

LAGUNE	OR	GREC	INGRIL
Superficie (ha)	3170	270	685
Profondeur (m)	moy : 0,8 max : 1,3	moy : 0,25 max : 0,8	moy : 0,6 max : 1,2
Communication avec la mer	- grau du port de Carnon - canal du Rhône à Sète	- canalette - canal du Rhône à Sète	- grau du port de Frontignan. - canal du Rhône à Sète
Alimentation en eau douce	- 5 cours d'eau principaux - canaux de l'Or, du Languedoc et de Lunel.	- pas d'apport direct à part les précipitations	- ruissellement en provenance de la Gardiole.

Etang du Grec

Le Grec est une petite lagune palavasienne en moyenne peu profonde (tableau I.3, figure I.3). Cet étang ne communique directement avec la mer que par une canalette et échange surtout ses eaux avec celles du canal du Rhône à Sète influencé par les eaux du Lez à cet endroit. Le Grec reçoit les effluents de la station d'épuration de Palavas.

Etang d'Ingril

L'étang d'Ingril, peu profond, est séparé en deux parties (nord et sud) par le canal du Rhône à Sète (tableau I.3, figure I.4). La partie nord est bordée d'une zone humide aménagée en salins

qui reçoit les eaux de ruissellement du massif de la Gardiole. L'autre secteur nord est bordé par le Bois des Aresquiers. La partie sud de l'étang d'Ingril est en communication avec la partie nord par le canal du Rhône à Sète. Elle reçoit des eaux marines par le grau du port de Frontignan. C'est aussi dans la partie sud que se rejettent les eaux du lagunage de Frontignan-Plage.

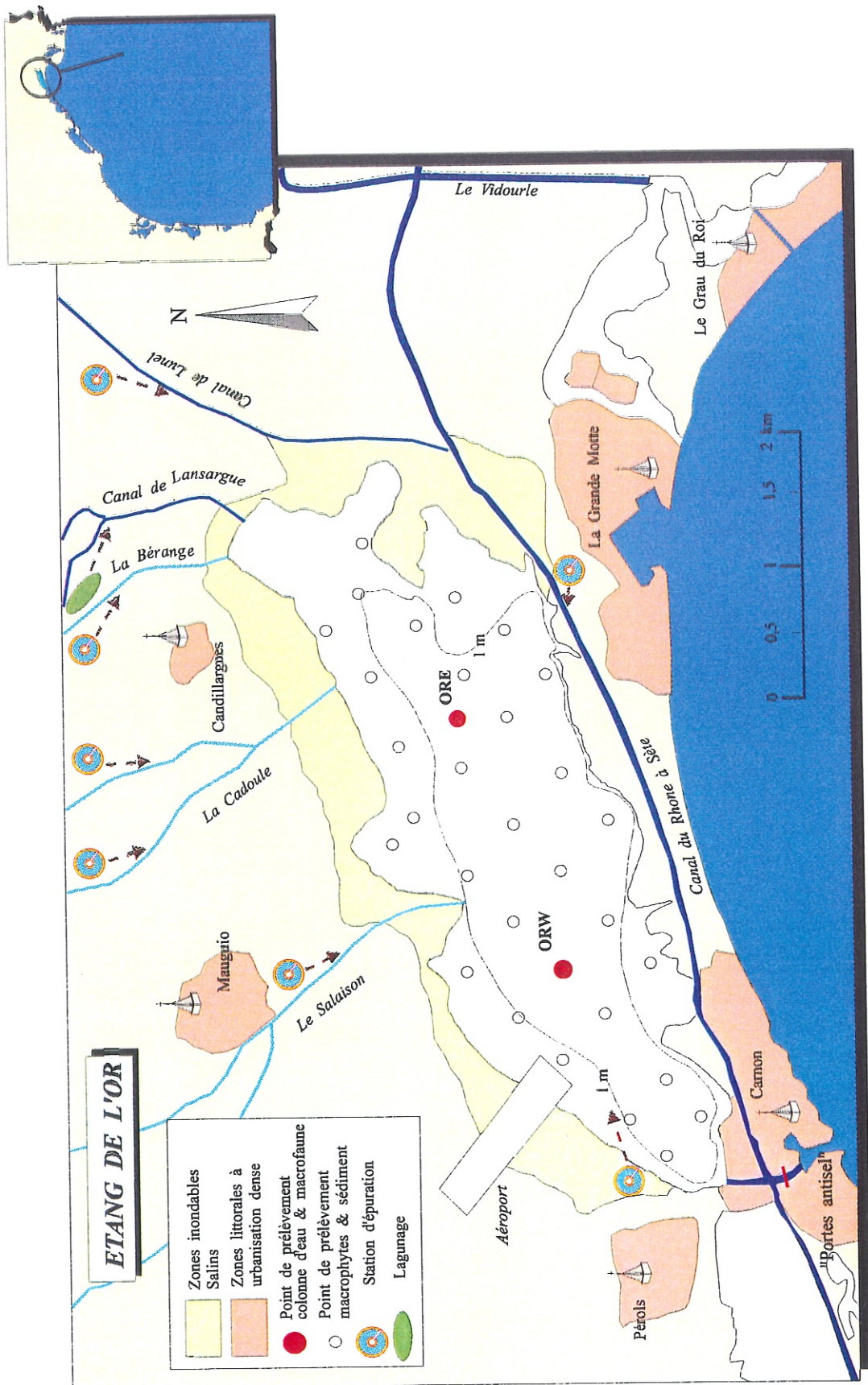


Figure I.2 : Présentation de l'étang de l'Or.

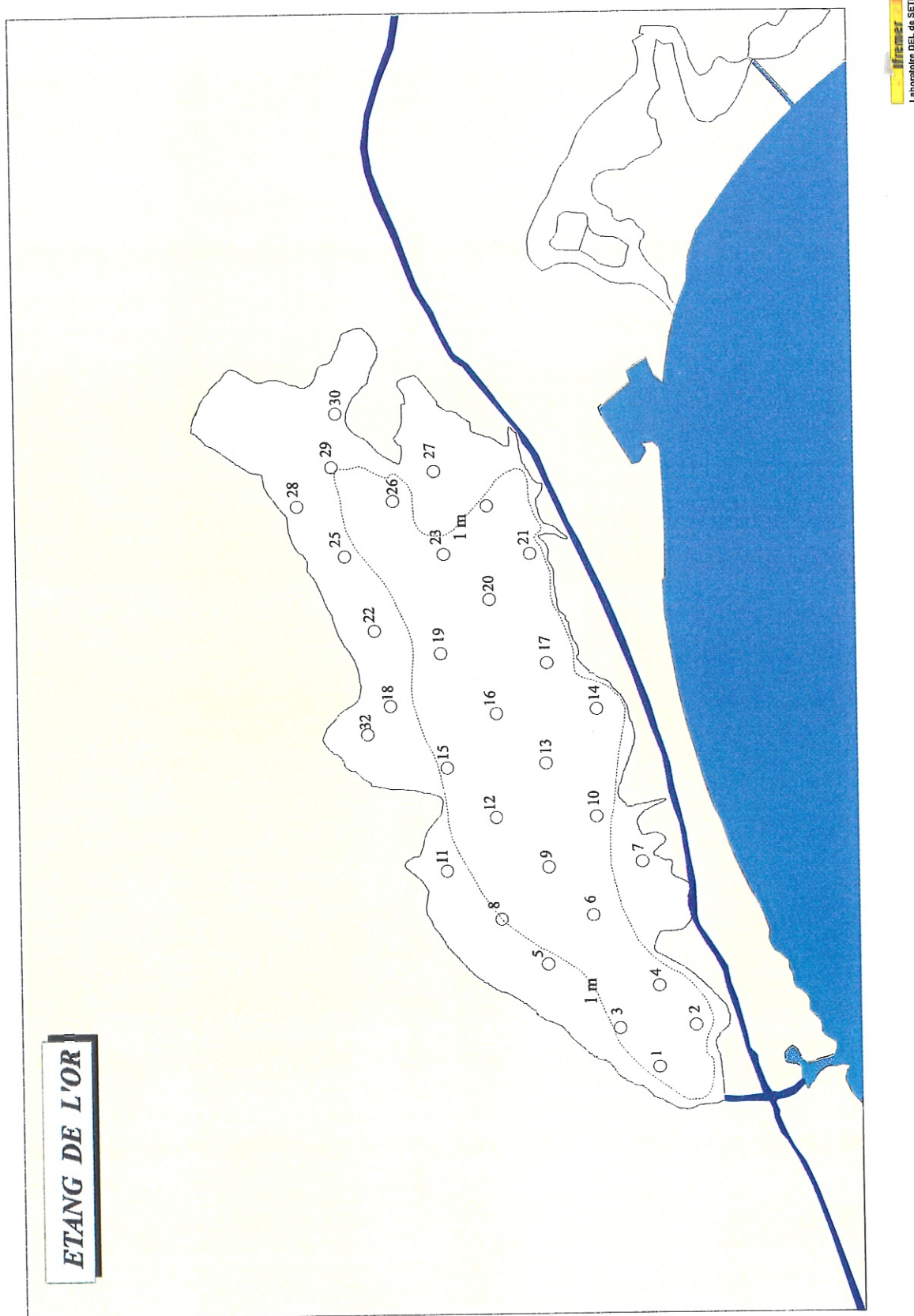


Figure I.2bis : Numéros des stations de prélèvements dans l'étang de l'Or

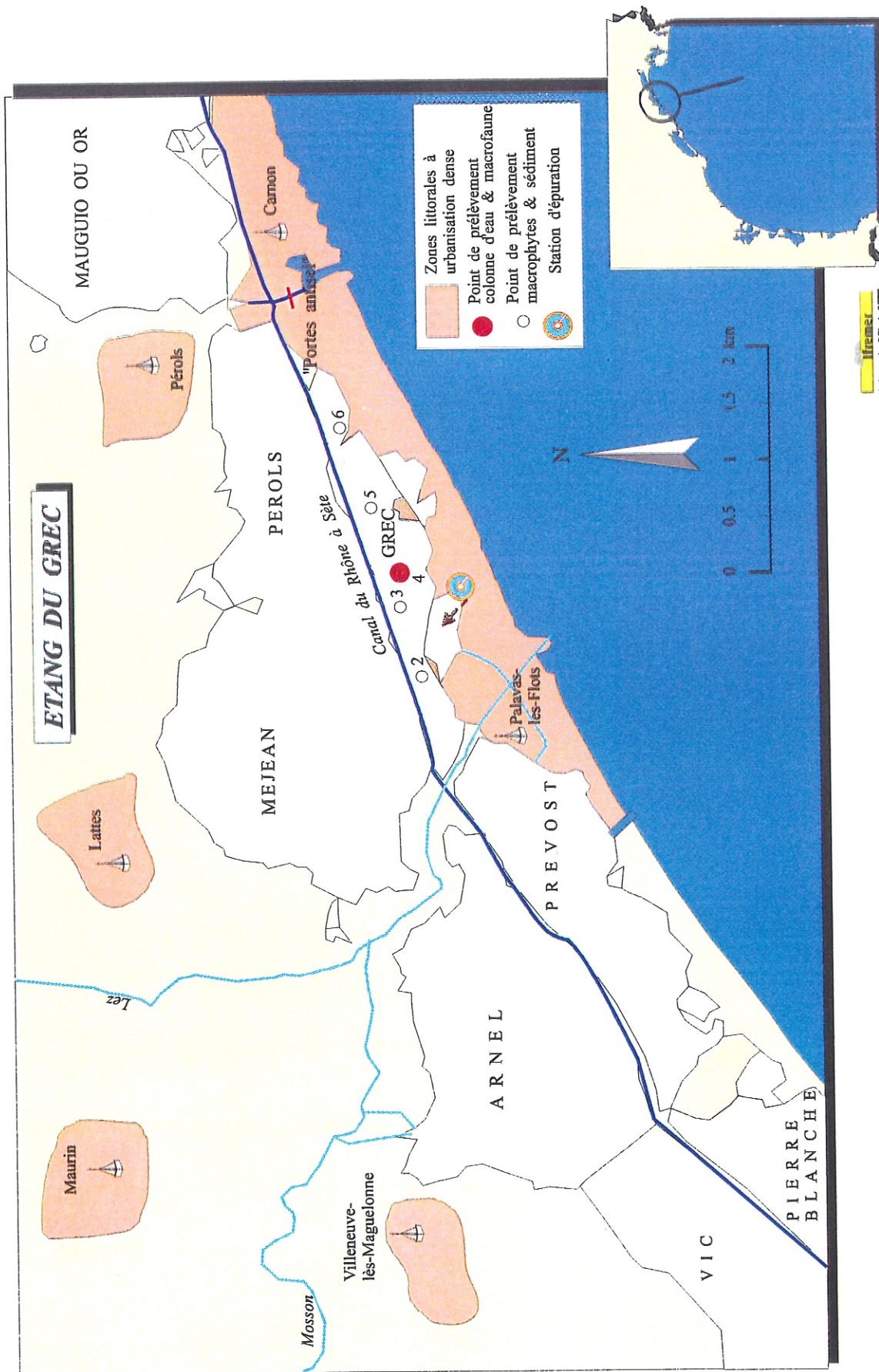


Figure I.3 : Présentation de l'étang du Grec

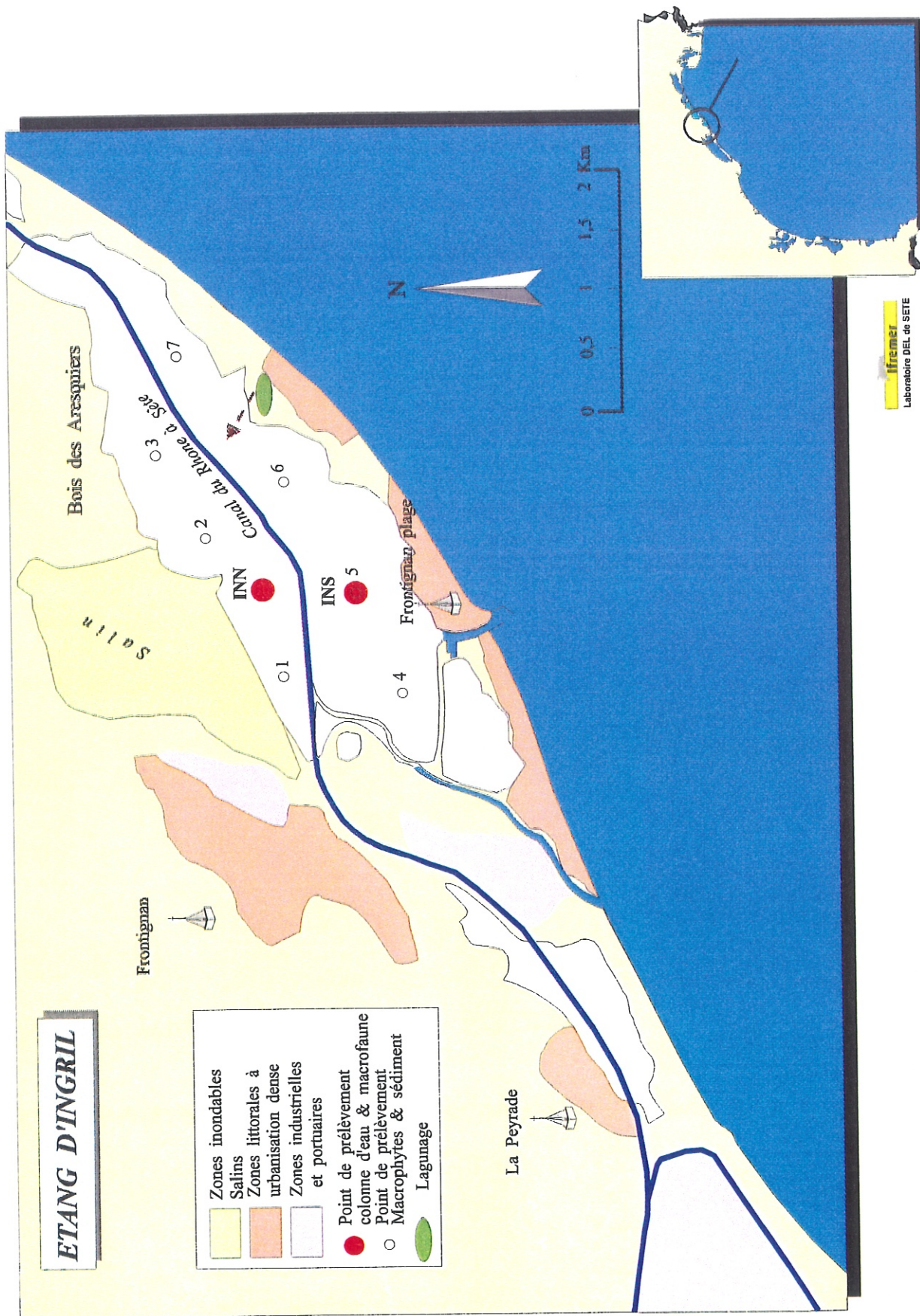


Figure I.4 : Présentation de l'étang d'Ingril.

Etang de Bages

Bages-Sigean (tableau I.4), appelé Bages par simplification, est un vaste étang comportant plusieurs îles dont la plus grande est l'île de l'Aute qui sépare la partie nord de la partie sud (figure I.5). Son bassin versant est situé majoritairement à l'ouest. Bages est bordé à l'est par les étangs de l'Ayrolle et Campagnol, et plus au nord par des terrains agricoles. L'étang communique avec la mer par le canal de Port-la-Nouvelle à l'extrême sud. Les hauts-fonds situés à l'est de l'île de l'Aute limitent les échanges nord-sud et contribuent au confinement de la partie nord, qui reçoit des effluents issus notamment des stations d'épuration de Bages et Peyrac-de-mer. Les eaux du canal de la Robine alimentent celles de l'étang par le biais du «Canélou», mais peuvent aussi refouler dans la partie sud de la lagune par le grau de Port-la-Nouvelle lorsque les courants sont rentrants.

Tableau I.4 : Présentation du complexe lagunaire du Narbonnais

LAGUNE	BAGES-SIGEAN	AYROLLE	CAMPIGNOL	GRUISSAN
Superficie (ha)	3700	1320	115	145
Profondeur (m)	moy : 2,1 max: 3	moy : 0,5 max : 1.5	moy: 0,5 max: 1	moy : 0,5 max : 1,2
Communication avec la mer	- grau de Port la Nouvelle	- grau naturel de la Vieille Nouvelle	- grau indirect par étang de l'Ayrolle	- chenal de Grazel
Alimentation en eau douce	- cours d'eau intermittents à l'ouest - canal de la Robine au sud - canal du Canélou au nord-est	- résurgences temporaires - apports indirects par l'étang de Campagnol	- canal de la Réunion - 2 canaux de drainage	- canal de l'empereur - résurgences en provenance du massif de la Clape

Etang de Campagnol

Campagnol, de faible superficie, est bordé au nord par une zone inondable très irrégulièrement alimentée en eau douce par des canaux de drainage provenant des canaux de la Robine et de la Réunion (figure I.5). Cette lagune communique au sud avec l'étang de l'Ayrolle par un étroit chenal.

Etang de l'Ayrolle

L'Ayrolle est une vaste lagune en communication directe avec la mer dans sa partie sud (figure I.5). Son pourtour n'étant pratiquement pas urbanisé, cet écosystème ne reçoit pas d'effluent. Si les résurgences sont citées comme source d'eau douce, les dessalures sont essentiellement associées aux apports issus de l'étang de Campagnol qui sert de zone tampon en cas d'inondation dans la basse plaine de l'Aude.

Etang de Gruissan

L'étang de Gruissan, petit et peu profond, reçoit peu d'apports à cause d'une dérivation creusée à son amont qui évacue directement les eaux de la basse plaine de l'Aude dans un chenal d'écoulement à la mer (figure I.5). Cependant, à l'occasion d'événements pluvieux importants, cette lagune peut subir d'importantes dessalures.

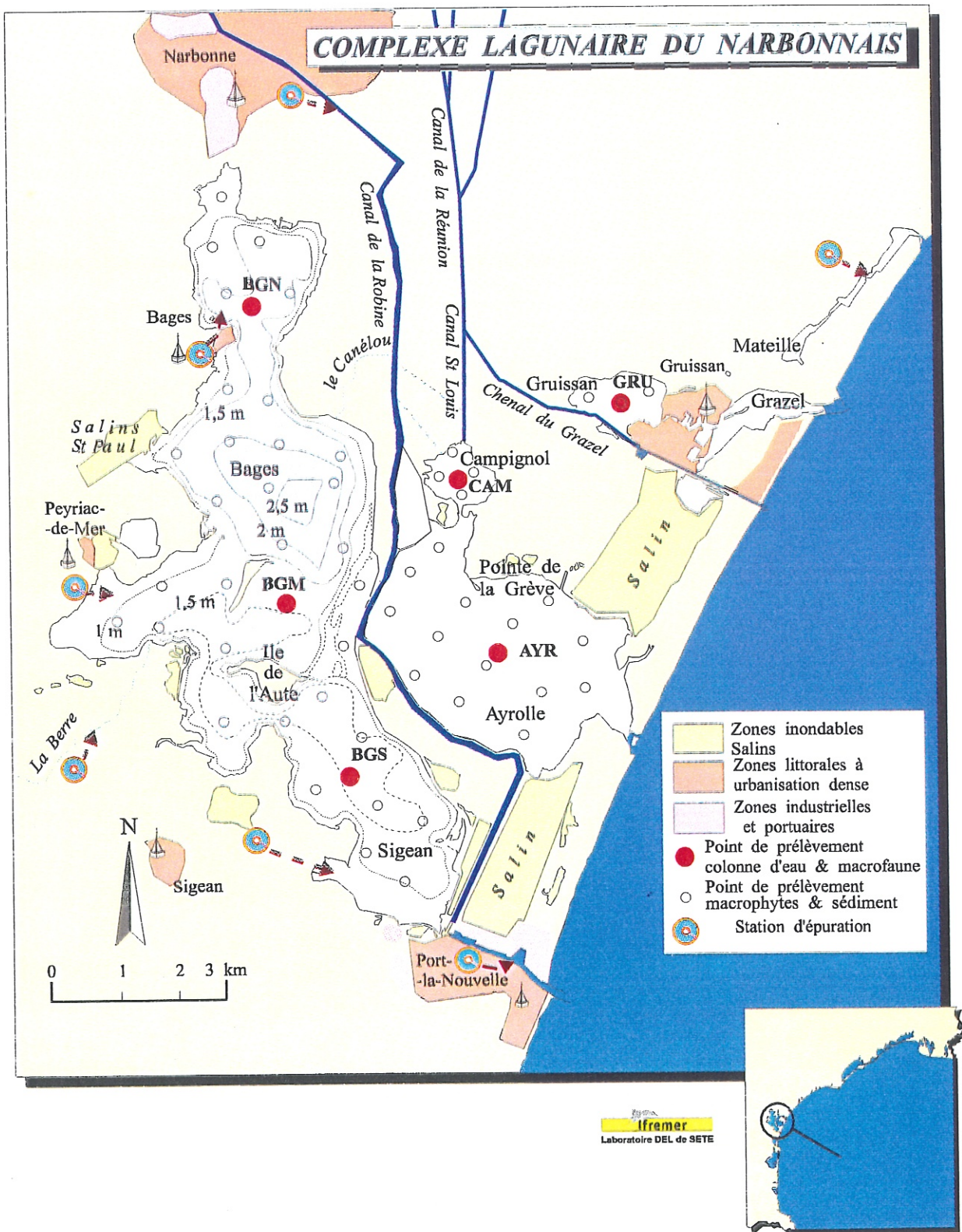


Figure I.5 : Présentation des étangs du Narbonnais

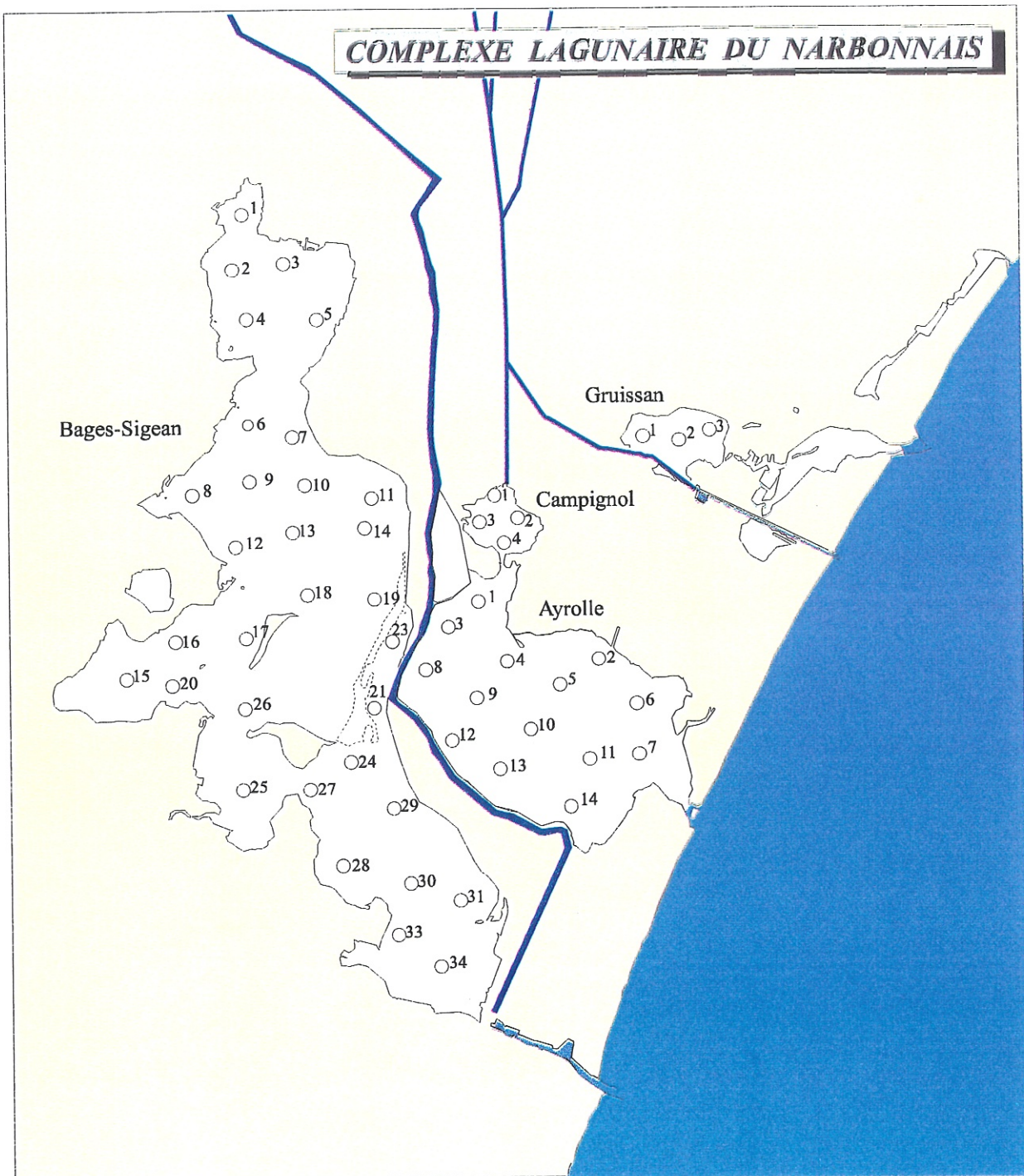


Figure I.5bis : Numérotation des stations de prélèvements des étangs du Narbonnais

Etang de Thau

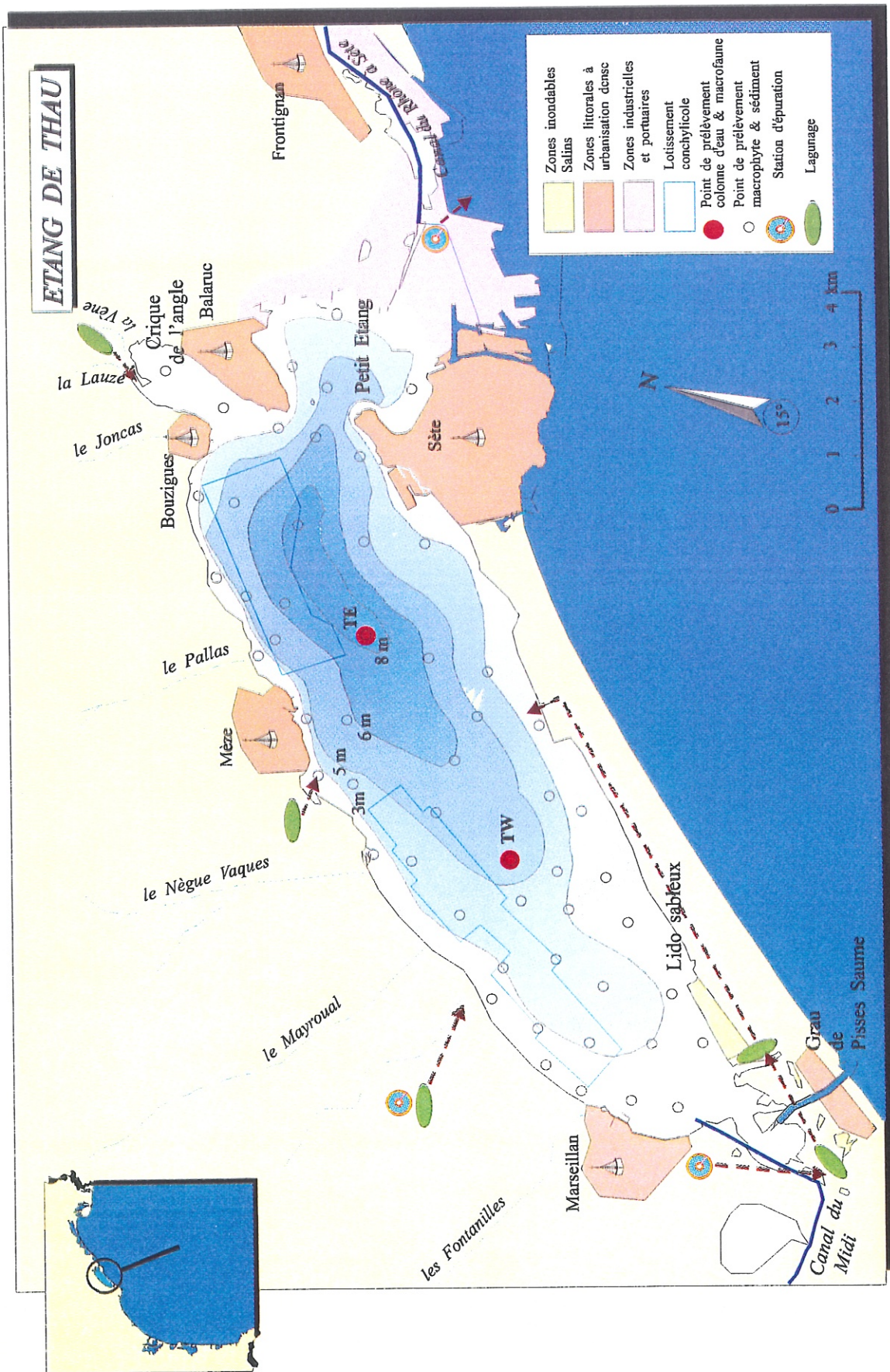
L'étang de Thau se distingue des autres lagunes du Languedoc-Roussillon par sa superficie et sa profondeur (figure I.6). Les apports permanents d'eau douce sont faibles et se cantonnent pour l'essentiel au ruisseau de la Vène et à quelques résurgences dont les flux sont faibles et pas encore quantifiés. Les échanges avec la mer se font essentiellement par les canaux de Sète et, dans une moindre mesure, par le grau de Pisses-Saume. En revanche, cet écosystème est fortement soumis au ruissellement à l'occasion de précipitations irrégulières mais torrentielles. Il subit aussi l'influence des canaux du Midi et du Rhône à Sète. Si l'étang de Thau reçoit les eaux épurées de plusieurs lagunages situés sur son bassin versant, les eaux de la station d'épuration de la ville de Sète sont rejetées en mer.

Etang de Leucate

L'étang de Salses-Leucate, appelé Leucate par simplification est une vaste lagune délimitée dans sa partie nord par le massif des Corbières et dans sa partie sud par la basse plaine de la Salanque (figure I.7). Le bassin versant, faiblement occupé, est constitué au nord et au sud-ouest de vignes, et à l'ouest de garrigue de bois de chênes verts. A l'opposé du bassin de Thau, l'étang de Leucate est peu soumis aux apports par ruissellement. Ces derniers peuvent exceptionnellement alimenter le bassin sud par la plaine de la Salanque lors d'inondations mais l'essentiel des apports en eaux douces est assuré par les résurgences karstiques. Les sources souterraines de Font Dame et de Font Estramar apportent la majeure partie de l'eau douce. Les échanges avec la mer se font par trois graus répartis sur un lido urbanisé par des infrastructures touristiques. Cet écosystème reçoit les effluents de plusieurs stations d'épuration.

Tableau I.5 : Présentation des étangs de Thau et Leucate

LAGUNE	THAU	LEUCATE
Superficie (ha)	7500	5400
Profondeur (m)	moy : 4,0 max : 11	moy : 1,7 max: 4,2
Communication avec la mer	- grau du port de Sète - grau de Pisses-saume	- grau de Leucate - grau de Port Leucate - grau de Saint-Ange
Alimentation en eau douce	- 10 cours d'eau dont seule la Vène coule en permanence - canal du midi - résurgences karstiques	- 4 ruisseaux intermittents - 2 résurgences karstiques principales (Font-Dame et Font-Estramar)



IFREMER
Laboratoire DEL de Sète

Figure I.7 : Présentation de l'étang de Thau

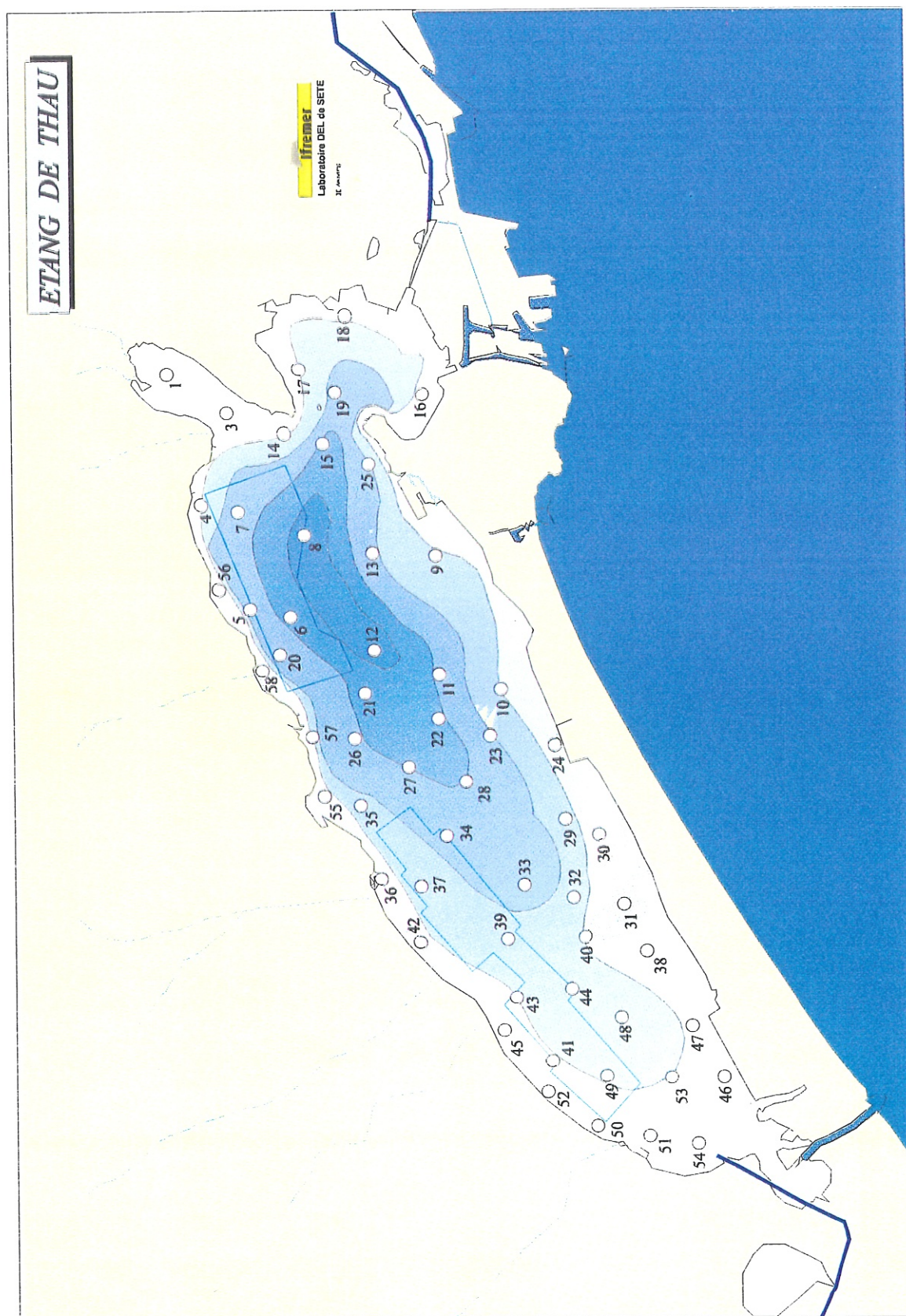


Figure I.6bis : Numéros des stations de prélèvements dans l'étang de Thau.

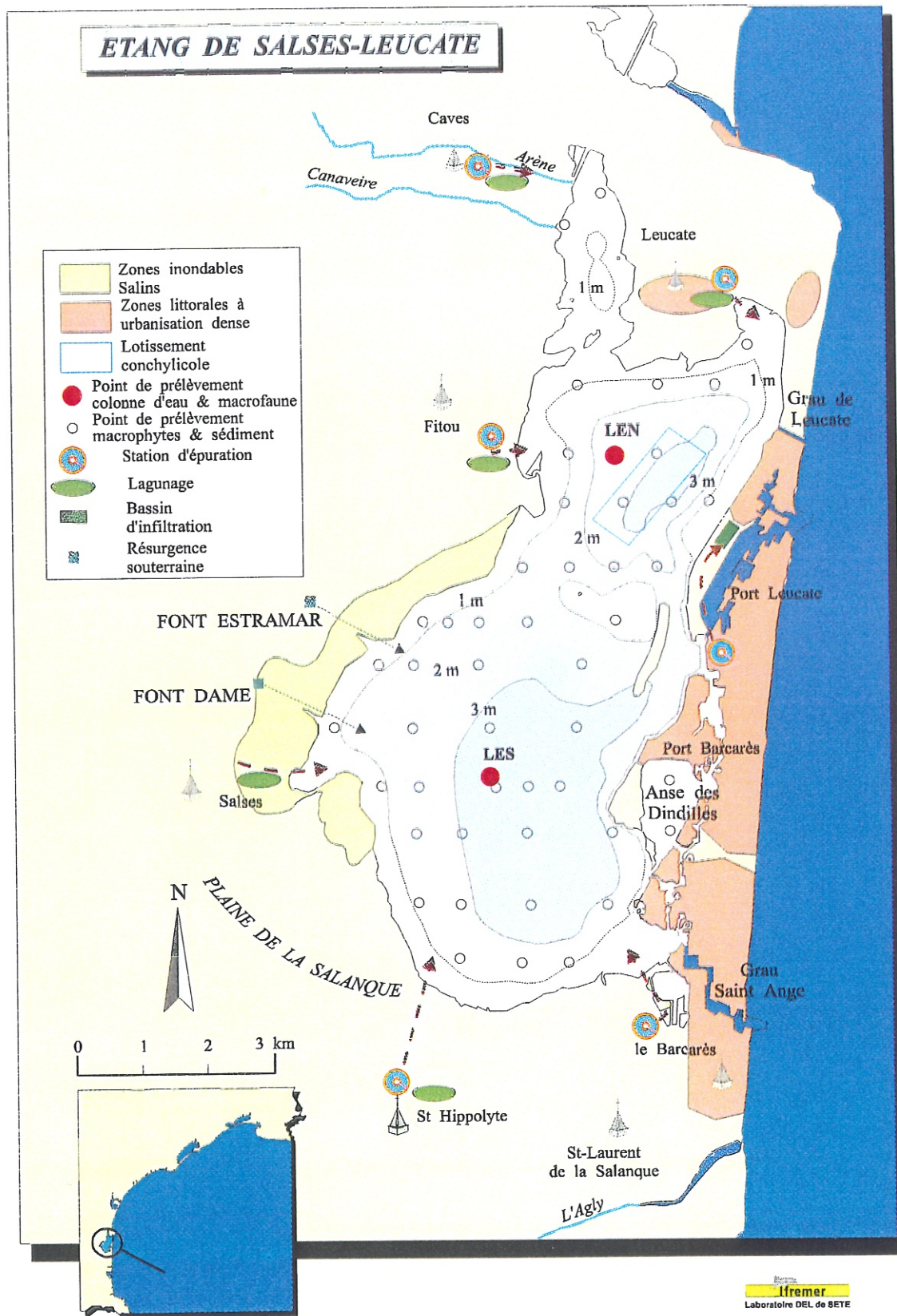


Figure I.6 : présentation de l'étang de Salses-Leucate

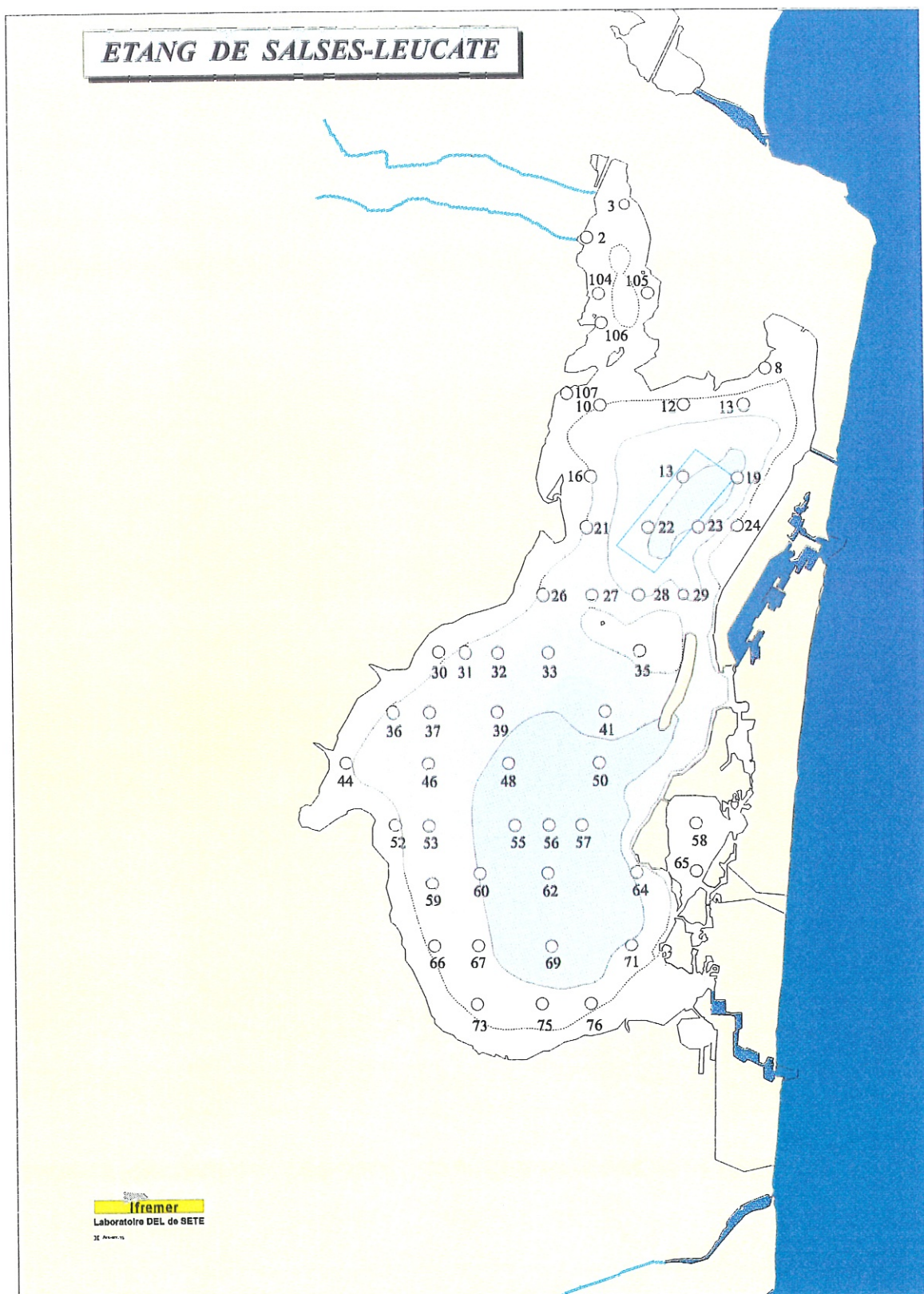


Figure I.7bis : Numéros des stations de prélèvements dans l'étang de Salses-Leucate.

PRELEVEMENTS ET ANALYSES

Sédiments

Dans le compartiment benthique, la variabilité spatiale prime sur la variabilité temporelle. Ce sont donc des campagnes annuelles de type cartographique qui ont été réalisées pour les caractéristiques physico-chimiques des sédiments (du 4 juin au 5 juillet 1999), à l'exception du potentiel d'oxydo-réduction qui accompagnait les prélèvements de macrofaune benthique (février). La maille d'échantillonnage choisie était d'un point pour 100 hectares dans les lagunes de plus de 1000 hectares et de un point pour 50 hectares dans les lagunes plus petites. L'échantillonnage était systématique (répartition régulière des points), dans la couche 0-5 cm, active dans le relargage et déterminante dans la vie des végétaux et animaux benthiques.

Prélèvements

Des carottes de 8 cm de diamètre et de 20 cm de long étaient prélevées par plongée (figure I.8). Les 5 premiers centimètres étaient extraits à l'aide d'un piston, tamisés sur 2 mm, puis homogénéisés avant leur répartition dans des sacs prévus pour leur congélation (- 20°C).

Granulométrie

Deux grandes catégories de particules sédimentaires se distinguent habituellement :

- les particules fines ou vases constituées des argiles (0-2 μm), des limons fins (2-20 μm) et des limons grossiers (20-50 μm).
- les sables dans lesquels on distingue les sables fins (50-200 μm) des sables grossiers (200 μm -2 mm).

Les sédiments étaient d'abord traités à l'eau oxygénée afin d'éliminer la matière organique puis dispersés dans une solution d'hexamétaphosphate de sodium et de carbonate de sodium. Les différentes fractions étaient analysées à l'aide d'un granulomètre TEXSOL LCA.

Cette méthode correspond à la norme NF ISO X31-107.

Potentiel d'oxydo-réduction

Les prélèvements destinés à la mesure du potentiel d'oxydo-réduction ont été réalisés en plongée, en même temps que l'échantillonnage de macrofaune benthique février 1999 (voir macrofaune), à l'aide d'un carottier en PVC de 4 cm de diamètre et de 20 cm de long, percé de trous de 5 mm de diamètre, tous les 2 cm (figure I.8). Avant le prélèvement, ces trous

avaient été bouchés avec un ruban adhésif. Les mesures de potentiel d'oxydo-réduction ont été effectuées aussitôt après le prélèvement, à l'aide d'un Eh-mètre Ponselle (électrode de platine + électrode de référence AgCl_2). L'électrode de mesure est placée successivement dans chaque trou après enlèvement progressif du ruban adhésif, tandis que l'électrode de référence est déplacée à mesure dans le trou précédent. On obtient par lecture directe un résultat exprimé en mV. Pour chaque sous-station de macrofaune, trois carottiers ont été prélevés, de manière à obtenir une valeur moyenne de la mesure.

Matières Organiques

Un volume précis de 20 ml de sédiments était pesé puis séché à l'étuve (110°C) jusqu'à stabilisation de la masse (24 à 48 heures). Les sédiments étaient ensuite passés au four (450°C) pendant 12 heures afin de calculer le pourcentage de matière organique en grammes pour 100 g de poids sec avec une précision de 5 %.

Azote Total dans les sédiments (NTS)

L'azote total était mesuré sur un analyseur élémentaire THERMOQUEST CN 2100 selon la norme NF ISO 13878-1998. Les concentrations sont exprimées en grammes d'azote par kilogramme de poids sec de sédiment avec une précision de 5 % (g/Kg PS).

Phosphore Total dans les sédiments (PTS)

Les sédiments étaient mis en solution dans un mélange d'acides nitrique, fluorhydrique et perchlorique. Cette méthode, considérée comme récupérant la totalité du phosphore contenu dans l'échantillon, correspond à la norme NF X 31-147 qui propose une mise en solution totale du résidu de calcination dans un mélange d'acides perchlorique, nitrique et fluorhydrique. Le mélange est évaporé puis dissous dans l'acide chlorhydrique. Lors de l'oxydation, les composés phosphorés sont transformés en phosphates. Les concentrations sont exprimées en milligrammes de phosphore par kilogramme de poids sec de sédiment avec une précision de 5 % (mg/Kg PS).

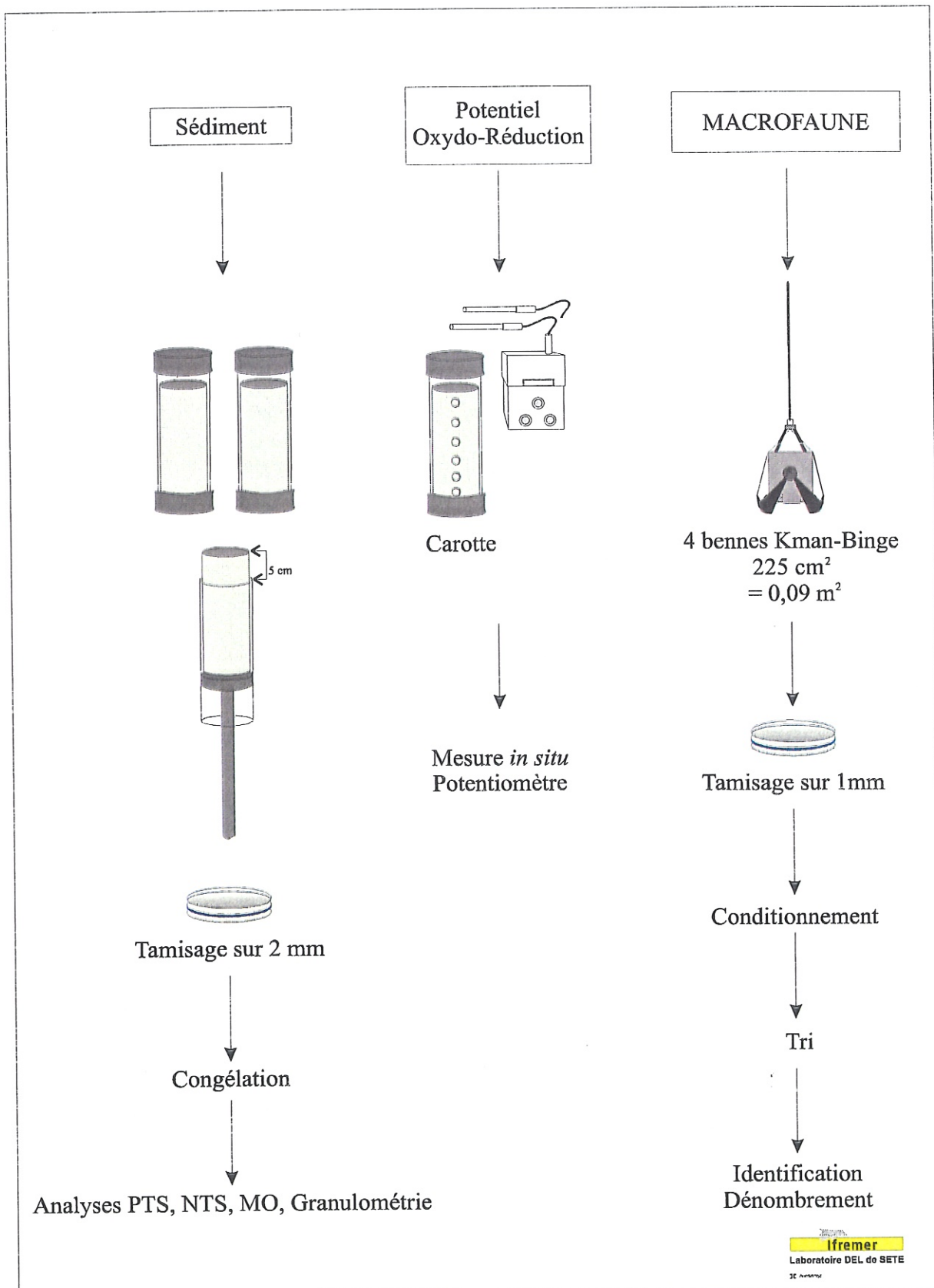


Figure I.8 : Protocole de traitement des sédiments.

Phytoplancton

Prélèvements

L'échantillonnage du phytoplancton est effectué simultanément avec celui de la colonne d'eau pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques (figures I.9 et I.10). Pour l'observation en microscopie, un volume de 1 litre est fixé au lugol (solution d'iode), puis conservé jusqu'à l'observation à l'abri de la lumière. Pour la cytométrie en flux, un échantillon de 1 ml est fixé avec 50 µl de formol (dans un tube cryogénique Nunc) et conservé dans l'azote liquide jusqu'au moment de l'analyse suivant la technique décrite par Troussellier et al. (1995).

Observations en microscopie

Les observations en microscopie photonique sont effectuées sur une fraction de l'échantillon (adaptée à l'abondance du phytoplancton) après sédimentation dans une chambre de comptage. Les comptages sont généralement effectués à un grossissement faible (x 10) pour les plus gros organismes et à un grossissement plus élevé (x 40) pour les cellules plus petites.

Cytométrie en flux

La cytométrie en flux est une technique d'analyse cellulaire importée relativement récemment du domaine médical dans le domaine des sciences aquatiques et plus spécialement en océanographie.

Le principe de fonctionnement de ces appareils est basé sur la mesure de processus physiques (lumineux) liés aux caractéristiques (morphologie et composition chimique) des cellules lorsqu'elles sont soumises à un éclairage convenable : il s'agit en particulier de la diffusion de la lumière par ces cellules mesurée à des angles différents, et en ce qui concerne le phytoplancton de la fluorescence naturelle liée à la présence des pigments chlorophylliens.

Pour obtenir des mesures cellule par cellule, ces appareils sont équipés d'un système de circulation du fluide de transport des cellules et d'injection de l'échantillon régulé de façon très précise de manière à ce que les cellules se présentent une à une dans la chambre de mesure et de comptage.

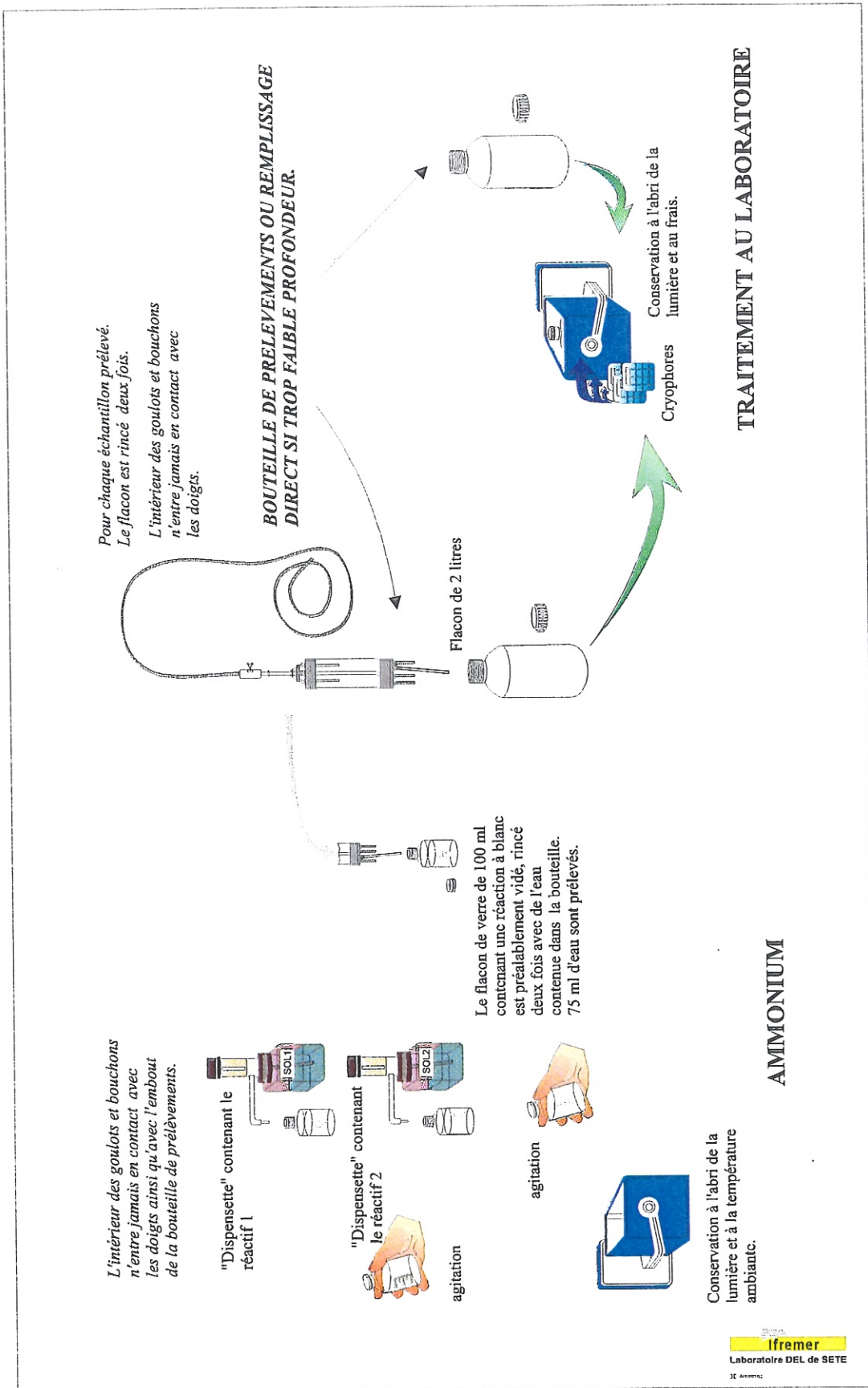


Figure I.9 : Protocole de prélèvement et de traitement de l'eau sur le bateau.

Dans le cadre de cette étude, le phytoplancton est dénombré à l'aide d'un cytomètre Brucker ACR 1400 SP. Les fluorescences liées aux pigments sont obtenues par excitation à 470-490 nm. Les fluorescences verte et rouge sont séparées à l'aide d'un filtre dichroïque large bande à 640 nm et récupérées respectivement à l'aide de filtres à 580 ± 20 nm et 680 ± 20 nm (Troussellier *et al.*, 1993). La fluorescence rouge est produite par la chlorophylle a, tandis que la fluorescente verte est due aux phycobiliprotéines. Ces dernières (phycocyanine et phycoérythrine) sont des pigments accessoires caractéristiques de certains groupes d'algues (Rowan, 1989) : Cyanophycées, algues bleu vertes ou Cyanobactéries, Rhodophycées - algues rouges, et Cryptophycées. Les algues comportant ces pigments fluorescents donc à la fois dans le vert et dans le rouge, ce qui permet de les distinguer des autres groupes d'algues.

Les signaux de diffusion lumineuse sont liés à des caractéristiques de taille des cellules. La diffusion lumineuse mesurée aux petits angles ($10-15^\circ$) serait plutôt liée à la taille des cellules, tandis qu'aux grands angles (90°) elle serait reliée au volume. Mais les mesures obtenues sont des valeurs relatives qui doivent être calibrées par rapport à des objets étalons. A cet effet des billes synthétiques et rendues fluorescentes sont analysées dans les mêmes conditions et permettent de situer les caractéristiques des cellules phytoplanctoniques par rapport à certaines limites.

Généralement les dimensions et les fluorescences relatives des cellules sont rapportées à des billes de 2 μm de diamètre fluorescentes dans le vert et le rouge. Cette taille sépare le picophytoplancton (cellules $< 2 \mu\text{m}$) des autres algues.

Cette technique permet donc de numérer la totalité du phytoplancton et de prendre en compte la fraction $< 2 \mu\text{m}$ qui généralement domine en abondance numérique les peuplements phytoplanctoniques dans la plupart des milieux aquatiques et qui n'est pas ou très difficilement observable en microscopie.

Par ailleurs la fluorescence verte permet de distinguer les Cyanophycées (ou Cyanobactéries) cellulaires par leur taille en général inférieure des Cryptophycées plus grosses souvent présentes dans les milieux côtiers.

Macrophytes

La stratégie d'échantillonnage des macrophytes était la même que celle concernant les caractéristiques physico-chimiques des sédiments.

Prélèvements

Les missions de terrain ont été réalisées du 4 juin au 5 juillet 1999, dans la période de prolifération maximale des macrophytes et avant les mortalités estivales. Un nombre variant de 1 à 10 (selon la couverture végétale) de prélèvements d'algues et de phanérogames (avec leurs racines) ont été effectués par plongée dans chaque zone à partir d'un cadre de 0,25 m². Ces prélèvements ont ensuite été stockés et conservés dans des sacs plastiques et au réfrigérateur, durant quelques heures jusqu'à leur étude en laboratoire. La surface occupée par l'ensemble des végétaux a été estimée pour chaque zone d'étude de manière visuelle. La nature du fond et l'ensemble des espèces présentes dans la zone étaient notés bien que toutes ne se retrouvent pas dans les prélèvements.

Les macrophytes des lagunes de Thau et de Leucate ont été étudiés dans le cadre d'un autre programme dans lequel l'IFREMER est impliqué. Le programme PNEC (Verlaque, 2000) met donc à notre disposition les données de macrophytes obtenues dans les étangs de Thau et de Leucate pour la construction de l'outil. Les résultats bruts de ces deux lagunes ne sont pas présentés.

Pour l'étang de Thau, les échantillonnages de macrophytes ont été effectués durant le printemps 1998, sur des zones de 100 hectares. Les bordures ont été prises en compte et les biomasses végétales ainsi que les proportions de chaque groupe végétal ont été définies à partir de la biomasse végétale totale en gramme de poids frais. Ces données ont été transformées en poids sec à partir d'un pourcentage d'eau macrophytique établi pour chacune des espèces.

Pour Leucate, les prélèvements ont été effectués au printemps 1999 par une équipe IFREMER du programme PNEC. Les relevés de végétaux sont donnés en poids humide par mètre carré, ils ont concerné 52 stations, ce qui fait un point tous les 10 hectares. Nous utilisons les données, après les avoir converties en poids secs, pour établir un diagnostic de la qualité macrophytique de l'étang. Le recouvrement moyen de la végétation de chaque zone n'a pas été indiqué ce qui ne nous permet pas de savoir si les prélèvements représentent uniquement une station ou bien s'ils sont représentatifs de l'ensemble de la zone.

Enfin, un survol en avion a été effectué sur l'ensemble des lagunes du jeu de référence. Les observations aériennes permettaient de confirmer les observations sur le terrain.

Traitement des échantillons

Pour chaque échantillon, les espèces algales et les phanérogames ont été déterminées par observations macroscopiques et microscopiques au laboratoire, triées, placées 24 heures dans une étuve à 110°C puis pesées afin de mesurer leur poids sec.

Macrofaune

En raison des coûts liés au dénombrement de toutes les espèces présentes dans les échantillons, l'étude de la macrofaune a été seulement effectuée aux stations centrales définies par l'étude de la colonne d'eau. A chaque station centrale, 3 «sous-stations» espacées de 100 à 300 mètres maximum ont été échantillonnées.

Prélèvements

Pour l'analyse de la macrofaune benthique, chaque sous-station a fait l'objet de quatre prélèvements à l'aide d'une benne Ekman-Birge (figure I.8). Celle-ci permet de prélever une surface de 225 cm², ce qui correspond à une surface échantillonnée de 0,09 m² par sous-station. Le sédiment ainsi prélevé a ensuite été tamisé sur une maille de 1 mm, et le refus a été fixé à l'aide d'une solution de formol et d'eau de mer (50 % v/v), puis coloré au Rose de Bengale pour en faciliter le tri.

Traitement des échantillons

Une fois au laboratoire, les échantillons ont été triés de manière à recueillir tous les animaux. Ceux-ci ont ensuite été déterminés jusqu'au niveau de l'espèce et dénombrés.

Colonne d'eau

Dans la colonne d'eau la variabilité temporelle prime sur la variabilité spatiale. La stratégie suivie pour la colonne d'eau était celle d'un suivi mensuel sur une année en un à deux points par écosystème selon la superficie. Les stations étaient placées centre de sous-bassins définis selon les contours de la lagune et les cotes du fond (correspondant à des « boîtes hydrodynamiques »).

Prélèvements

Les campagnes de prélèvements dans la colonne d'eau se sont déroulées de septembre 1998 à septembre 1999. Pour les stations de Thau, les prélèvements étaient effectués à deux profondeurs (1 m de la surface et 1 m du fond) à l'aide d'une bouteille de type Niskin. Pour les autres étangs, les prélèvements se font à l'aide de flacons de polypropylène de 2 L (figure I.9). Les échantillons pour le dosage de l'ammonium étaient fixés à bord à l'aide de réactifs. Les méthodes de prélèvements sont compatibles avec la norme ISO 5567-3:1994 et celles de conservation sont adaptées pour chaque paramètre selon Aminot et Chaussepied (1983).

Les lagunes méditerranéennes étant des écosystèmes marins, les niveaux de concentrations en substances azotées et phosphorées sont le plus souvent très inférieurs à ceux rencontrés dans les eaux douces. De plus, le milieu salé entraîne des modifications dans les protocoles d'analyses. Ces derniers sont donc adaptés aux eaux marines et les méthodes normalisées éditées par l'AFNOR ne sauraient être appliquées sans ces modifications. Les méthodes en milieu marin sont décrites avec précision dans deux ouvrages de références : Le manuel d'analyses chimiques en milieu marin d'Aminot et Chaussepied (1983) et le manuel d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer de Tréguer et Le Corre (1975).

Température et salinité

Les températures et salinités sont mesurées à l'aide d'une sonde de terrain WTW LF 197. Pour la salinité, la sonde est vérifiée tous les mois avec une eau standard (ampoules d'eau normale IAPSO38H5 OCEAN SCIENTIFIC). Pour la température, la sonde reçoit un contrôle métrologique chaque mois. La précision pour la température est de 0,1°C et pour la salinité de 0,1.

Remarque : La salinité n'a plus d'unité. Le fournisseur de l'Eau de Mer Standard IAPSO (Ocean Scientific International, 1997) recommande de reporter la salinité comme dans l'exemple suivant : « l'échantillon a une salinité de 35 ».

Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous dans les eaux lagunaires est la résultante des facteurs physiques (température), chimiques (salinité) et biologiques (production par photosynthèse ou consommation par respiration). L'effet de la température, et dans une moindre mesure celui de la salinité, masque les processus issus des phénomènes biologiques. L'équation de Weiss (1970), qui donne la concentration d'oxygène théorique ou "saturation" à partir de la température et de la salinité, permet de calculer le pourcentage d'oxygène dissous par rapport à la saturation (%SatO₂). La saturation ou solubilité est la quantité d'oxygène physiquement dissoute dans l'eau de mer en équilibre avec l'atmosphère à partir de la température et de la salinité.

$$\text{Pourcentage de saturation en Oxygène} = (\text{Concentration mesurée/Saturation}) \times 100$$

Les concentrations en oxygène dissous sont mesurées à l'aide d'une sonde WTW OXI 196. Le calibrage de la sonde est effectué par des mesures chimiques selon la méthode Winkler (Aminot, 1983). La saturation est calculée à partir de la température et de la salinité. La précision est de 5 %. Cette méthode correspond à la norme NF EN 25814 qui reproduit la norme internationale ISO 5814:1990.

Turbidité

La turbidité exprime la transparence du milieu, c'est à dire la pénétration de la lumière. Elle permet également une approche de la quantité de particules en suspension. Il existe plusieurs définitions de la turbidité. La plus courante fait référence à la lumière diffusée par les particules ou effet Tyndall. L'étalonnage se fait à l'aide de suspensions de formazine et les unités sont exprimées en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) appelées aussi FNU (Formazin Nephelometric Unit). L'eau à analyser doit être préalablement tamisée sur une toile de 200 µm. Un turbidimètre HACH 2100 A est standardisé avant chaque série de mesures. La précision de la méthode est d'environ 5 %.

Transparence au disque de Secchi

La transparence de l'eau peut s'exprimer en mètre de visibilité d'un repère immergé. Un disque de métal de 0,2 m de diamètre à quadrants noirs et blancs est immergé horizontalement par un filin gradué ou un tube rigide gradué. La transparence dite de Secchi est la profondeur

à laquelle il ne devient plus possible de faire la distinction entre portions noires et portions blanches.

Azote ammoniacal ou ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est considéré comme la plaque tournante du cycle de l'azote dans les écosystèmes côtiers. Ses concentrations dans les eaux marines sont souvent inférieures à $0,01 \text{ mg l}^{-1}$ voire indétectables. Il est donc impératif de doser l'ammonium dans une gamme de concentrations basses ($0,1$ à $10 \text{ } \mu\text{M}$) et à l'abri de toute pollution, qu'elle vienne de l'eau ou de l'air. C'est pourquoi les échantillons d'eau sont fixés à bord avec les réactifs puis analysés manuellement selon Koroleff (1976). Les résultats sont exprimés en micromoles par litre (μM) avec une précision de 5 %. Cette méthode correspond à la norme NF T 90-015 (méthode spectrophotométrique au bleu d'indophénol pour mesures en cuves de 50 mm).

La méthode est décrite avec précision dans Aminot et Chaussepied (1983).

Pour les eaux montrant une turbidité élevée (Or, Grec, etc.), un flacon non fixé par les réactifs était conservé afin d'en mesurer la densité optique brute. Cette dernière était soustraite à celle obtenue pour l'échantillon fixé avec les réactifs.

Nitrites (NO_2^-)

L'eau à analyser doit être préalablement filtrée sur membrane GF/F Whatman (figure I.10). Les nitrites sont mesurés à l'aide d'un Auto-Analyser EV2 ALLIANCE selon Tréguer et Le Corre (1975). Les résultats sont exprimés en micromoles par litre avec une précision de 1 %. Cette méthode correspond à la norme NF EN ISO 13395.

Nitrates (NO_3^-)

L'eau à analyser doit être préalablement filtrée sur membrane GF/F Whatman (figure I.10). Les échantillons sont stockés à -20°C dans des flacons de Pyrex avant analyse colorimétrique sur un Auto-Analyser EV2 ALLIANCE selon Tréguer et Le Corre (1975) [précision : $\pm 1 \%$]. Cette méthode correspond à la norme NF EN ISO 13395. En additionnant les concentrations en azote ammoniacal, nitrates et nitrites, on obtient la quantité totale en sels d'azote disponible à la production primaire. Cette quantité, appelée Azote Inorganique Dissous ou NID, s'exprime en micromoles par litre (μM).

$$[\text{NID}] = [\text{NH}_4^+] + [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-]$$

Phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphore, dont la forme minérale majoritaire est sous forme d'orthophosphate, est dosé selon la méthode colorimétrique de Murphy et Riley (1962). L'eau à analyser doit être préalablement filtrée sur membrane GF/F Whatman (figure I.10). Les échantillons sont stockés à - 20°C dans des flacons de Pyrex avant analyse. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un Auto-Analyser EV2 ALLIANCE selon Tréguer et Le Corre (1975). Les résultats sont exprimés en micromoles par litre avec une précision de 1 %. Cette méthode correspond à la norme NF EN 1189 (dosage des orthophosphates à l'aide du molybdate d'ammonium). La méthode proposée par l'AFNOR pour les eaux de mer, qui procède à l'extraction au solvant, n'est pratiquement jamais utilisée par les chimistes marins.

Silicates (Si)

Les silicates ne constituent un sel nutritif que pour les espèces phytoplanctoniques à test siliceux (diatomées, chrysophycées, silicoflagellés), mais ils sont aussi nécessaires aux diatomées benthiques et épibiontiques. Leurs concentrations dans les eaux lagunaires peuvent donc conditionner l'utilisation des apports d'azote et de phosphore par les microphytes. L'eau à analyser doit être préalablement filtrée sur membrane GF/F Whatman (figure I.10). Les échantillons sont stockés à 4°C dans des flacons de polyéthylène avant analyse. Le dosage colorimétrique est basé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui donne une coloration bleue. Les mesures sont effectuées sur un Auto-Analyser EV2 ALLIANCE selon Tréguer et Le Corre (1975). Les résultats sont exprimés en micromoles par litre avec une précision de 1 %. Cette méthode correspond à la variante de la norme NF T 90-007 adaptée aux faibles concentrations d'ions silicates. La méthode colorimétrique est modifiée pour des concentrations inférieures à 2 mg l⁻¹ (environ 70 µM).

Azote total (NTE)

L'azote Total (NTE) dans l'eau comprend les sels de l'azote ou NID et toutes les formes d'azote organique qu'elles soient vivantes ou détritiques. Ce paramètre n'intègre pas l'azote gazeux (N₂), forme neutre qui n'intervient pas de façon significative dans les phénomènes d'eutrophisation. L'eau à analyser doit être préalablement tamisée sur une toile de 200 µm. Les échantillons sont stockés à - 20°C dans des flacons de Pyrex avant analyse. Le principe de la méthode est une oxydation chimique au persulfate de potassium à chaud et en milieu basique selon Raimbault et Slawyk (1991). Toutes les formes d'azote (N₂ excepté) de l'échantillon d'eau sont oxydées en nitrate qu'il reste à doser selon la méthode précitée. Les

résultats sont exprimés en micromoles par litre avec une précision de 5 %. Cette méthode correspond à la norme internationale ISO 11905-1:1997.

Phosphore total (PTE)

Les composés du phosphore sont transformés en phosphates par oxydation à chaud et sous pression au peroxydisulfate. L'eau à analyser doit être préalablement tamisée sur une toile de 200 µm. Les échantillons sont stockés à - 20°C dans des flacons de Pyrex avant analyse. Les concentrations de phosphates sont mesurées selon la méthode précitée [précision : ± 5 %]. Cette méthode correspond à la norme NF EN 1189.

Chlorophylles (a, b et c)

Dans chaque prélèvement effectué dans les stations de l'étude, une fraction aliquote de 50 ml est filtrée sur filtre Whatman GF/F de porosité nominale de 0,7 micron et 25 mm de diamètre. Cette porosité permet de retenir les cellules phytoplanctoniques les plus petites connues du picophytoplancton (environ 0,7 à 0,9 µm). Le filtre est conservé à - 20°C jusqu'au moment de l'analyse.

La méthode de dosage des pigments retenue est la méthode spectrofluorimétrique de Neveux *et al.*, 1993), basée sur les mesures de fluorescence pour plusieurs paires (excitation-émission) de longueurs d'onde (30 au total) et une calibration effectuée avec des pigments étalon (chlorophylle a et b de SIGMA et chlorophylle-c de VKI-Danemark), et leurs produits de dégradation obtenus par acidification (phéophytines correspondantes). L'extraction est effectuée par broyage du filtre dans une solution à 90 % d'acétone RPE dans de l'eau distillée et macération pendant 24 heures à 4°C et à l'obscurité. Les mesures sont effectuées systématiquement à 24 heures sur le surnageant obtenu après centrifugation pendant 10 minutes. La méthode de calcul de Neveux permet de quantifier les chlorophylles a, b et c ainsi que les phéophytines a, b et c.

Cette méthode a l'avantage de combiner la sensibilité de la mesure fluorimétrique (Holm-Hansen *et al.*, 1965) et la détermination simultanée des principaux pigments chlorophylliens (obtenue dans la méthode spectrophotométrique de Strickland et Parsons, 1963). La sensibilité de la fluorimétrie permet de limiter le volume filtré nécessaire à l'analyse de quelques millilitres à quelques dizaines de millilitres d'échantillon. Ceci a pour conséquence de diminuer le temps de filtration et la dépression nécessaire pour cette dernière, et corrélativement les risques de perte par bris des cellules et la dégradation des pigments.

Chapitre II

SEDIMENTS

TRAITEMENT DES DONNEES	41
DONNÉES BRUTES	41
RÉSULTATS	41
CARTOGRAPHIE.....	42
RESULTATS PAR VARIABLE.....	46
VARIABLES PHYSIQUES	46
<i>Profondeur</i>	46
<i>Particules fines ou vases</i>	52
<i>Sables fins</i>	55
<i>Sables grossiers</i>	56
<i>Potentiel d'oxydo-réduction</i>	58
VARIABLES CHIMIQUES	63
<i>Matière organique</i>	63
<i>Azote total dans les sédiments ou NTS</i>	69
<i>Phosphore total dans les sédiments ou PTS</i>	69
RESULTATS PAR ECOSYSTEME	72
<i>Etang de l'Or</i>	72
<i>Etang du Grec</i>	72
<i>Etang d'Ingril</i>	72
<i>Etang de Bages</i>	72
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	73
<i>Etang de Campagnol</i>	73
<i>Etang de Gruissan</i>	73
<i>Etang de Thau</i>	73
<i>Etang de Leucate</i>	74
DIAGNOSTIC ET CHOIX DES VARIABLES	75
VARIABLES PHYSIQUES	75
<i>Profondeur</i>	75
<i>Granulométrie</i>	75
<i>Potentiel d'oxydo-réduction</i>	75
VARIABLES CHIMIQUES	76
<i>Matière organique</i>	76
<i>Azote Total Sédiments (NTS)</i>	76
<i>Phosphore Total Sédiments (PTS)</i>	77
CONSTRUCTION DE LA GRILLE DE SEUILS.....	78
Matière organique	78
AZOTE TOTAL.....	78

PHOSPHORE TOTAL.....	78
DÉTERMINATION DE L'ÉTAT GÉNÉRAL.....	93
RESULTATS DES GRILLES DE QUALITE.....	95
<i>Etang de l'Or</i>	95
<i>Etang du Grec</i>	95
<i>Etang d'Ingril</i>	96
<i>Etang de Bages</i>	97
<i>Etang de l'Ayrolle</i>	98
<i>Etang de Campagnol</i>	98
<i>Etang de Gruissan</i>	98
<i>Etang de Thau</i>	99
<i>Etang de Leucate</i>	102
DIAGNOSTIC DES SEDIMENTS.....	104

TRAITEMENT DES DONNEES

Données brutes

Les résultats bruts sont présentés dans les tableaux II.1 et II.2. Les dates de prélèvements sont indiquées dans le tableau II.3

Tableau II.3 : Dates de prélèvements des sédiments dans les lagunes

Lagune	Dates
Or	8-10 juin 1999
Grec	21 juin 1999
Ingril	4 juin 1999
Bages	23-29 juin 1999
Ayrolle	1-2 juillet 1999
Campagnol	2 juillet 1999
Gruissan	5 juillet
Thau	mai-juin 1998
Leucate	3-11 juin 1999

Les données concernant les étangs de Thau et de Leucate ont été recueillies dans le cadre d'autres programmes et ne sont donc pas présentées.

Résultats

Les graphiques sont traités par STATGRAPHICS4 sous Windows95. Les données sont présentées sous forme de « boîte à moustache », traduction de « Box-and-Wisker plot », qui permettent de représenter pour chaque paramètre l'ensemble des données de toutes les stations (figure II.1).

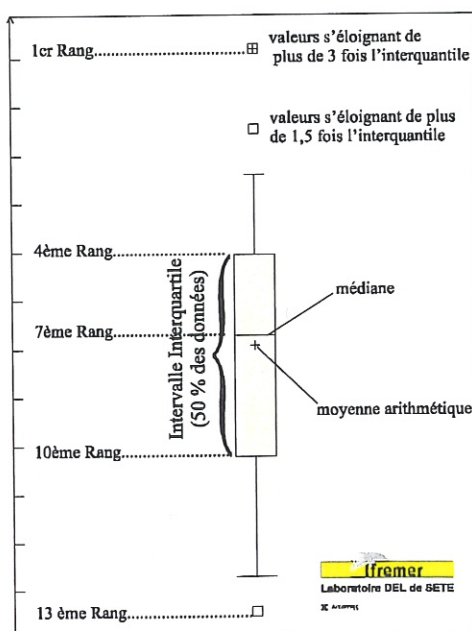


Figure II.1 : Résumé des caractéristiques du diagramme « boîte à moustache ». Exemple de distribution avec 13 valeurs.

Les données sont divisées en 4 aires d'égal fréquence. La boîte elle-même contient 50 % des données. Si l'on considère un exemple de 13 valeurs :

- la limite supérieure de la boîte correspond au 4^{ème} rang
- la limite inférieure correspond au 10^{ème} rang
- la barre horizontale représente la médiane qui correspond au 7^{ème} rang
- l'intervalle interquartile (I) correspond à la hauteur de la boîte et se calcule en retranchant la dixième valeur à la quatrième
- les moustaches couvrent les valeurs situées à moins de $1,5 \times I$
- les valeurs s'éloignant de plus de $1,5 \times I$ sont représentées par des carrés vides. Elles correspondent à des valeurs exceptionnelles
- les valeurs s'éloignant de plus de $3 \times I$ sont représentées par des carrés avec une croix. Ces valeurs peuvent être interprétées comme très exceptionnelles.

Cartographie

En toute rigueur, le krigeage ne peut être utilisé en raison du manque de point. Mais les grandes lagunes (Or, Bages, Thau et Leucate) ont quand même été cartographiées avec le logiciel Surfer à titre d'illustration :

- distribution des profondeurs, vases sables et sables fins
- distribution de la matière organique, de l'azote et du phosphore

Les cartes de krigeage issues des profondeurs des prélèvements permettent de pallier au manque général d'informations rigoureuses sur les bathymétries des lagunes du Languedoc-Roussillon. Mais elles ne sauraient se substituer à de vraies cartes bathymétriques comme il en existe pour quelques lagunes comme Thau.

Tableau II.1 : Données brutes des caractéristiques physico-chimiques des sédiments

NOMECO	NONMST	NST	ST	LAT	LONG	PROF	%MOD	NT	PT	0-2μ %	2-20μ %	20-50μ %	50-200μ %	200μ-2mm %
OR	ORW	1	1	43°33 644	3°58 249	0,9	9,9							
OR	ORW	1	2	43°33 336	3°58 800	1,1	7,2	2,25	547	27,5	21,7	10,7	6,5	33,5
OR	ORW	1	3	43°33 984	3°58 792	0,9	5,4							
OR	ORW	1	4	43°33 611	3°59 360	1,2	6,0	2,20	523	30,3	17,8	11,6	9,5	30,9
OR	ORW	1	5	43°34 354	3°59 335	0,6	10,5							
OR	ORW	1	6	43°33 963	3°59 875	1,2	8,2	3,78	609	30,8	25,2	8,2	3,3	32,6
OR	ORW	1	7	43°33 693	4°00 272	0,9	5,1	1,02	485	10,9	9,4	16,2	27,3	36,2
OR	ORW	1	8	43°34 756	3°59 905	0,8	9,4							
OR	ORW	1	9	43°34 335	4°00 412	1,3	8,5	3,63	598	34,1	24,1	4,9	3,3	33,6
OR	ORW	1	10	43°34 022	4°00 975	1,1	6,2	2,19	540	25,7	17,0	14,5	12,7	30,1
OR	ORW	1	11	43°35 101	4°00 415	0,7	7,2							
OR	ORW	1	12	43°34 727	4°00 943	1,2	11,8	3,69	667	33,0	31,3	5,3	3,1	27,4
OR	ORW	1	13	43°34 326	4°01 466	1,3	10,4	4,00	643	36,2	29,9	5,9	3,2	24,8
OR	ORW	1	14	43°33 991	4°01 961	1,1	7,7	3,10	643	27,6	21,4	15,6	11,0	24,4
OR	ORW	1	15	43°35 140	4°01 634	0,9	9,6	3,88	627	32,8	27,4	10,7	8,7	20,4
OR	ORW	1	16	43°34 705	4°01 990	1,3	9,2	3,62	590	32,0	27,2	4,4	4,3	32,0
OR	ORE	2	17	43°34 254	4°02 483	1,2	5,4	3,39	642	34,9	23,8	3,3	4,4	33,6
OR	ORE	2	18	43°35 566	4°02 190	0,8	8,4	3,39	548	29,7	24,6	7,1	7,2	31,4
OR	ORE	2	19	43°35 070	4°02 465	1,1	6,8	3,91	639	36,0	24,2	5,3	5,3	29,1
OR	ORE	2	20	43°34 662	4°03 057	1,3	4,8	3,28	604	30,2	21,4	10,6	7,9	30,0
OR	ORE	2	21	43°34 497	4°03 724	1,2	7,8	3,42	602	31,9	26,5	8,0	8,5	25,1
OR	ORE	2	22	43°35 568	4°02 952	0,7	10,7							
OR	ORE	2	23	43°35 045	4°03 587	1,2	10,0	3,97	707	35,4	25,7	6,2	4,9	27,8
OR	ORE	2	24	43°34 795	4°04 301	1,0	10,9	5,00	826	28,8	30,4	7,1	2,3	31,3
OR	ORE	2	25	43°35 793	4°03 683	0,8	5,4	3,36	596	33,7	19,6	10,0	12,7	24,0
OR	ORE	2	26	43°35 417	4°04 157	1,2	4,8	3,67	663	35,5	24,9	5,5	6,5	27,5
OR	ORE	2	27	43°35 067	4°04 157	0,9	6,0	4,13	760	36,0	25,0	7,6	9,1	22,2
OR	ORE	2	28	43°36 113	4°04 403	0,6	7,7	2,87	513	39,7	26,2	8,0	8,9	17,2
OR	ORE	2	29	43°35 856	4°04 737	1,0	7,3	3,62	587	35,6	25,4	7,2	8,9	23,0
OR	ORE	2	30	43°35 769	4°05 271	0,7	6,2	4,06	711	33,2	29,2	17,2	13,8	6,6
OR	ORE	2	31	43°35 662	4°05 801	0,6	5,5	3,19	549	25,1	18,1	12,0	14,2	30,6
OR	ORE	2	32	43°35 662	4°01 801	0,6	7,4	3,46	603	30,5	19,1	9,8	7,9	32,8
GREC	GRE	3	2	43°32 30	3°56 20	0,4	11,3	4,28	1130	33,6	42,3	18,0	3,7	2,4
GREC	GRE	3	3	43°32 33	3°65 53	0,5	7,3	2,25	802	21,5	23,0	28,8	7,4	19,4
GREC	GRE	3	4	43°32 42	3°65 92	0,2	3,8	1,24	648	14,2	10,5	16,3	32,0	27,0
GREC	GRE	3	5	43°32 57	3°57 36	0,3	10,2	3,77	995	33,9	42,3	19,1	3,9	0,8
GREC	GRE	3	6	43°32 63	3°57 71	0,1	6,6	1,84	677	19,2	22,6	27,3	16,5	14,3
INGRIL	INS	4	4	43°26 336	3°46 362	0,9	5,0	1,65	388	35,2	35,2	18,1	3,4	8,1
INGRIL	INS	4	5	43°26 635	3°47 872	1,2	9,5	3,05	566	26,4	26,7	22,0	9,9	15,0
INGRIL	INS	4	6	43°27 089	3°47 872	0,5	4,8	1,13	317	6,9	6,9	8,5	21,5	56,2
INGRIL	INS	4	7	43°27 407	3°48 573	0,4	2,8	0,79	384	5,6	3,2	5,6	21,3	64,4
INGRIL	INN	5	1	43°26 906	3°46 663	0,7	12,6	4,93	807	40,4	33,5	11,4	4,1	10,5
INGRIL	INN	5	2	43°27 184	3°47 546	0,8	8,6	3,02	461	24,2	20,6	11,4	8,2	35,7
INGRIL	INN	5	3	43°27 432	3°47 966	0,5	6,7	2,43	357	13,8	12,5	14,9	7,5	51,2

Tableau II.1 (suite) : Données brutes des caractéristiques physico-chimiques des sédiments

NOME	CO	NONMST	NST	ST	LAT	LONG	PROF	%MOD	NT	PT	0-2µ %	2-20µ %	20-50µ %	50-200µ %	200µ-2mm %
BAGES	BGN	6	1	43°08 803	2°59 693	1,1	6,8	2,08	562	37,8	33,6	9,1	7,0	12,5	
BAGES	BGN	6	2	43°08 292	2°59 647	1,6	6,3	2,26	595	34,0	33,5	9,8	6,2	16,6	
BAGES	BGN	6	3	43°08 393	3°00 013	1,9	6,5	2,57	700	39,0	38,7	7,9	4,3	10,1	
BAGES	BGN	6	4	43°07 810	2°59 675	1,4	6,0	2,34	589	40,4	41,2	5,6	5,8	7,0	
BAGES	BGN	6	5	43°07 815	3°00 418	2,3	5,4	2,15	621	35,3	35,4	10,8	8,2	10,3	
BAGES	BGN	6	6	43°07 004	2°59 652	1,1	5,1	1,59	511	27,2	28,2	26,6	12,9	5,1	
BAGES	BGN	6	7	43°06 920	3°00 411	1,0	1,3	0,39	387	7,8	3,4	5,9	29,6	53,3	
BAGES	BGN	6	8	43°06 325	2°58 991	1,2	3,6	1,20	471	25,0	21,6	26,1	22,5	4,8	
BAGES	BGN	6	9	43°06 379	2°59 658	1,8	3,8	1,34	441	28,6	23,8	15,6	19,0	13,0	
BAGES	BGN	6	10	43°06 358	3°00 429	2,3	5,5	1,36	515	25,2	20,4	13,7	27,2	13,5	
BAGES	BGN	6	11	43°06 335	3°01 110	1,6	2,6	0,36	317	9,5	2,3	5,3	24,7	58,2	
BAGES	BGM	7	12	43°05 705	2°59 678	1,2	2,8	1,12	376	23,2	17,2	12,1	24,6	22,8	
BAGES	BGM	7	13	43°05 839	3°00 416	2,4	3,2	1,44	489	21,6	17,9	19,2	26,5	14,8	
BAGES	BGM	7	14	43°05 820	3°01 210	2,2	3,3	0,39	423	7,9	2,9	5,7	43,9	39,7	
BAGES	BGM	7	15	43°04 606	2°58 131	0,9	6,2	6,02	542	30,1	29,5	21,6	9,3	9,5	
BAGES	BGM	7	16	43°04 982	2°59 005	0,6	4,9	1,99	594	28,2	25,8	17,4	13,6	15,0	
BAGES	BGM	7	17	43°04 980	2°59 664	1,5	1,9	1,31	456	26,0	24,3	17,4	18,5	13,7	
BAGES	BGM	7	18	43°05 350	3°00 419	2,1	2,0	0,99	417	20,8	12,4	23,0	33,0	10,9	
BAGES	BGM	7	19	43°05 338	3°01 223	0,7	0,7	0,16	241	2,8	0,0	-0,2	9,9	87,6	
BAGES	BGM	7	20	43°04 581	2°58 775	1,5	4,2	1,72	577	27,5	23,0	18,0	26,3	5,2	
BAGES	BGM	8	25	43°03 991	3°01 214	0,8	6,1	2,02	434	27,6	23,0	20,2	18,5	10,8	
BAGES	BGM	7	23	43°04 310	2°59 677	1,6	4,2	1,75	404	27,7	23,7	13,5	31,6	3,5	
BAGES	BGM	7	26	43°03 655	2°59 670	1,4	7,0	1,54	513	27,2	24,3	22,7	16,9	8,8	
BAGES	BGS	8	21	43°04 845	3°01 400	1,7	3,5	1,31	464	30,5	28,9	20,6	13,9	6,2	
BAGES	BGS	8	24	43°04 313	3°01 419	2,1	3,1	1,20	456	23,7	22,9	17,9	27,8	7,7	
BAGES	BGS	8	27	43°03 642	3°00 426	2,0	2,8	1,38	456	39,4	3,9	29,6	15,6	11,5	
BAGES	BGS	8	28	43°03 001	3°01 013	1,0	4,6	1,37	410	25,4	20,4	33,3	15,3	5,6	
BAGES	BGS	8	29	43°03 290	3°01 659	1,8	3,9	1,14	391	20,6	19,7	28,2	21,3	10,2	
BAGES	BGS	8	30	43°02 730	3°01 634	1,6	3,5	1,06	393	20,5	20,7	27,8	23,0	8,1	
BAGES	BGS	8	31	43°02 550	3°02 415	1,7	2,0	0,34	292	5,5	2,3	24,9	61,7	5,6	
BAGES	BGS	8	33	43°02 216	3°01 755	0,4	2,2	0,92	353	15,6	7,6	20,0	27,1	29,5	
BAGES	BGS	8	34	43°01 980	3°02 195	0,4	5,2	1,36	423	16,4	11,3	36,4	35,1	0,8	
AYROLLE	AYR	9	1	43°05 415	3°02 649	0,3	2,9	1,09	430	9,2	5,1	8,5	34,0	43,1	
AYROLLE	AYR	9	2	43°04 800	3°04 184	0,6	1,3	0,35	304	6,6	1,3	5,6	47,2	39,3	
AYROLLE	AYR	9	3	43°05 102	3°02 250	0,6	3,2	0,93	310	3,2	1,1	5,7	70,7	19,3	
AYROLLE	AYR	9	4	43°04 858	3°02 825	0,5		0,43	255	19,3	16,7	15,0	38,6	10,4	
AYROLLE	AYR	9	5	43°04 614	3°03 563	0,3	3,8	1,45	400	17,9	12,4	10,4	34,5	24,7	
AYROLLE	AYR	9	6	43°04 405	3°04 255	0,7	1,6	0,49	324	8,6	3,3	14,2	48,4	25,5	
AYROLLE	AYR	9	7	43°03 950	3°04 372	0,2	1,4	0,45	268	6,2	0,6	6,7	78,2	8,3	
AYROLLE	AYR	9	8	43°04 610	3°01 898	0,8	1,9	0,62	295	8,5	2,1	10,7	36,4	42,3	
AYROLLE	AYR	9	9	43°04 360	3°02 600	1,0	1,5	2,66	506	23,0	24,4	28,5	14,0	10,2	
AYROLLE	AYR	9	10	43°04 166	3°03 244	0,6	1,9	0,50	261	6,0	1,6	4,3	41,7	46,3	
AYROLLE	AYR	9	11	43°03 905	3°03 936	0,4	4,1	0,42	270	7,0	0,9	5,6	71,3	15,2	
AYROLLE	AYR	9	12	43°04 051	3°02 226	1,1	1,7	0,44	257	6,7	1,9	4,9	59,0	27,5	
AYROLLE	AYR	9	13	43°03 643	3°02 984	0,5	0,8	0,20	232	3,7	0,0	0,5	21,9	73,8	
AYROLLE	AYR	9	14	43°03 500	3°03 705	0,3	2,1	0,54	281	7,2	1,9	9,1	75,0	6,7	
CAMPIGNOL	CAM	10	1	43°06 134	3°02 714	0,6	2,6	0,94	515	21,6	20,5	14,9	32,4	10,6	
CAMPIGNOL	CAM	10	2	43°06 080	3°02 891	0,8	4,1	1,53	542	25,6	25,8	19,1	26,1	3,3	
CAMPIGNOL	CAM	10	3	43°05 887	3°02 681	0,5	5,5	2,25	630	5,6	2,4	2,1	16,4	73,5	
CAMPIGNOL	CAM	10	4	43°05 921	3°02 743	0,6	4,0	1,83	566	17,8	15,5	16,1	45,9	4,7	
GRUISSAN	GRU	11	1	43°06 840	3°04 474	0,5	6,5	3,01	480	33,2	28,2	11,5	4,5	22,7	
GRUISSAN	GRU	11	2	43°06 872	3°04 990	0,8	5,6	2,90	454	32,7	25,5	15,3	5,9	20,6	
GRUISSAN	GRU	11	3	43°06 806	3°05 264	0,4	5,0	1,64	340	17,3	10,8	6,4	12,4	53,2	

CHAPITRE II. SEDIMENTS

Tableau II.2 : Potentiel d'oxydo-réduction du sédiment (mV) à différentes profondeurs pour chaque sous-stations.

Station	ORW									ORE									GRE									
Sous-station	1			2			3			1			2			3			1			2			3			
Carottier	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
- 2 cm	-10	+60	-150	+40	-50	+90	0	-80	-150	+160	-50	0	+10	+110	+60	+20	+110	+90	+20	0	-40	+60	-110	+60	+50	+70	+50	
-4 cm	-140	-90	-110	-150	-100	-160	-60	-170	-70	-10	-80	-110	-120	-20	-80	-110	-10	+70	0	-10	-140	-80	-70	+10	-60	-10	0	
-6 cm	-170	-150	-170	-190	-190	-200	-60	-200	-170	-70	-130	-130		-110	-130	-140	-120	-40	-40	-40	-180	-150	-50	+30	-150	-40	-130	
-8 cm	-90	-70	-180	-210	-210	-200	-180	-210	-180	-90	-140	-150	-130	-120	-150	-150	-160	-140	-160	-100	-170	-180	-100	-80	-170	-170	-170	
-10 cm	-170	-180	-190	-190	-210	-210	-200	-220	-200	-120	-150	-150	-150	-150	-150	-160	-150	-160	-180	-150	-180	-200	-160	-130	-190	-190	-180	
-12 cm	-190	-200	-190	-200	-200	-210	-210	-220	-200	-120	-150	-80	-150	-160	-150	-150	-160	-160	-170	-170	-190	-180	-190	-160	-220	-200	-200	
-14 cm	-200	-200	-190	-210	-210	-210	-220	-210	-210	-140	-150	-140	-150	-150	-140	-160	-160	-160	-190	-180	-190	-190		-180	-210	-200	-200	
-16 cm	-200		-190	-210	-210	-190	-220	-210	-200	-130	-150	-110	-150		-160	-160		-170		-190	-200	-190					-210	
-18 cm				-210	-210	-200	-220	-200	-210	-130	-150		-110		-160	-160												
-20 cm													-110		-160	-170												
-22 cm																												

Station	INS									INN									BGN								
Sous-station	1			2			3			1			2			3			1			2			3		
Carottier	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
- 2 cm	-70	-80	+60	-50	-60	-100	+30	-160	-40	+150	+20	+150	-170	+10	-90	+150	+70	+170	0	+150	-30	+10	+20	-20	+10	+30	+80
-4 cm	-90	-180	-110	-120	0	-170	-50	-230	-70	0	-30	+50	+40	-140	-120	+70	-10	+140	-100	+130	-150	-10	-60	-70	-20	-90	-30
-6 cm	-60	-180	+90	-150	-160	-190	-20	-210	-100	-10	-100	-130	-160	-90	-110	-140	-80	-80	-170	+10	-200	-170	-170	-130	-10	-130	-170
-8 cm	-140	+40	-150	-170	-180	-60	-30	-220	+140	-30	-150	-130	-200	-70	-160	-160	-150	-30	-200	-150	-220	-160	-230	-180	-90	-170	-190
-10 cm	-50	-140	-140	-180	-40	+30	-160	-220	-100	-20	-10	-110	-180	-180	-110	-180	-140	-140	-210	-180	-230	-190	-190	-200	-90	-180	-190
-12 cm		-190	+90	-170			-90	-70	-100	-150	-10	-190		-190		-160	-170	-110	-220	-190	-230	-190	-210	-200	-140	-190	-200
-14 cm		-150	+60	-30			-80	-50		-150				-180	-130	-180	-150	-120	-220	-210	-260	-190	-210	-200	-140	-180	-200
-16 cm			+30							-180				-130	-130	-170	-150		-220	-210		-200	-210	-210	-190	-200	-200
-18 cm														-170		-180					-200	-200					
-20 cm																					-230	-190					
-22 cm																											

Station	BGS									AYR									CAM								
Sous-station	1			2			3			1			2			3			1			2			3		
Carottier	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
- 2 cm	+130	+140	+50	-150	-140	+110	-10	-80		+170	+140	+180	+120	+150	+180	+170	+150	+170	+20	+60	+30	+180	+40	0	+180	-20	+60
-4 cm	-60	-70	-100	-160	-150	+60	-80	-80	-80	-170	-40	-20	-50	+110	+120	+100	-120	+180	-110	0	-60	0	+10	-40	+50	-20	+30
-6 cm	-160	-100	-210	-180	-170	-130	-140	-100	-130	-200	-210	-90	-140	-10	-110	-180	-120	-170	-50	-30	-180	+20	+70	-40	-30	+50	
-8 cm	-170	-130	-200	-180	-170	-170	-170	-160	-150	-200	-190	-170	-160	-100	-110	-200	-190	-190	-30	-140	-150	-200	+10	-90	+30	-120	+40
-10 cm	-190	-140	-210	-180	-200	-160	-170	-180	-160	-210	-190	-150	-250	160	-180	-220	-230	-200	+80	-50	-190	-130	+30	-30	-10	-90	-10
-12 cm	-200	-160	-200			-160	-170	-190	-170	-280	-190	-200	-210	-160	-210	-260	-210	-200	-80	-70	-120	-120	-10	-130	-30	-130	-80
-14 cm	-190	-170	-220			-170	-180	-190	-170	-250	-170	-220	-250	-190	-240		-230		-60	-70	-180			-180	-60	-130	+70
-16 cm	-190	-170	-210			-170	-160	-190	-170	-120	-300	-260	-210	-220				-40	-20	-140	-20			-110	-166	+80	
-18 cm	-190	-170	-210			-170	-190	-200		-160	-280		-210	-220						-120				-130		-20	
-20 cm	-190		-200			-160		-180		-200	-160		-190							-110							
-22 cm						-160				-160	-180																

Station	GRU									TW									TE								
Sous-station	1			2			3			1			2			3			1			2			3		
Carottier	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
- 2 cm	+170	+170	+180	+100	+30	+240	-10	+60	+60	+130	+150	+190	+140	-110	+10	+30	+60	+190	+150	+30	+40	+140	+50	+230	+150	+100	
-4 cm	+70	+60	+90	+90	+10	+110	-70	+50	+60	-70	+150	+120	-10		-60	-60	-110		-90	-10	0	-50	+40	0	+20	+140	+80
-6 cm	+20	+110	+70	+90	+30	+60	-90	-110	-50	-230	+100	+90	+30	-10	-190	-150			-170	-80	-90	-80	-50	-10	+20	+60	+80
-8 cm	+40	+140	-70	+130	+30	+70	-100	-100	-130	-210	0	+30	+120	+10	-110	-300	-110		-180	-110	-100	-100	-60	-50	+30	+50	+60
-10 cm	+10	+20	-10		+10	+70	-100		-150	-110	+40	+80	0		-150	-260	-190		-180	-140	-130	-110	-80	-60	+20	+20	+50
-12 cm					+30		-110	-130	-130		+10	-30			-150	-210	-220		-180	-150	-140	-130	-70	-90	+10	+10	+40
-14 cm							-140	-160	-120	-30	0	-30			-200				-180	-150	-140	-130	-90	-110	+10	+20	+20
-16 cm								-120	-150	0		-40			-190				-180	-150	-140		-100	-110	+10	+20	+10
-18 cm									-140	-110		-30								-140		-110	-110		+20	0	
-20 cm									-120	-30																	
-22 cm																											

Station	LES									LEN								
Sous-station	1			2			3			1			2			3		
Carottier	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
- 2 cm	+20	+10	+10	+120	+110	+10	-10	-20	-10	-90	-20	+10	-120	+160	+110	-40	-50	+10
-4 cm	-90	-110	-50	-110	0	-100	-80	-110	-110	-110	-70	-110	-120	0	-110	-30	-100	+80
-6 cm	-150	-100	-130	-160	-100	-150	-160	-160	-130	-130	-130	-160	-120	-50	-100	-10	-170	-50
-8 cm	-150	-160	-150	-160	-170		-170	-160	-160	-160	-120	-100	-170	-60		-110	-140	-40
-10 cm	-160	-170	-160	-160	-160		-170			-130	-120	-120	-150	-140	-170	-110	-170	-70
-12 cm	-170	-170	-170		-160			-180		-160		-140	-150		-170	-130	-180	-100
-14 cm	-170	-170	-170							-170			-180	-140	-200	-160		-100
-16 cm	-170	-170	-170							-170				-170	-160	-170		-100
-18 cm	-170	-170												-150	-180			
-20 cm	-150	-170												-170				
-22 cm																		

RESULTATS PAR VARIABLE

Variables physiques

Profondeur

De façon générale, il n'existe pas de bathymétrie précise des lagunes. Le plus souvent, les bathymétries sont connues grâce aux études scientifiques qui relèvent les hauteurs d'eau à chaque campagne d'étude. Selon les conditions météorologiques, les hauteurs d'eau peuvent varier de plusieurs dizaines de cm. Dans les étangs peu profonds (< 1m), certains secteurs immergés habituellement peuvent se retrouver à découvert lorsque les effets des marées et des vents s'additionnent pour entraîner les eaux lagunaires dans le milieu extérieur.

Aussi, les bathymétries décrites dans cette étude ne peuvent conduire qu'à une interprétation générale mais suffisante pour la problématique de l'eutrophisation.

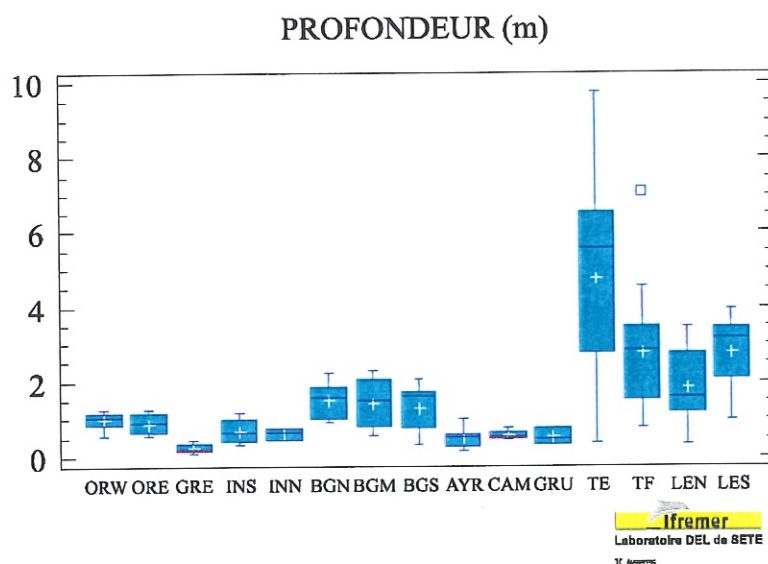


Figure II.2 : Distribution des profondeurs aux stations du jeu de référence.

L'étang de l'Or possède une bathymétrie régulière située autour de 1 m (figures II.2 et II.3). Le secteur central présente une profondeur maximale de 1,3 m. L'étang du Grec est le moins profond du pool de lagunes avec une moyenne de 0,3 m dans les points de prélèvements. L'étude de la colonne d'eau montre que les variations du niveau de l'eau peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres. Selon les conditions de vents, certains secteurs lagunaires

peuvent se retrouver momentanément à découvert. L'étang d'Ingril présente des profondeurs se situant entre celles de l'étang de l'Or et celles du Grec. Sa bathymétrie est irrégulière avec de nombreux îlots émergeant notamment à proximité des berges du bassin nord. L'étang de Bages est le plus profond de tous les étangs du Narbonnais (figure II.4) mais sa bathymétrie est irrégulière, particulièrement dans la partie centrale où sont situées les îles. Les secteurs les plus profonds qui avoisinent 2 m se retrouvent plutôt dans la partie nord. Les étangs de l'Ayrolle, de Campagnol et de Gruissan présentent des profondeurs inférieures à 1 m avec des bathymétries plus régulières que pour l'étang d'Ingril. L'étang de Thau est la plus vaste et la plus profonde des lagunes du Languedoc-Roussillon (figure II.5). La partie est de l'étang de Thau, est caractérisée par une grande amplitude de profondeurs (0,4 à 10 m) alors que la partie ouest, à la bathymétrie plus régulière, montre une profondeur moyenne d'environ 4 m. L'étang de Leucate (figure II.6) se divise en 2 bassins d'une profondeur maximale de 4 m séparés par un haut fond (1 m).

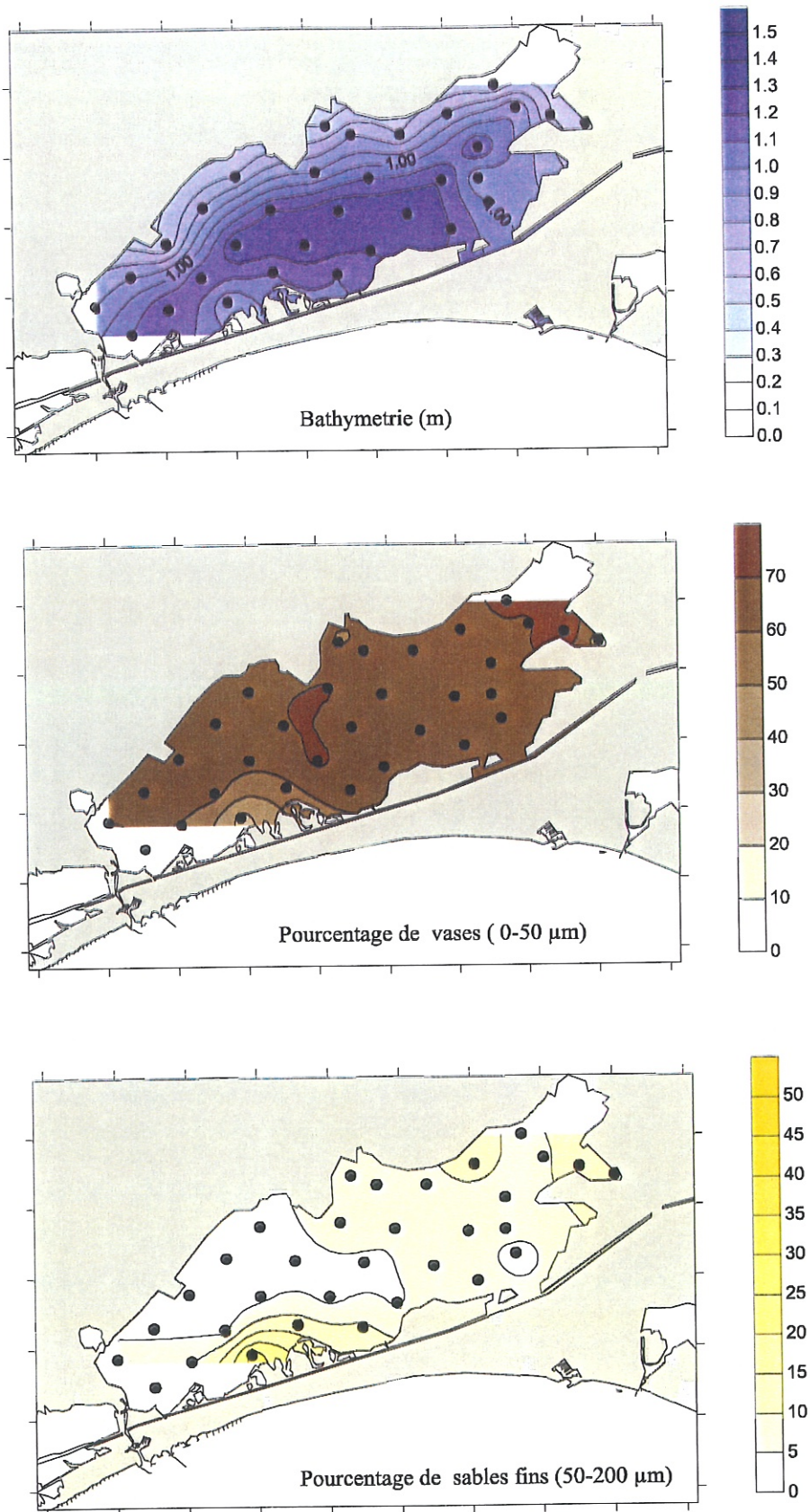


Figure II.3 : Distribution des profondeurs, des pourcentages de vases et de sables fins dans l'étang de l'Or.

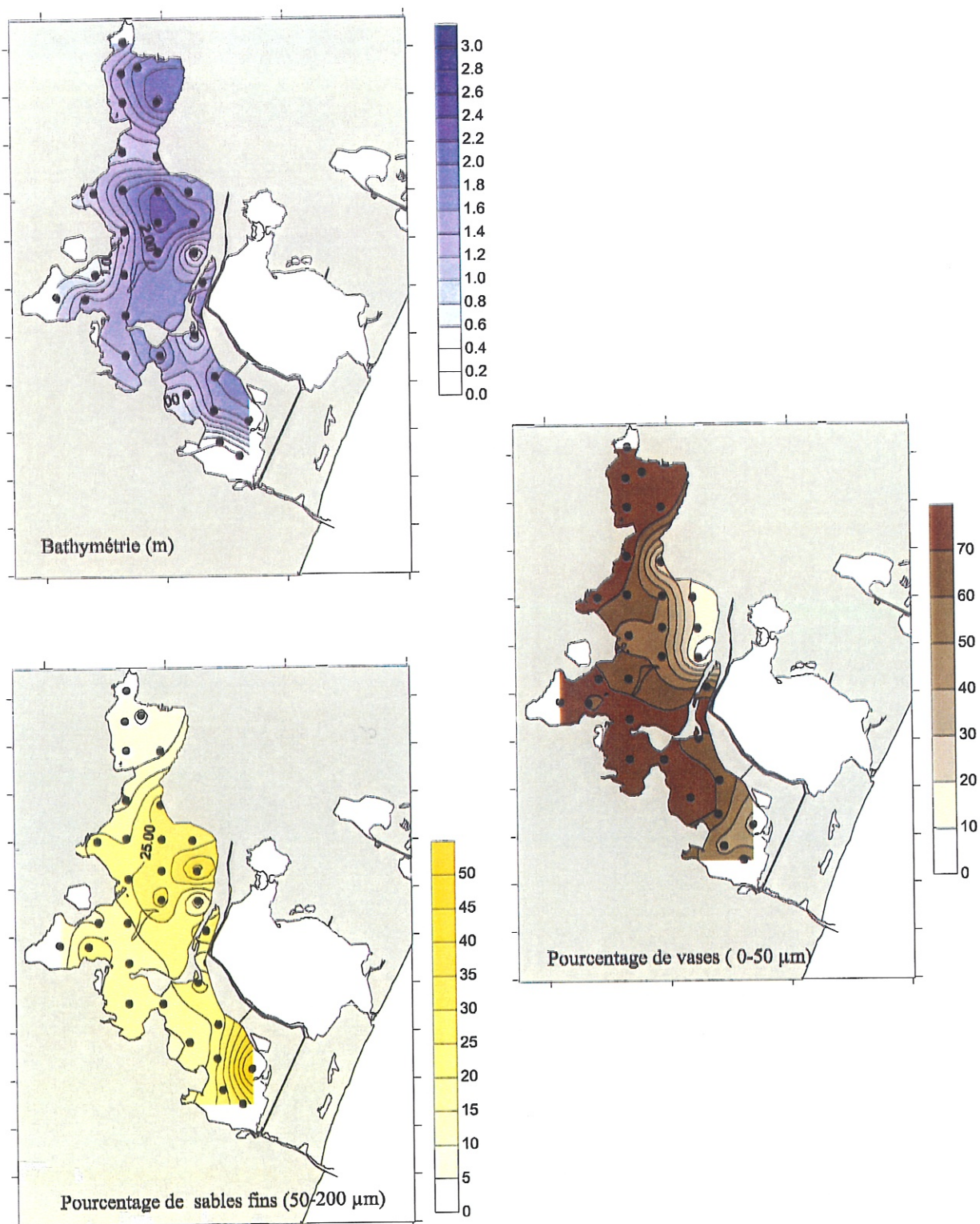


Figure II.4 : Distribution des profondeurs, des pourcentages de vases et de sables fins dans l'étang de Bages.

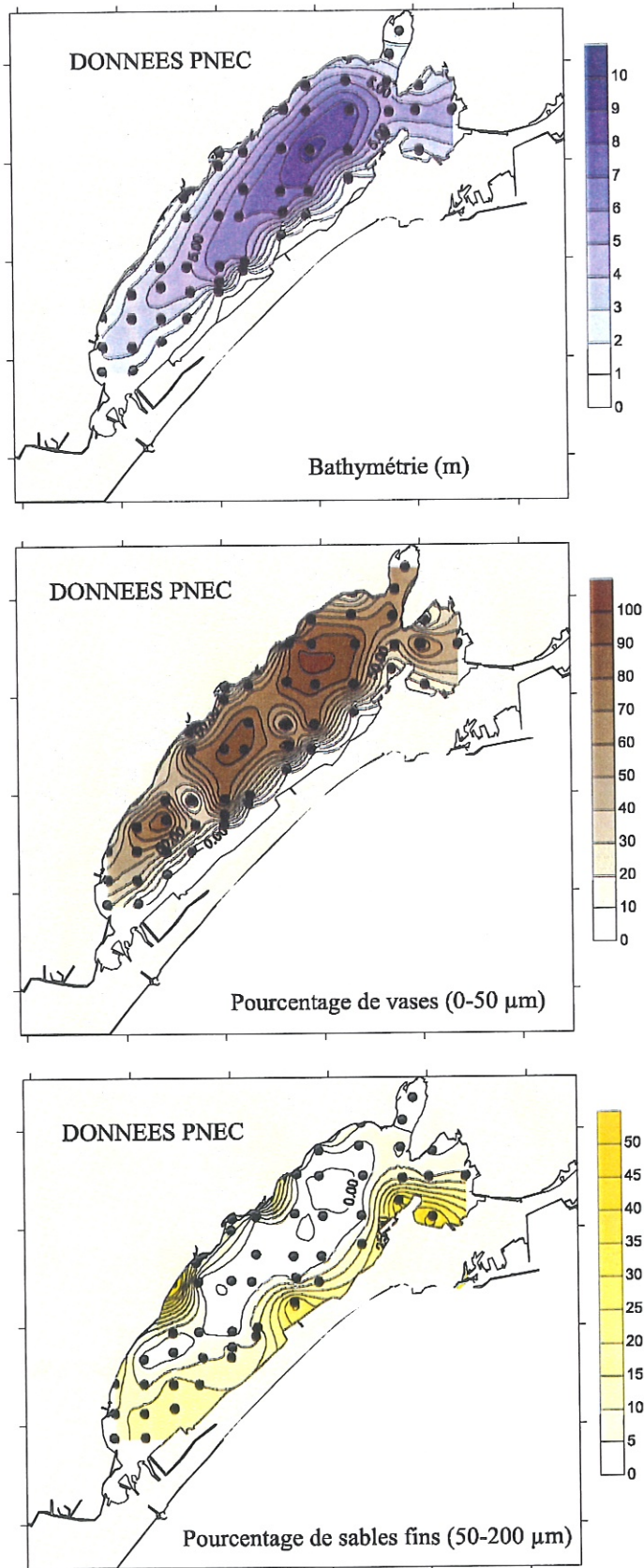


Figure II.5 : Distribution des profondeurs, des pourcentages de vases et de sables fins dans l'étang Thau.

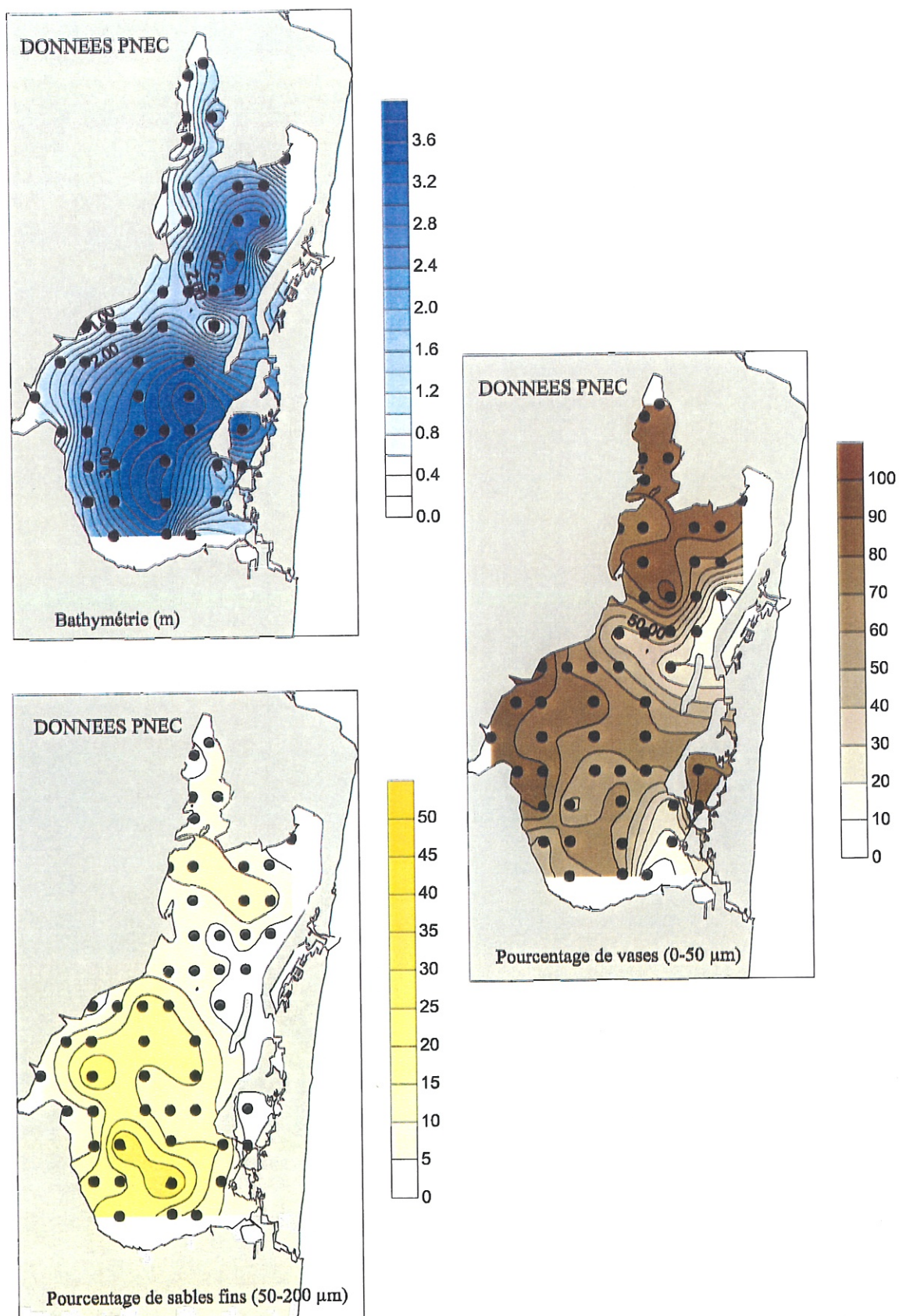


Figure II.6 : Distribution des profondeurs, des pourcentages de vases et de sables fins dans l'étang de Leucate.

Particules fines ou vases

La formation des lagunes méditerranéennes s'est effectuée à partir de mouvements de sables. Les lagunes, à leur départ avaient donc des fonds sableux. Leur géomorphologie en a fait des pièges à particules fines d'origine marine. Les lagunes se sont aussi envasées selon les apports de particules fines qu'elles recevaient par lessivage du bassin versant et des cours d'eau. Selon le degré d'eutrophisation, la production de phytoplancton comme les diatomées a permis l'accumulation de frustules, induisant des boues riches en silice. La figure II.7 illustre ces processus en montrant qu'il existe une relation entre la profondeur des environnements lagunaires et leur taux de particules fines lorsque ne viennent pas se surajouter le confinement et l'eutrophisation.

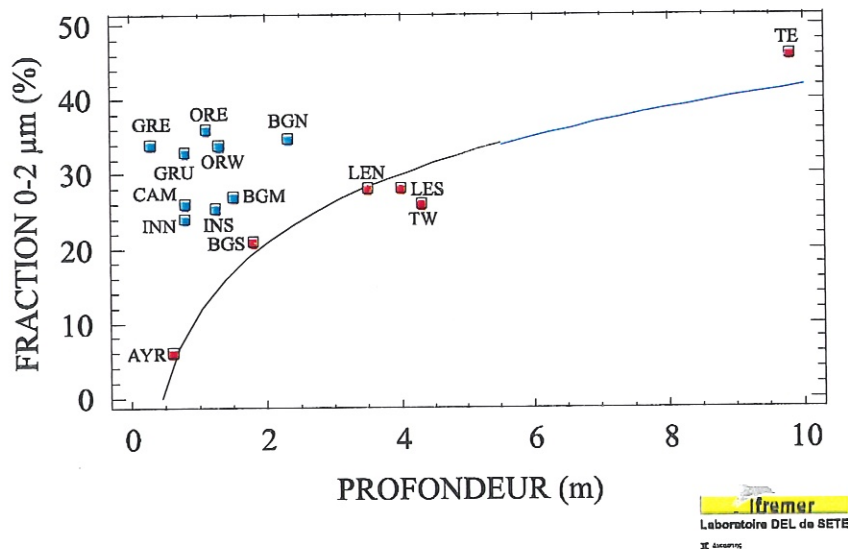


Figure II.7 : Relation entre la fraction 0-2 µm du sédiment et la profondeur aux points centraux des lagunes du jeu de référence. Les environnements à grau direct sont proches de la courbe. Les autres s'en éloignent d'autant plus qu'ils sont confinés ou eutrophisés.

Les figures II.8, II.9 et II.10 représentent les trois fractions de vases rencontrées dans le pool de lagunes. Elles ont des distributions semblables et le cumul des trois fractions en une seule appelée «vase» (figure II.11) fournit une illustration bien synthétique sur le degré d'envasement des lagunes.

GRANULOMETRIE 0-2 µm

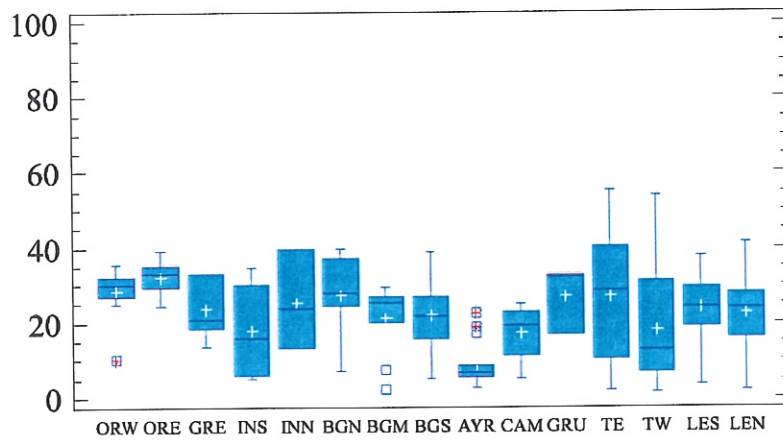
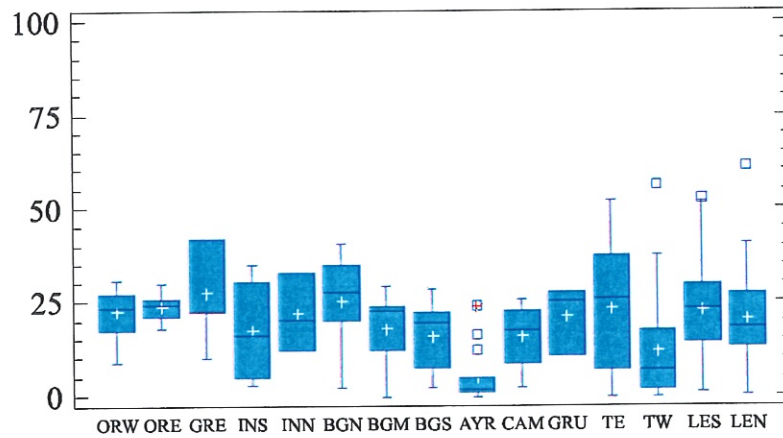


Figure II.8 : Distribution des « argiles » dans les lagunes du jeu de référence.

GRANULOMETRIE 2-20 µm



lframer
 Laboratoire DEL de SETE
15 ANNEES

Figure II.9 : Distribution des « limons fins » dans les lagunes du jeu de référence.

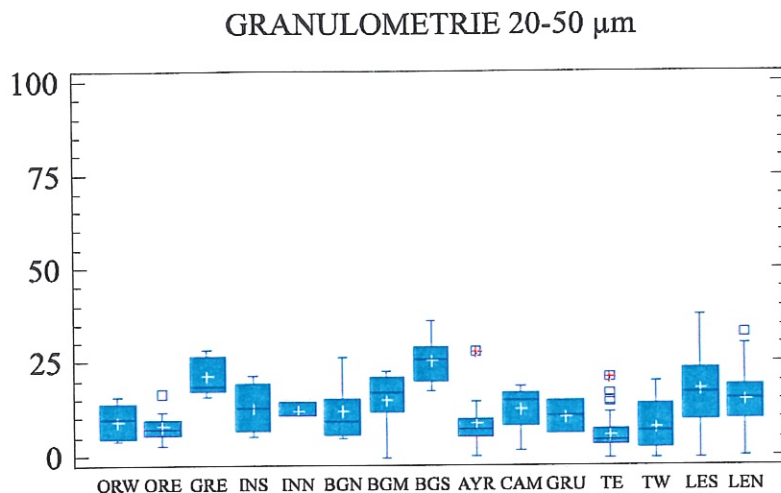
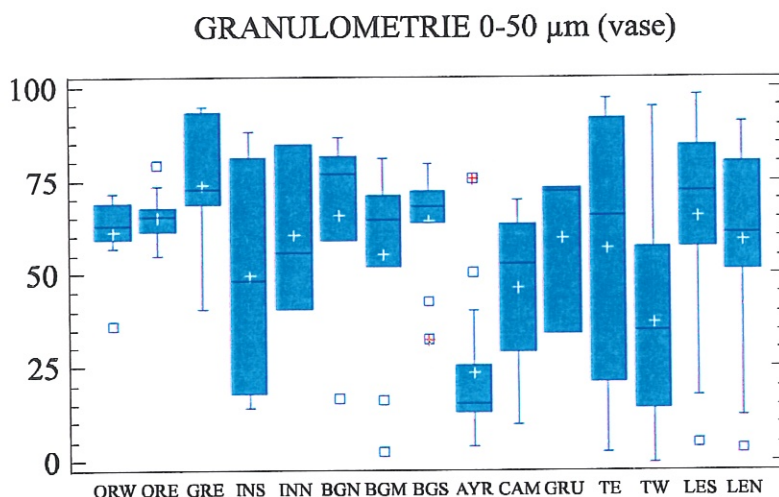


Figure II.10 : Distribution des « limons grossiers » dans les lagunes du jeu de référence.




 Ifremer
 Laboratoire DEL de SETE
IFREMER

Figure II.11 : Distribution des « limons fins » dans les lagunes du jeu de référence.

La distribution des vases dans l'étang de l'Or montre des valeurs de l'ordre de 60 % réparties de façon très homogène dans l'écosystème (figure II.3). Ce résultat rend compte de la régularité de la bathymétrie mais suggère aussi un enrichissement réparti sur l'ensemble de la lagune par la sédimentation du phytoplancton. L'étang du Grec présente, quant à lui, une plus grande disparité dans l'envasement, ses deux stations de faible profondeur (0,1 et 0,2 m) n'étaient envasées qu'à environ 50 %. Les stations plus profondes du Grec pouvaient être

considérées comme des vases pures (fraction 0-50 μm > 90 %). Dans le jeu de lagunes, seules les stations profondes de Thau présentent un tel envasement. En dépit de sa faible variation de profondeur, l'étang d'Ingril présente une granulométrie très hétérogène avec des pourcentages de vases variant de 14 à 88 % dans la partie sud, et de 41 à 85 % dans la partie nord. La partie nord de l'Ingril est donc la plus envasée avec un net gradient décroissant d'est en ouest. Les stations les plus envasées sont celles situées à proximité de l'ouverture du canal du Rhône à Sète.

L'étang de Bages est marqué par un gradient décroissant de la partie nord vers la partie sud mais seulement pour les 2 fractions les plus fines (0-2 μm et 2-20 μm). Le gradient s'inverse pour la fraction des limons grossiers (50-200 μm). Les vases sont donc de plus en plus fines au fur et à mesure que l'on s'éloigne du grau. Cependant, la fraction fine, prise dans son ensemble, montre que le secteur de Bages sud est aussi envasé que le secteur central. Mais le plus remarquable est le gradient croissant de vase d'est en ouest qui traduit les effets du ruissellement orienté majoritairement à l'ouest en raison de la répartition du bassin versant. Les stations non envasées se limitent à la marge est et au secteur du grau de Port-la-Nouvelle. L'étang de l'Ayrolle se distingue nettement des autres écosystèmes par son faible envasement. Les deux valeurs exceptionnelles de 50 et 75 % de vases sont situées près et au large de la pointe de la Grève. Si l'étang de Campignol est plus envasé que celui de l'Ayrolle, il l'est moins que le secteur sud de Bages. Son hétérogénéité est importante avec des taux de vases variant de 10 à 70 %. L'étang de Gruissan est envasé à un niveau proche de l'Ingril nord et Campignol.

En raison de la grande amplitude de bathymétrie, la partie est de l'étang de Thau présente des pourcentages de vase variant de 2 à 98 %. Les zones les plus profondes constituent des pièges à particules efficaces et l'envasement a tendance à se distribuer en fonction de la bathymétrie (figure II.4). La partie ouest de Thau, moins profonde, est donc aussi moins envasée. Mais la présence des zones conchylicoles tend à déplacer les vases vers les secteurs qu'elles occupent. L'étang de Leucate est nettement plus envasé que le secteur ouest de Thau alors qu'il possède des profondeurs équivalentes. De plus, à l'inverse de Thau, l'envasement maximal ne se situe pas dans les zones centrales les plus profondes, mais près des zones humides de bordure et dans la partie nord la plus confinée (figure II.5).

Sables fins

Les sables fins sont caractéristiques des lagunes bien marinisées et peu perturbées par les apports provenant du bassin versant. Dans leur ensemble, les étangs Palavasiens sont pauvres