

en sables fins car ces derniers ont été recouverts en grande partie par les limons des marges terrestres (figure II.12). La partie sud d'Ingril, la plus marinisée du jeu de lagunes palavasiennes dépasse un peu les 20 % de sables fins.

Si la partie nord de Bages est aussi pauvre en sables fins que les Palavasiens, les parties centrales en sont un peu plus riches. L'étang de l'Ayrolle est de loin l'écosystème le plus sableux avec des pourcentages majoritairement situés au-dessus de 40 %. L'étang de Campagnol, avec aussi des pourcentages élevés en sables, présente une certaine continuité granulométrique avec l'étang de l'Ayrolle. Les fonds de l'étang de Gruissan semblent plutôt de type palavasien avec des teneurs en sables fins inférieures à 20 %.

L'étang de Thau est pauvre en sables fins, à l'exception de ses bordures en particulier le long du lido entre Sète et le grau de Pisses Saume. Ce dernier secteur correspond aux valeurs exceptionnellement fortes indiquées à la figure 12.

L'étang de Leucate, autre lagune profonde, présente aussi de faibles teneurs en sables fins, en particulier dans le bassin nord.

### ***Sables grossiers***

Les sables grossiers correspondent très généralement aux bordures et aux hauts fonds qui caractérisent certaines lagunes. Les interquartiles sont plus forts que pour les sables fins en raison d'une forte variabilité spatiale (figure II.13).

Seuls, les échantillons de sédiments prélevés dans l'étang de l'Or présentent, comme pour les autres fractions, une faible variabilité spatiale. Dans cet étang, les pourcentages de sables grossiers, au-dessus de 20 %, sont supérieurs à ceux des sables fins. Dans l'étang du Grec, les sables grossiers sont faiblement représentés comme pour les sables fins. Dans l'étang d'Ingril, les sables grossiers sont répartis de façon hétérogène avec un gradient décroissant d'est en ouest.

L'étang de Bages est caractérisé par des pourcentages inférieurs à 20. Les pourcentages très forts de sables grossiers se retrouvent dans les sédiments exceptionnellement dépourvus de vase, c'est à dire le long de la marge nord-est et au secteur du grau de Port-la-Nouvelle. Les étangs de l'Ayrolle et de Campagnol présentent des distributions semblables suggérant une continuité sédimentaire entre les deux écosystèmes. En revanche, l'étang de Gruissan montre un profil différent avec des sables grossiers très majoritaires sur les sables fins.

Dans l'étang de Thau, les sables grossiers sont mieux représentés dans la partie ouest où ils dominent nettement les sables fins. Dans la partie est, ils se distribuent de façon hétérogène

traduisant la diversité des environnements sédimentaires de cet écosystème (Crique de l'Angle, Petit Etang, zone profonde, lido).

Comme pour les sables fins, les sables grossiers sont à des taux relativement faibles dans l'étang de Leucate.

GRANULOMETRIE 50-200 µm

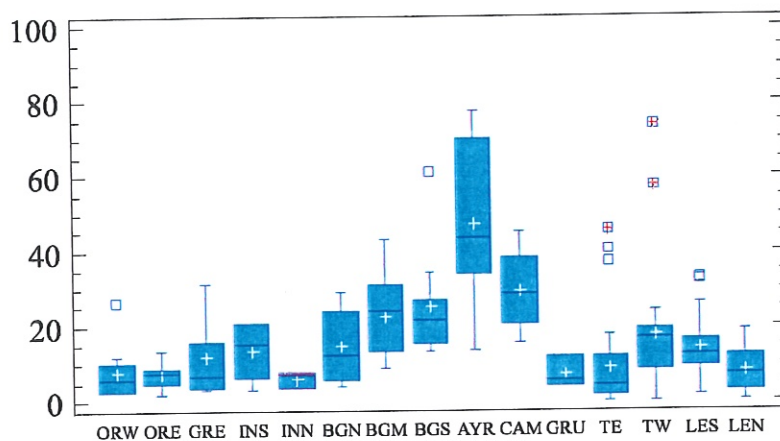
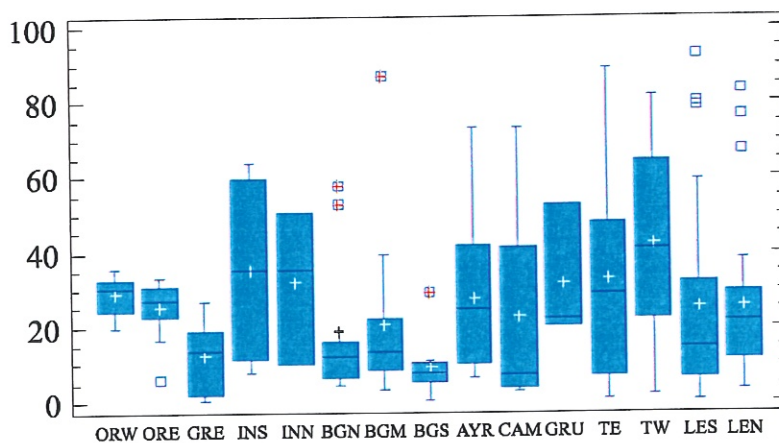


Figure II.10 : Distribution des « sables fins » dans les lagunes du jeu de référence.

GRANULOMETRIE 200 µm - 2 mm



Ifremer  
Laboratoire DEL de SETE  
X Arcachon

Figure II.13 : Distribution des « sales grossier » dans les lagunes du jeu de référence.

### *Potentiel d'oxydo-réduction*

Le potentiel d'oxydo-réduction donne une mesure de la résultante de l'ensemble des couples d'oxydo-réduction en présence dans les sédiments en millivolts (mV). Bien que ces couples soient nombreux, le potentiel d'oxydo-réduction est contrôlé par l'oxygène dissous dont la présence traduit l'existence d'un milieu dit «oxique» caractérisé par des potentiels plutôt positifs. Dans les écosystèmes côtiers, la matière organique est principalement minéralisée dans la partie supérieure des sédiments par des bactéries hétérotrophes. Ces dernières utilisent la matière organique comme substrat énergétique (carburant) à l'aide de substances oxydantes (comburant). Les oxydants disponibles dans le milieu sont utilisés selon une séquence bien définie distribuée sur la profondeur. L'oxygène dissous est réduit en premier. Après épuisement de l'oxygène dissous, d'autres oxydants sont utilisés comme les oxydes de manganèse, les oxydes de fer, les nitrates et enfin les sulfates. L'utilisation de sulfates par les bactéries sulfato-réductrices témoignent d'un milieu dit «anoxique» caractérisé par un potentiel d'oxydo-réduction plutôt négatif voire très négatif ( $< - 300$  mV).

Dans les sédiments des lagunes côtières, le potentiel d'oxydo-réduction va dépendre de la quantité de matière organique présente dans les sédiments, paramètre en relation directe avec l'eutrophisation. Mais il va aussi dépendre des apports en oxygène à l'interface eau-sédiment. Ces derniers sont inféodés à des variables physiques du milieu (température, brassage par le vent) et des caractéristiques géomorphologiques (profondeur, granulométrie).

Les apports en oxygène à l'interface eau-sédiment des lagunes dépendent fortement de la température en raison de la forte dépendance de la dissolution de l'oxygène atmosphérique vis à vis de ce paramètre (chapitre I). De plus, l'augmentation de température accroît l'activité microbienne et donc la demande en oxygène par les bactéries de la reminéralisation. L'oxygène a donc tendance à diminuer dans les sédiments lagunaires en été diminuant en conséquence l'épaisseur de la couche superficielle oxydée. Le potentiel d'oxydo-réduction des sédiments est donc soumis à une forte dépendance saisonnière.

L'épaisseur de la lame d'eau est aussi un facteur influençant le potentiel d'oxydo-réduction. Le brassage de l'eau sous l'action mécanique des vents sera d'autant plus efficace que la hauteur d'eau est faible. Lorsque la profondeur dépasse 6 m comme c'est le cas à Thau, la pénétration de l'oxygène jusqu'au sédiment est freinée par l'épaisseur de la lame d'eau (stratification thermique). C'est particulièrement le cas en été lorsque sa dissolution diminue et que la consommation par les organismes benthiques augmente. Dans le secteur est de l'étang de Thau, ce déficit estival en oxygène entraîne une forte diminution du potentiel

d'oxydo-réduction (Gilbert *et al.*, 1997). Ces oscillations du potentiel d'oxydo-réduction reflètent des passages successifs de conditions oxiques à des conditions anoxiques. Ces passages sont marqués par des changements drastiques dans les peuplements benthiques entraînant, après leur mort, la libération de quantités importantes de sels nutritifs (Aller, 1994 ; Holmer, 1999).

La pénétration de l'oxygène dissous de l'eau vers les sédiments va dépendre de la porosité de ces derniers et donc de la granulométrie. Dans les sédiments vaseux, la pénétration de l'oxygène dépasse rarement quelques millimètres alors que dans les sables elle peut atteindre plusieurs centimètres. Les sédiments vaseux sont souvent rencontrés dans les environnements lagunaires les plus profonds.

Les profils de potentiels d'oxydo-réduction ont été effectués en février, période pendant laquelle la demande en oxygène par les sédiments est plutôt faible et la pénétration de l'oxygène est élevée. Les résultats rendent compte de l'activité reminéralisante de base couplée au facteur granulométrique (figure II.14).

Pour l'ensemble des profils effectués, les sédiments présentent en général des potentiels positifs dans les deux premiers centimètres qui deviennent rapidement négatifs avec la profondeur. Les sédiments envasés de l'étang de l'Or présentent des profils homogènes qui se stabilisent aux alentours de - 200 mV dans l'ouest et de - 150 mV dans l'est. Les profils de l'étang du Grec montrent aussi des sédiments homogènes dont les profils se rapprochent de ceux de l'Or ouest. Dans l'étang d'Ingril, les profils d'oxydo-réduction présentent une forte hétérogénéité ce qui confirme la variété des environnements sédimentaires rencontrés dans cet écosystème à travers les résultats de granulométrie. Avec des valeurs situées aux alentours de - 100 mV, les sédiments de la partie sud sont en moyenne moins réduits que ceux de l'Or et du Grec. Dans la partie nord, les sédiments présentent des potentiels proches de ceux enregistrés dans la partie est de l'étang de l'Or. Les sédiments de Bages sont un peu plus réduits dans la partie nord que dans la partie sud avec des profils assez homogènes qui rappellent ceux de l'étang de l'Or. Les potentiels d'oxydo-réduction mesurés dans les sédiments de l'Ayrolle montrent une variabilité importante avec des valeurs globalement situées entre - 100 et - 200 mV. Cette forte hétérogénéité du milieu se retrouve dans l'étang de Campagnol, mais les sédiments sont en moyenne moins réduits avec des valeurs proches de celles rencontrées dans l'étang d'Ingril. Les sédiments de Guissan, pourtant plus vaseux que ceux des écosystèmes précédents, présentent en moyenne des potentiels positifs jusqu'au huitième centimètre.

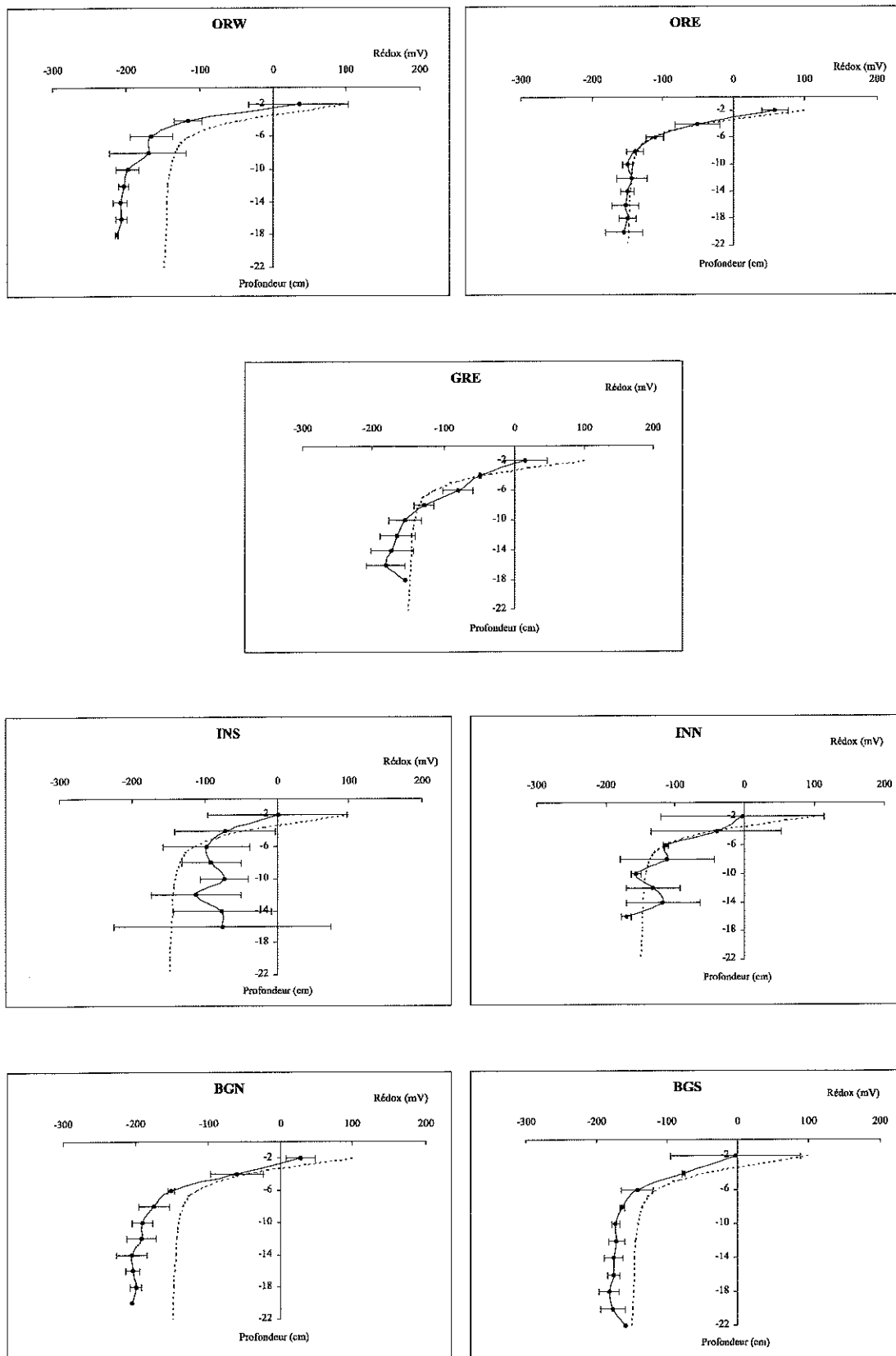


Figure II.14 : Profil redox (février 1999) en fonction de la profondeur du sédiment (moyenne et écart-type). En pointillé, le profil moyen pour l'ensemble des lagunes du jeu de références facilite la comparaison entre les sites.

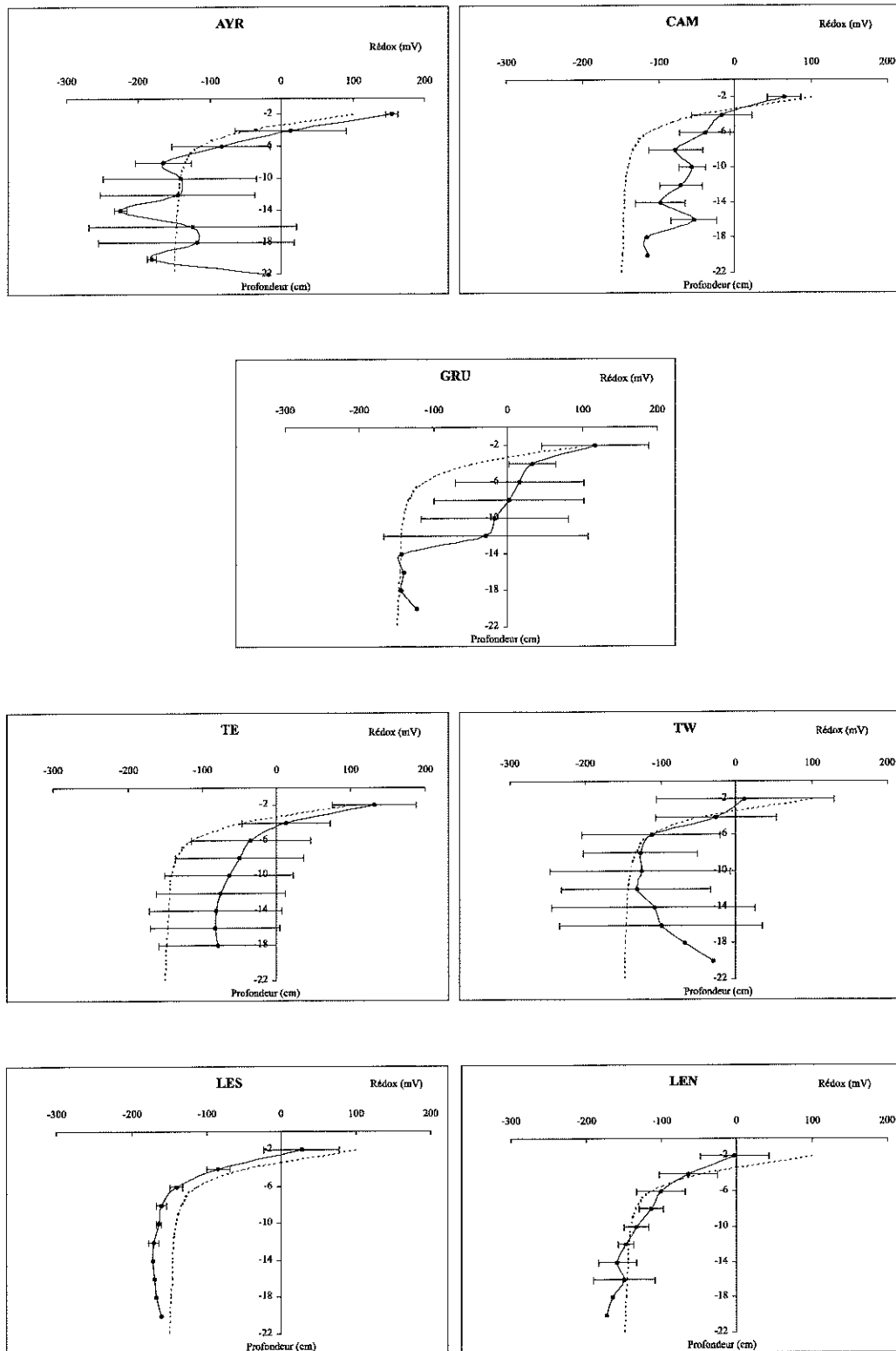


Figure II.14 (suite) : Profil redox (février 1999) en fonction de la profondeur du sédiment (moyenne et écart-type). En pointillé, le profil moyen pour l'ensemble des lagunes du jeu de références facilite la comparaison entre les sites.

Ce n'est qu'au-delà de 14 cm que les potentiels deviennent franchement négatifs. Les sédiments vaseux de la partie est de l'étang de Thau, comme ceux plus sableux de la partie ouest, présentent des potentiels d'oxydo-réduction très variables. Ces derniers peuvent être positifs au-delà d'une profondeur de 10 cm dans les sédiments et les valeurs négatives n'atteignent jamais - 200 mV dans la partie est où le profil moyen se situe en dessous de - 100 mV. Dans la partie ouest, les potentiels peuvent atteindre des valeurs inférieures à - 200 mV. Les zones profondes, proches de 20 cm, ont des potentiels inférieurs à de - 100 mV. Les sédiments de Leucate présentent des profils beaucoup plus homogènes que ceux de l'étang de Thau. Ceux de la partie sud sont proches du profil témoin, comme à Bages-sud, et ceux de la partie nord sont semblables à ceux mesurés dans la partie est de l'étang de l'Or.

## Variables chimiques

### Matière organique

La matière organique dans les sédiments est alimentée notamment par :

- des particules d'origine terrestre issues du lessivage par les pluies,
- la sédimentation des organismes vivant dans la colonne d'eau ainsi que leurs déchets (plancton et biodépôts),
- les organismes benthiques (macrophytes, microphytobenthos, microorganismes et faune associée) qui y vivent et meurent.

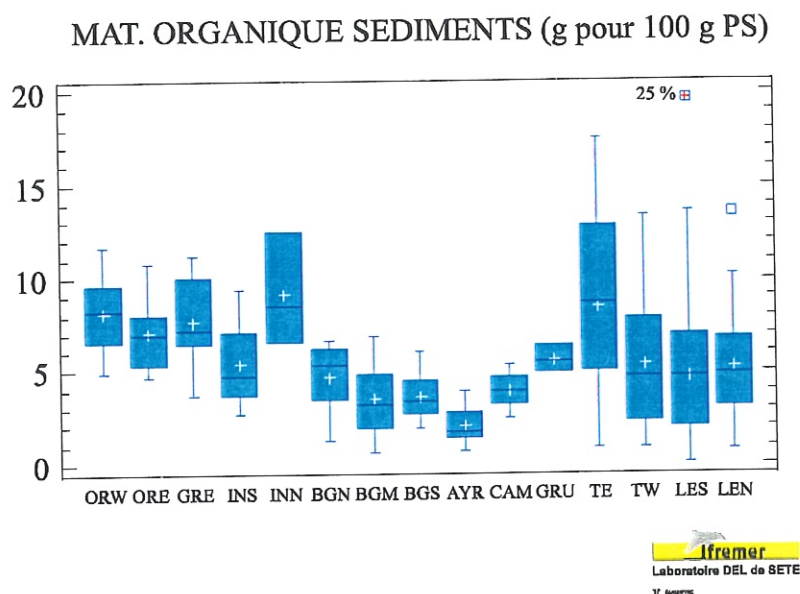


Figure II.15 : Distribution de la matière organique dans les lagunes étudiées.

Par rapport à l'ensemble des lagunes, les sédiments de l'étang de l'Or présentent de fortes concentrations en matière organique avec des valeurs dépassant 10 % dans la partie centrale (figures II.15 et II.16). Les concentrations sont aussi très élevées dans l'étang du Grec qui présente cependant des valeurs inférieures à 7 % aux stations de faible profondeur (0,1 et 0,2 m). Les sédiments de l'étang d'Ingril montrent des concentrations en matière organique plus élevées dans la partie nord que dans la partie sud. Mais, à l'image de la granulométrie et du potentiel d'oxydo-réduction, la matière organique se distribue de façon très hétérogène avec des concentrations maximales aux stations près de la passe traversant le canal du Rhône à Sète et des teneurs minimales dans la partie est.

Dans l'étang de Bages, les concentrations de matière organiques dans les sédiments (figure II.17) décroissent globalement du nord au sud comme pour la granulométrie. Mais les parties les plus envasées, en particulier celles situées sur la bordure ouest, ne sont pas marquées par des teneurs élevées en matière organique. Les fonds situés près de la bordure est de la zone centrale, constitués principalement de sables grossiers très compacts, renferment les teneurs minimales (0,7 à 2 %). On retrouve aussi des concentrations faibles dans les sédiments sableux de l'Ayrolle. Plus au nord, dans l'étang de Campagnol, la matière organique atteint des concentrations équivalentes à celles rencontrées au milieu de Bages. C'est l'étang de Gruissan qui présente les plus fortes concentrations en matière organique dans les sédiments des étangs du Narbonnais avec des valeurs dépassant 5 %. On est cependant loin des taux de 10 % mesurés dans les étangs palavasiens.

Avec des pourcentages variant de 1 à 17 %, les sédiments de l'étang de Thau montrent une grande amplitude de leur teneur en matière organique. La partie est, la plus profonde et la plus envasée, est plus riche que la partie ouest. Mais l'impact des trois zones conchylicoles sur les sédiments est visible (figure II.18). Bien que l'étang de Leucate soit très significativement plus envasé que la partie ouest de l'étang de Thau (qui présente des profondeurs équivalentes), ses concentrations en matière organique sédimentaire restent proches de 5 %.

A l'inverse de Thau, ce ne sont pas les zones les plus profondes et les plus envasées qui présentent les taux les plus forts de matière organique (figure II.19). La marge est du bassin sud, bordée d'une zone marécageuse et alimentée par les deux principales résurgences souterraines, possède des sédiments plus riches en matière organique que la partie centrale. On trouve aussi une valeur record (25 %) dans l'anse des Dindilles qui constitue un secteur particulièrement sensible à l'accumulation de matière organique.

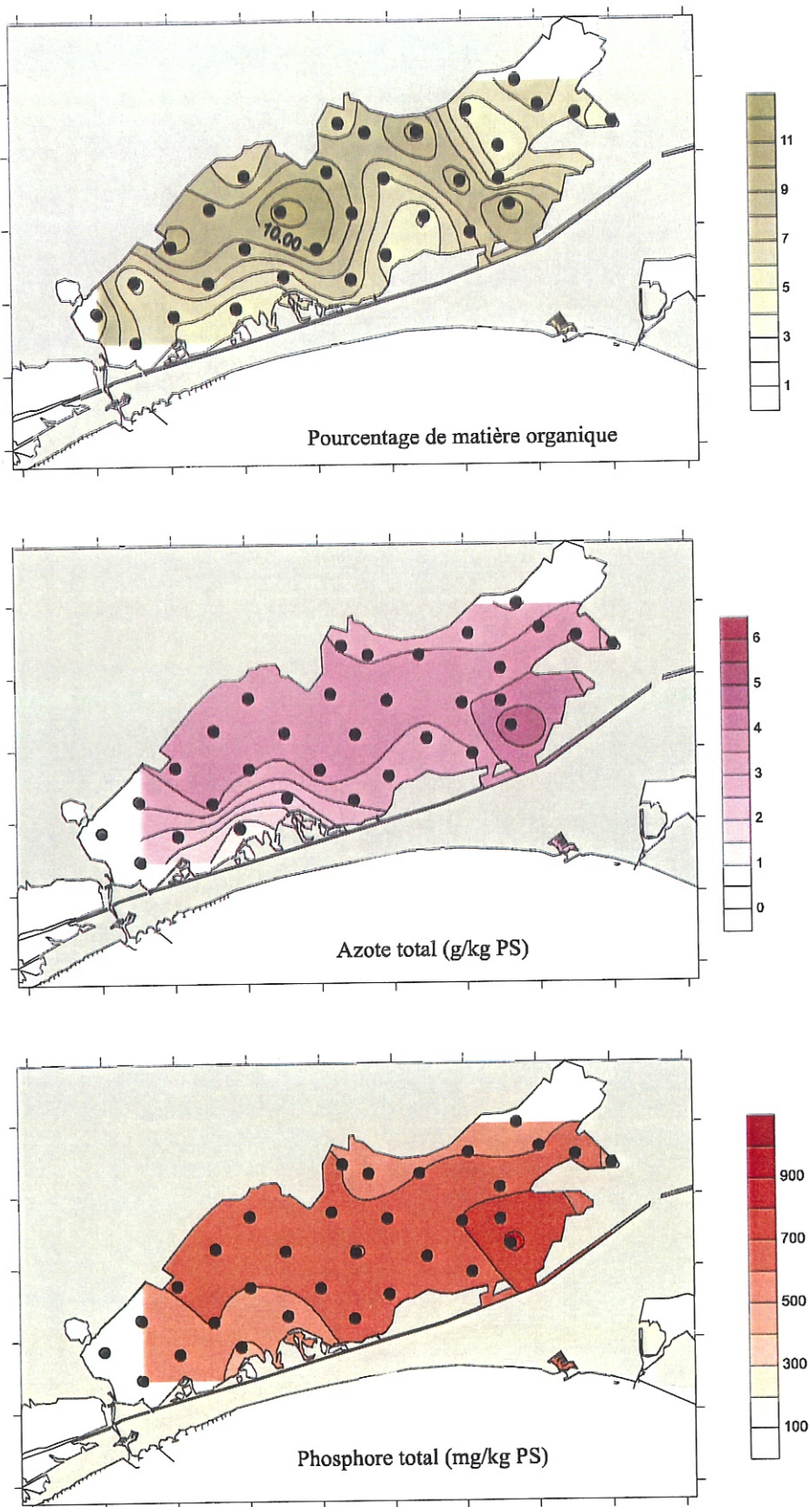


Figure II.16 : Distribution de la matière organique, de l'azote total et du phosphore total dans les sédiments de l'étang de l'Or.

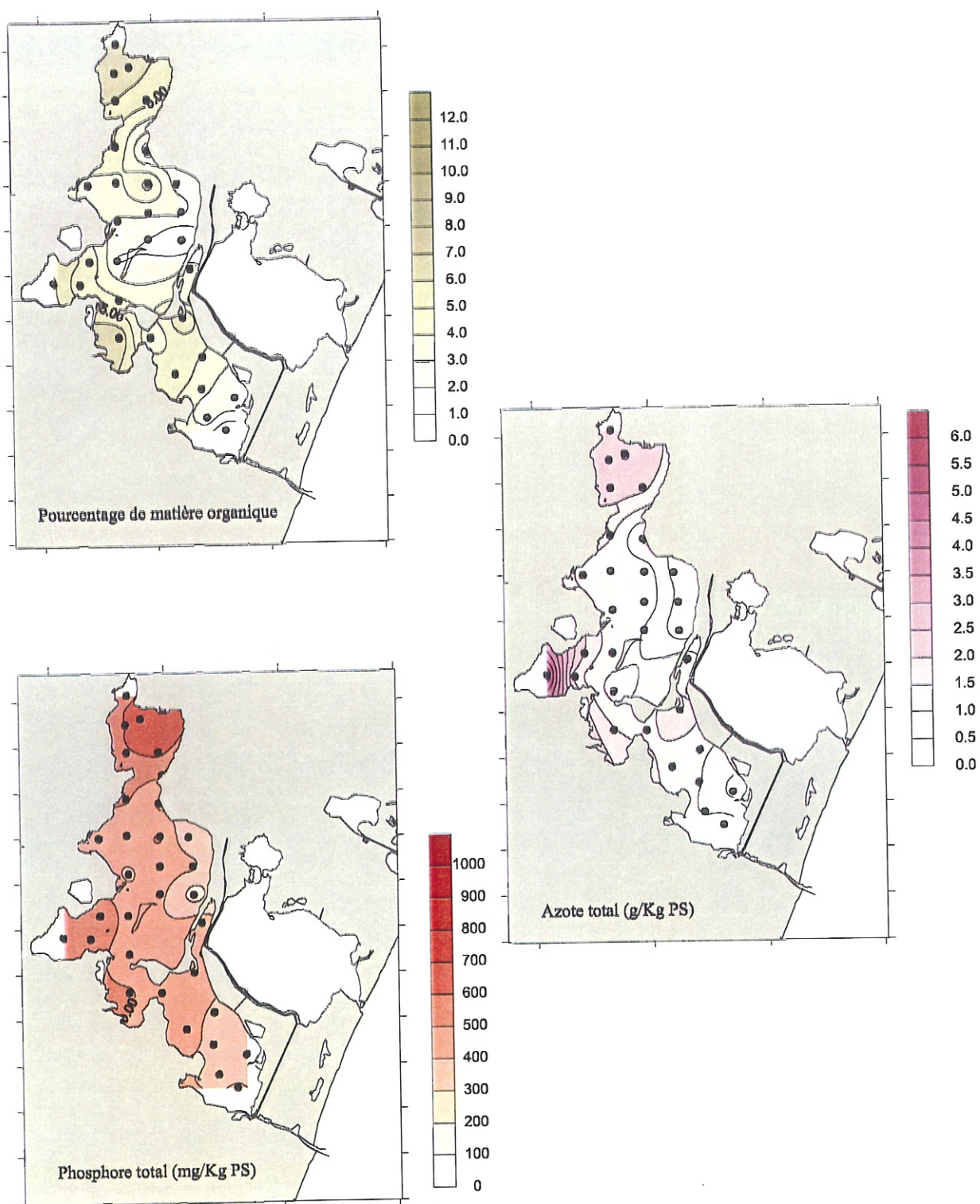


Figure II.17 : Distribution de la matière organique, de l'azote total et du phosphore total dans les sédiments de l'étang de Bages.

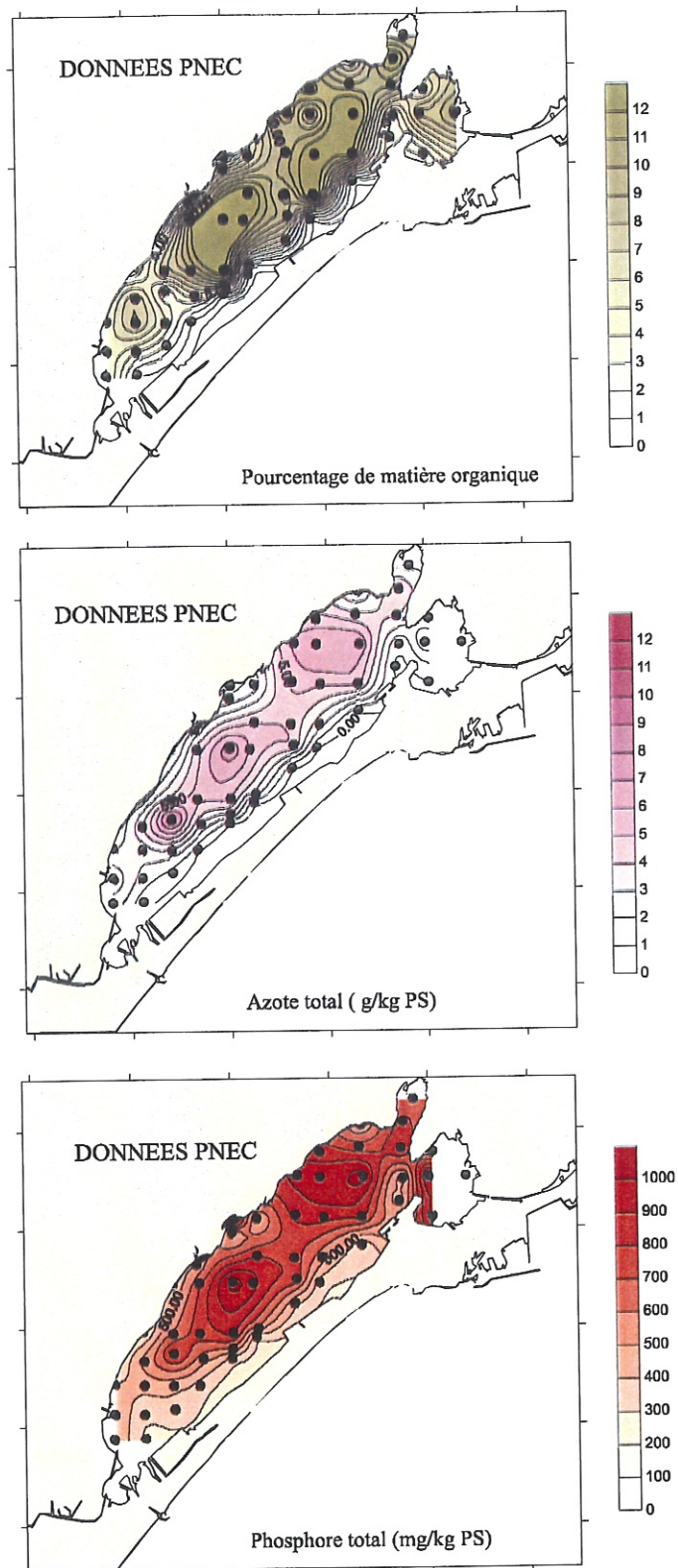


Figure II.18 : Distribution de la matière organique, de l'azote total et du phosphore total dans les sédiments de l'étang de Thau.

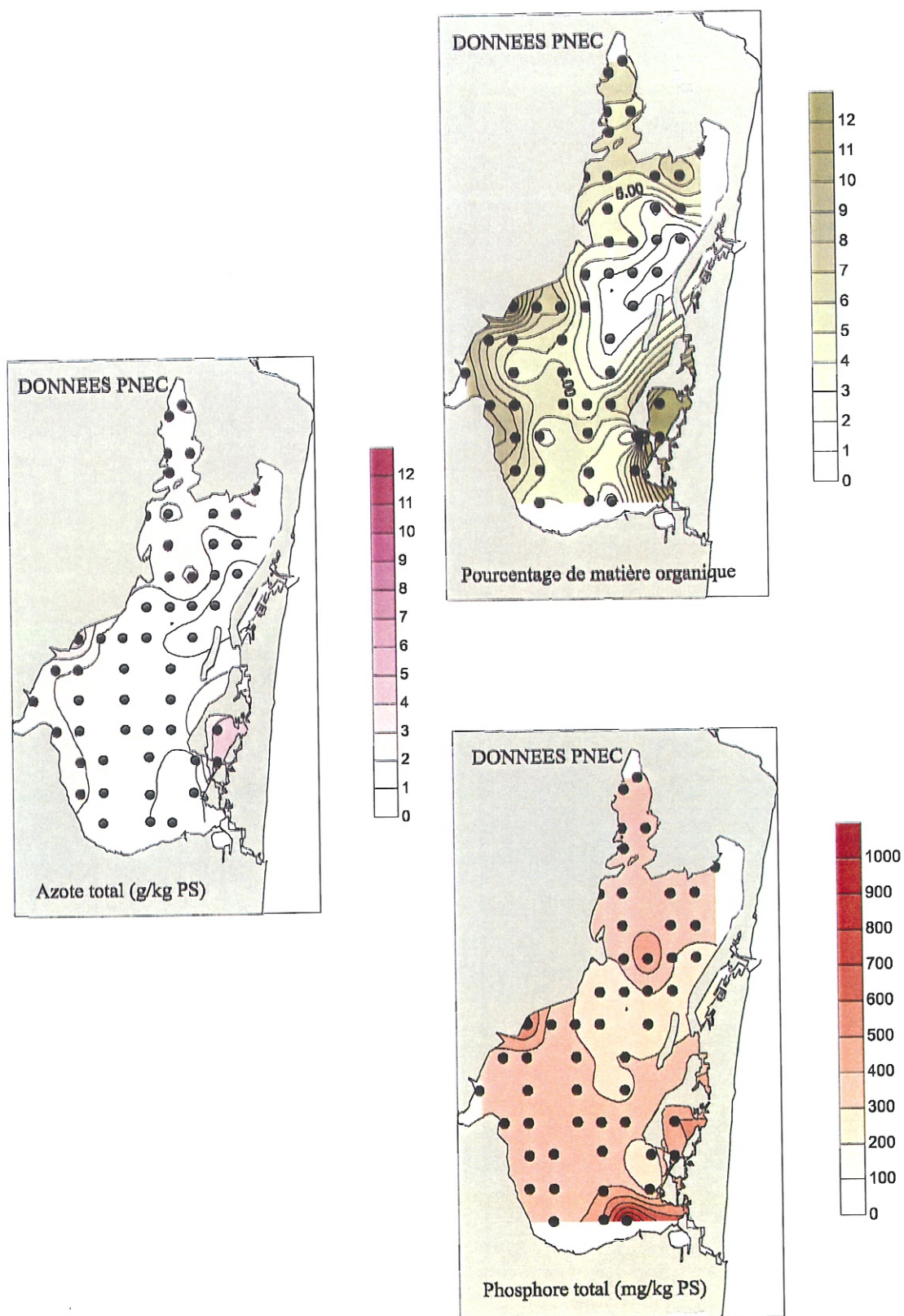
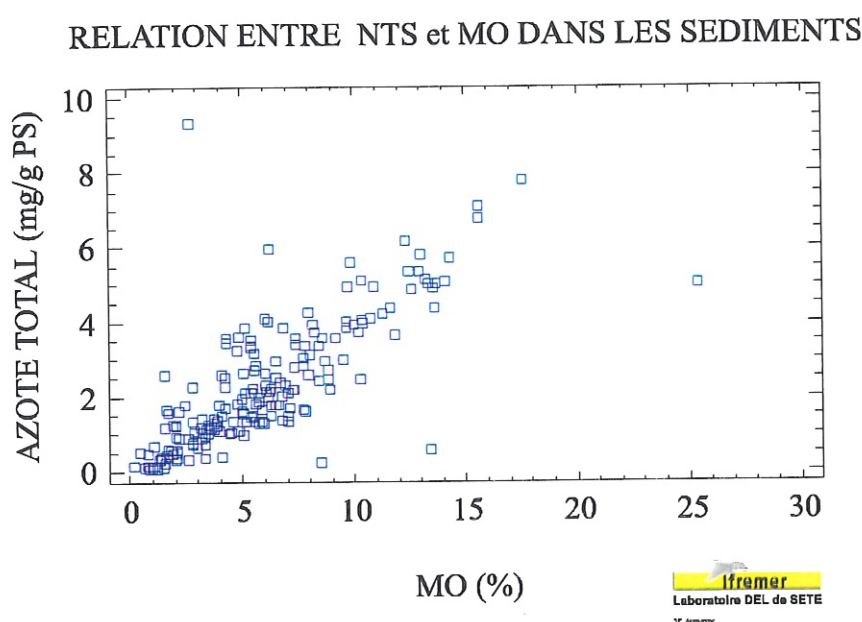


Figure II.19 : Distribution de la matière organique, de l'azote total et du phosphore total dans les sédiments de l'étang de Leucate.

### *Azote total dans les sédiments ou NTS*

Dans les sédiments, l'azote se présente essentiellement sous forme organique particulaire et, dans une moindre mesure, sous formes organiques et inorganiques dissoutes dans les eaux interstitielles. En toute logique, ses teneurs sont fortement liées au pourcentage de matière organique (figure II.20). La distribution de l'azote total dans les sédiments est donc très similaire à celle décrite pour la matière organique. On notera cependant des valeurs élevées en azote dans la partie est de l'étang de l'Or située à proximité du canal du Rhône à Sète (figure II.16).



*Figure II.20 : Relation entre les concentrations en azote total et la matière organique dans les sédiments des lagunes du pool de référence.*

### *Phosphore total dans les sédiments ou PTS*

Le phosphore, élément essentiel pour la vie, constitue comme l'azote un constituant de la matière organique. Il se retrouve donc en quantité importante dans les sédiments riches en matière organique. Mais les phosphates ont tendance à s'associer avec les particules minérales sédimentaires. On peut citer notamment l'adsorption des orthophosphates sur les hydroxo-complexes ferriques et les argiles. Les relations entre phosphates et particules sédimentaires sont complexes. On retiendra simplement que ces phosphates constituent un stock supplémentaire s'ajoutant à celui composant la matière organique. Les conditions plus réductrices qui règnent pendant la saison estivale (voir Potentiel d'oxydo-réduction)

contribuent à la disparition des hydroxo-complexes ferriques qui libèrent alors leurs phosphates dans la colonne d'eau. Les sédiments, particulièrement ceux comportant une forte fraction fine, constituent donc un réservoir naturel de phosphates dont la disponibilité pour la production primaire augmente en été.

Les concentrations de phosphore sont élevées dans les sédiments de l'étang de l'Or avec des niveaux moyens de 600 mg/kg PS. Comme pour l'azote, la partie est de l'étang de l'Or située à proximité du canal du Rhône à Sète est caractérisée par des valeurs maximales pouvant dépasser 800 mg/kg PS (figure II.16). Ces niveaux sont atteints et même largement dépassés dans l'étang du Grec. Dans les sédiments de cet étang, il existe un stock supplémentaire de phosphore qui vient s'ajouter à celui, déjà élevé, lié à la matière organique. En revanche, dans l'Ingril sud, les concentrations en phosphore sont nettement inférieures à celles mesurées dans les autres étangs palavasiens étudiés. Dans l'Ingril nord, seule la station située près de la passe du canal présente une concentration supérieure à 500 mg/kg PS, soit 800 mg/kg PS.

Les sédiments de l'étang de Bages présentent des concentrations en phosphore décroissant du nord au sud. Des enrichissements ponctuels non loin de Peyriac et de l'embouchure de la Berre sont aussi notés. Les niveaux de Bages-sud sont similaires à ceux de l'Ingril sud. Les concentrations en phosphore dans l'étang de l'Ayrolle, parmi les plus faibles mesurées dans cette étude sont proches de 300 mg/kg PS et ne dépassent 400 mg/kg PS qu'à deux stations. La première est située au débouché de l'étang de Campignol et l'autre à la station la plus vaseuse du centre. L'étang de Campignol se distingue très nettement de l'Ayrolle de par ses concentrations en phosphore sédimentaire avec des niveaux en moyenne deux fois plus élevés, proches de ceux rencontrés dans l'étang de l'Or. Les concentrations dans Gruissan sont élevées avec des valeurs supérieures à 500 mg/kg PS mais inférieures à celles de Campignol.

Les sédiments de la partie est de Thau sont particulièrement riches en phosphore montrant des concentrations voisines de celles des étangs de l'Or et du Grec. Certaines valeurs dépassent 1000 mg/kg PS dans le petit étang et dans la zone profonde occupée par les fermes conchylicoles (figure II.18). La Crique de l'Angle possède aussi des sédiments riches en phosphore dont les concentrations avoisinent 800 mg/kg PS alors que les environnements sableux du lido ont des niveaux proches de ceux mesurés dans l'Ayrolle. Les concentrations en phosphore dans les sédiments de la partie ouest de Thau sont nettement plus faibles qu'à l'est avec des valeurs au niveau de celles de Bages. Les zones conchylicoles y enrichissent aussi les sédiments sous-jacents.

En dépit de sa profondeur relativement importante et de ses sédiments vaseux, l'étang de Leucate est caractérisé par des sédiments pauvres en phosphore avec des niveaux proches de ceux mesurés dans l'étang de l'Ayrolle. Certaines valeurs extrêmes sont retrouvées sur les bords, dans le sud à proximité du Barcarès, et de la résurgence de Font-Estramar où un maximum en azote est aussi mesuré (figure II.19).

## RESULTATS PAR ECOSYSTEME

### *Etang de l'Or*

L'étang de l'Or possède une profondeur faible et une bathymétrie régulière. Ses sédiments sont envasés par des apports importants en matière organique attribuables en grande partie aux blooms répétés de phytoplancton. Les concentrations d'azote et de phosphore élevées et réparties de façon assez homogène en témoignent. Cependant, la partie sud-ouest (Grau de Carnon) est moins dégradée que la partie est, qui présente un enrichissement maximum dans les hauts-fonds proches de la Grande-Motte.

### *Etang du Grec*

L'étang du Grec est le moins profond du jeu de lagunes mais sa bathymétrie est irrégulière avec des hauts-fonds pouvant se retrouver à découvert selon les variations du niveau d'eau. Les sédiments sont dans l'ensemble très envasés avec des taux de matière organique et d'azote similaires à ceux mesurés dans l'ouest de l'étang de l'Or. Mais ils sont restés par endroit relativement préservés de l'enrichissement en matière organique. Les concentrations de phosphore présentent cependant des niveaux élevés dans tous les sédiments ce qui traduit une eutrophisation importante sur une longue période.

### *Etang d'Ingril*

L'étang d'Ingril possède une bathymétrie très accidentée avec la présence d'îlots rocheux dans le bassin nord. Les variables physiques montrent que les sédiments sont très hétérogènes et peuvent présenter dans un espace rapproché des faciès sableux et des sables très vaseux et réduits. A l'est (côté Aresquiers), les fonds sont majoritairement constitués de sables grossiers. L'est du bassin nord et la zone située à proximité des passes du canal montre des sédiments très chargés en matière organique et en azote. Ces derniers secteurs sont aussi très concentrés en phosphore.

### *Etang de Bages*

Cette grande lagune présente une grande variété d'environnements sédimentaires avec des fonds confinés au nord et des îles au milieu qui favorise la diversité des fonds. Il est cependant possible de distinguer le gradient croissant est-ouest de vase qui résulte

probablement du ruissellement plus important à l'ouest en raison de la distribution géographique du bassin versant. Cet envasement ne se traduit pas par un enrichissement en matière organique mais révèle plutôt une caractéristique géomorphologique. A l'est, sont trouvés des fonds souvent constitués de sables grossiers. L'enrichissement en matière organique (et en azote) aurait plutôt tendance à dessiner un gradient croissant sud-nord mais celui-ci n'est pas marqué. Il est cependant confirmé par la distribution du phosphore qui a tendance à se stocker dans les sédiments les plus confinés, c'est à dire au nord.

### ***Etang de l'Ayrolle***

Les sédiments de l'Ayrolle se distinguent des autres par leur pauvreté en vase. Ils sont aussi caractérisés par des teneurs minimales en matière organique azote et phosphore. La qualité des sédiments de l'Ayrolle correspond à des sédiments préservés d'un excès de nutriments.

### ***Etang de Campagnol***

L'étang de Campagnol, avec une base sableuse, possède des sédiments dont les caractéristiques physiques sont proches de celles rencontrées dans l'étang de l'Ayrolle. Mais la composante liée à l'eutrophisation se rajoute nettement avec des concentrations très supérieures en matière organique et azote. Mais c'est surtout au niveau du phosphore stocké dans ses sédiments que l'étang de Campagnol présente un fort degré d'eutrophisation.

### ***Etang de Gruissan***

En raison de son éloignement de la mer ouverte, l'étang de Gruissan est moins sensible aux échanges avec la mer que l'étang de l'Ayrolle par exemple. Cette tendance au confinement en fait une zone prédisposée à l'accumulation de particules fines. Ses sédiments sont constitués de sables grossiers envasés par la matière organique. De par ses concentrations en azote et en phosphore sédimentaire, l'étang de Gruissan porte la marque d'une charge excessive en nutriments dans l'écosystème.

### ***Etang de Thau***

L'étang de Thau présente plusieurs types d'environnement sédimentaires qui vont des sables presque purs du lido, aux vases riches des zones profondes de la partie est. Ces dernières constituent des pièges à particules efficaces mais ce sont les zones conchylicoles qui montrent les sédiments les plus envasés. Les taux de matière organique comme les concentrations d'azote présentent aussi des teneurs maximales dans les zones des tables conchylicoles mais

sont aussi élevées dans le reste de la partie est. Les teneurs élevées en phosphore montrent que les sédiments ont reçu des apports importants par ruissellement et sédimentation de particules organiques (plancton, biodépôts, etc.) qui se sont stockés au fil des années.

### *Etang de Leucate*

Les sédiments de Leucate présentent une situation inverse de celle de Thau. L'envasement est plutôt situé dans la périphérie que dans les parties centrales. Les taux de vase sont relativement élevés près des zones marécageuses de l'ouest et dans l'extrême nord. Les sables vaseux de Leucate ne sont pas très riches en matière organique. L'anse des Dindilles près du Barcarès fait exception par son taux record proche de 25 %. Les concentrations en azote sont du niveau de celles de Bages. En revanche les concentrations en phosphore sont très faibles par rapport à Thau et se rapprochent plutôt de celles mesurées dans les sables de l'Ayrolle. La faiblesse des concentrations en phosphore dans les sédiments suggère que cet écosystème est épargné de l'eutrophisation depuis au moins une dizaine d'années. Cette situation peut s'expliquer par les caractéristiques géomorphologiques de cet hydrosystème qui ne favorisent pas le ruissellement et donc l'apport de particules, vecteurs essentiels des apports en phosphore du bassin versant. Il n'en demeure pas moins que des secteurs sensibles existent, en particulier à proximité du lido urbanisé.

## DIAGNOSTIC ET CHOIX DES VARIABLES

Parmi les paramètres étudiés, il convient de distinguer les variables indicatrices des variables explicatives.

- la variable indicatrice sera celle dont les variations dans le milieu sont très majoritairement attribuables à l'eutrophisation. Elle conduit à l'élaboration de valeurs seuils.
- la variable explicative est en relation avec le processus d'eutrophisation. Elle constitue donc une source d'information. Mais ses variations dans le milieu peuvent avoir d'autres causes que l'eutrophisation. Elle ne peut pas faire l'objet de seuils.

### **Variables physiques**

#### ***Profondeur***

Le taux de sédimentation des particules organiques est d'autant plus élevé que la hauteur de la colonne d'eau est importante. Aussi, les sédiments profonds sont structurellement plus chargés en MO, NT et PT que ceux des lagunes peu profondes. La profondeur est une variable physique devant faire l'objet d'un facteur de pondération. Dans le cas des lagunes profondes comme l'étang de Thau, il conviendra de mettre à jour une (ou plusieurs) profondeurs à partir de laquelle les sédiments seront géomorphologiquement favorisés par l'accumulation de matière organique. Cette profondeur sera aussi utile dans le surclassement des résultats d'oxygène dissous et des caractéristiques du sédiment (chapitre V).

#### ***Granulométrie***

L'envasement d'une lagune n'est pas uniquement lié à l'accumulation de matière organique. Il existe des sédiments que les caractéristiques géomorphologiques de l'écosystème ont rendus sensibles à l'envasement (partie ouest de Bages, Leucate, etc.). La création de seuils concernant la granulométrie pose donc le problème de la dissociation des causes de l'envasement. La granulométrie doit être considérée comme une valeur explicative.

#### ***Potentiel d'oxydo-réduction***

Le potentiel d'oxydo-réduction pose fondamentalement le même problème que la granulométrie car un sédiment peut se retrouver très réduit plus pour des raisons

géomorphologiques (profondeur, temps de résidence des eaux) et/ou de météorologie (température, brassage par le vent) que pour des raisons d'eutrophisation.

Ce paramètre est intégrateur des conditions d'accueil de la macrofaune benthique. Comme la salinité, le potentiel d'oxydo-réduction conditionne la potentialité biologique en amont des phénomènes d'eutrophisation. Il constitue une variable explicative.

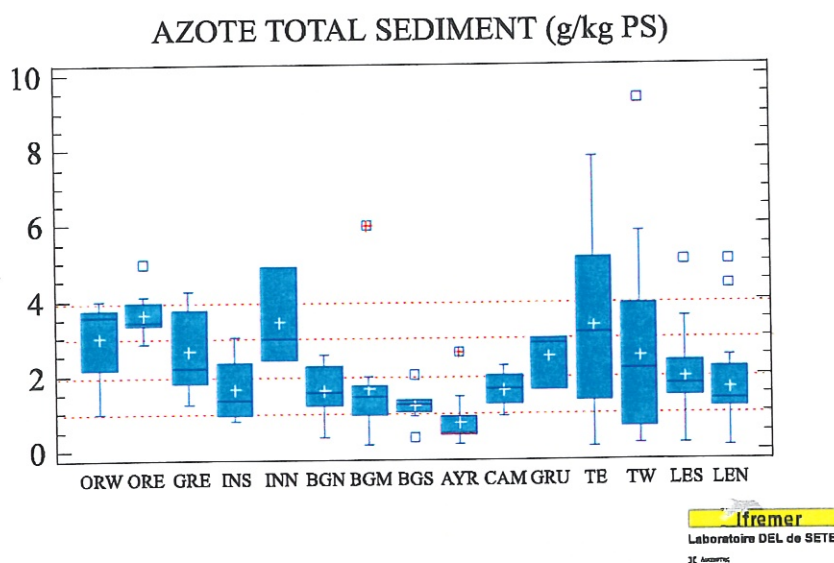
## Variables chimiques

### Matière organique

La matière organique est en relation directe avec l'eutrophisation car elle contient pour l'essentiel l'azote sédimentaire. C'est une variable indicatrice qui n'est pas redondante avec l'azote car il peut exister des zones riches en matière organique mais pauvres en azote comme c'est le cas dans les tourbières. Même si dans le cas des lagunes, la corrélation positive azote/matière organique est très significative, la matière organique permet de renforcer le diagnostic des sédiments et fera donc l'objet de seuils.

### Azote Total Sédiments (NTS)

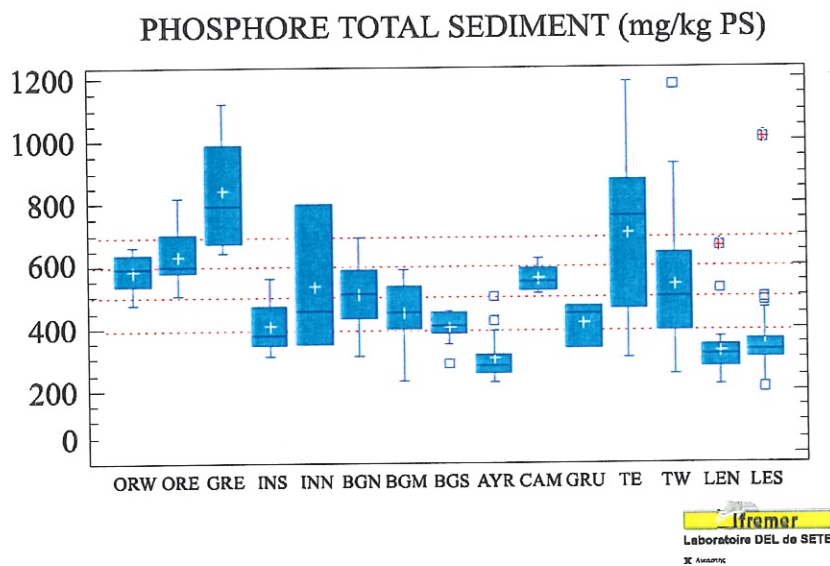
L'azote total dans les sédiments, comme la matière organique, est un paramètre intégrateur de l'état d'eutrophisation des lagunes. C'est une variable indicatrice de diagnostic écologique dont les valeurs seuils vont permettre un classement trophique efficace car ce paramètre est en relation évidente avec les apports d'azote dans les lagunes.



**Figure II.21 :** Distribution de l'azote dans les lagunes du pool de références. Les lignes pointillées rouges indiquent les seuils.

**Phosphore Total Sédiments (PTS)**

Le phosphore, élément de l'eutrophisation, est tout aussi important dans le diagnostic des lagunes. Il a en plus tendance à se stocker dans les sédiments. La réhabilitation d'une lagune eutrophisée sera caractérisée par la diminution progressive du phosphore sédimentaire. Les seuils peuvent déjà se dessiner au travers de la figure II.22.



**Figure II.22 :** Distribution du phosphore dans les lagunes du pool de références. Les lignes pointillées rouges indiquent les seuils.

## CONSTRUCTION DE LA GRILLE DE SEUILS

La formalisation d'un diagnostic de l'eutrophisation des sédiments lagunaires passe par la construction d'une grille de lecture calée sur des valeurs seuils pour chaque variable, qui permet de donner un état (du bleu au rouge) pour chaque prélèvement analysé. Les variables retenues sont la matière organique, l'azote et le phosphore. L'application de la grille permet de comparer les lagunes ou les secteurs de lagunes entre eux, et donne accès au classement. Le choix des valeurs seuils s'appuie sur les données obtenues dans cette étude et sur les amplitudes rapportées dans la synthèse bibliographique (CEMAGREF et IARE, 1994).

### **Matière organique**

La matière organique n'a pas été abordée en tant que paramètre dans la synthèse bibliographique et aucune amplitude de variation n'y est mentionnée. Les résultats obtenus dans cette étude donnent des pourcentages variant de moins de 1% dans les sables de l'étang de l'Ayrolle à plus de 25 % dans l'anse des Dindilles à Leucate. Mais cette dernière valeur est très exceptionnelle et la grande majorité des fortes concentrations en matière organique dans les sédiments se situe entre 10 et 15 %. Les valeurs seuils proposées, en particulier celles des états bleu et vert, sont adaptées au milieu lagunaire car elles demeurent élevées par rapport à un sédiment côtier non dégradé souvent constitué essentiellement de sable.

### **Azote total**

Les concentrations en azote dans les sédiments des lagunes du jeu de référence présentent une amplitude plus importante que celles présentées dans la synthèse bibliographique (2 à 4,5 g/kgPS) avec des valeurs minimums en dessous de 0,5 g/kgPS dans les sables de l'Ayrolle et des maximums supérieurs à 7 g/kgPS dans les zones profondes de l'étang de Thau. Le seuil de 1 g/kgPS est proposé pour le passage du bleu au vert et celui de 4 g/kgPS pour le passage dans le rouge. Les états intermédiaires sont déterminés selon une progression arithmétique.

### **Phosphore total**

L'amplitude des concentrations en phosphore total dans les sédiments lagunaires présentée dans la synthèse bibliographique (400 à 1000 mg/kgPS) est aussi plus faible que celle obtenue

dans cette étude qui comprend des lagunes de bonne qualité comme l’Ayrolle ou Leucate (200 à 1200 mg/kgPS). La grille propose un état bleu en dessous de 400 mg/kgPS et un état rouge au-dessus de 700 mg/kgPS. Comme pour l’azote, les états intermédiaires sont déterminés selon une progression arithmétique.

A partir de la grille suivante, un état peut être attribué pour chaque prélèvement effectué dans les lagunes de référence.

VARIABLE		BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500		600		700	

L’ensemble des états est présenté figure II.23 a, b, c pour les étangs Palavasiens des lagunes de référence. L’étang de l’Or est caractérisé par une majorité d’états oranges et rouges pour les 3 paramètres. L’étang d’Ingril montre une plus grande hétérogénéité avec des états variant du bleu dans l’est de la partie sud à rouge dans l’ouest de la partie nord. La partie nord de l’étang d’Ingril est nettement plus dégradée que la partie sud, en particulier le secteur situé à proximité de Frontignan. Si pour l’azote et la matière organique l’étang du Grec présente aussi une certaine dispersion des états, la distribution des états du phosphore (orange à rouge) montre clairement la dégradation de cet écosystème.

De façon générale, les sédiments des étangs du Narbonnais sont en meilleur état que ceux des étangs Palavasiens avec une domination du bleu et du vert (figures II.24 a, b, c). La partie nord de Bages et l’étang de Campagnol sont de moins bonne qualité avec des états passant à l’orange voire au rouge pour le phosphore. Il y a aussi une baisse de qualité dans l’anse de Peyrac-de-Mer pour Bages et dans l’étang de Gruissan au niveau de la matière organique.

La distribution des états dans l’étang de Thau montre une grande hétérogénéité avec des niveaux le plus souvent rouges/oranges dans les parties profondes et bleus sur les bordures (figure II.25 a, b, c). On note cependant une nette dégradation des bordures dans la partie est (Crique de l’Angle et Petit Etang) et dans l’extrême sud-ouest (débouché du canal du midi) mais dans une moindre mesure. Les états du phosphore montrent une situation plus contrastée

que ceux de la matière organique et de l'azote. Un gradient de qualité décroissant se dessine nettement du nord-est au sud-ouest.

A la différence de l'étang de Thau, les parties centrales les plus profondes de Leucate sont très majoritairement de bonne qualité (figures II.26 a, b, c). La situation est particulièrement nette pour le phosphore. En revanche, certains secteurs en bordure, en particulier ceux situés à proximité des apports d'eau douce, montrent un excès de matière organique et d'azote dans une moindre mesure. L'anse des Dindilles, qui peut être considérée comme une sous unité particulière de l'étang de Leucate, est en très mauvais état. La relative accumulation de matière organique et d'azote dans les sédiments de Leucate n'est pas accompagnée par celle du phosphore qui présente presque partout des états bleus.

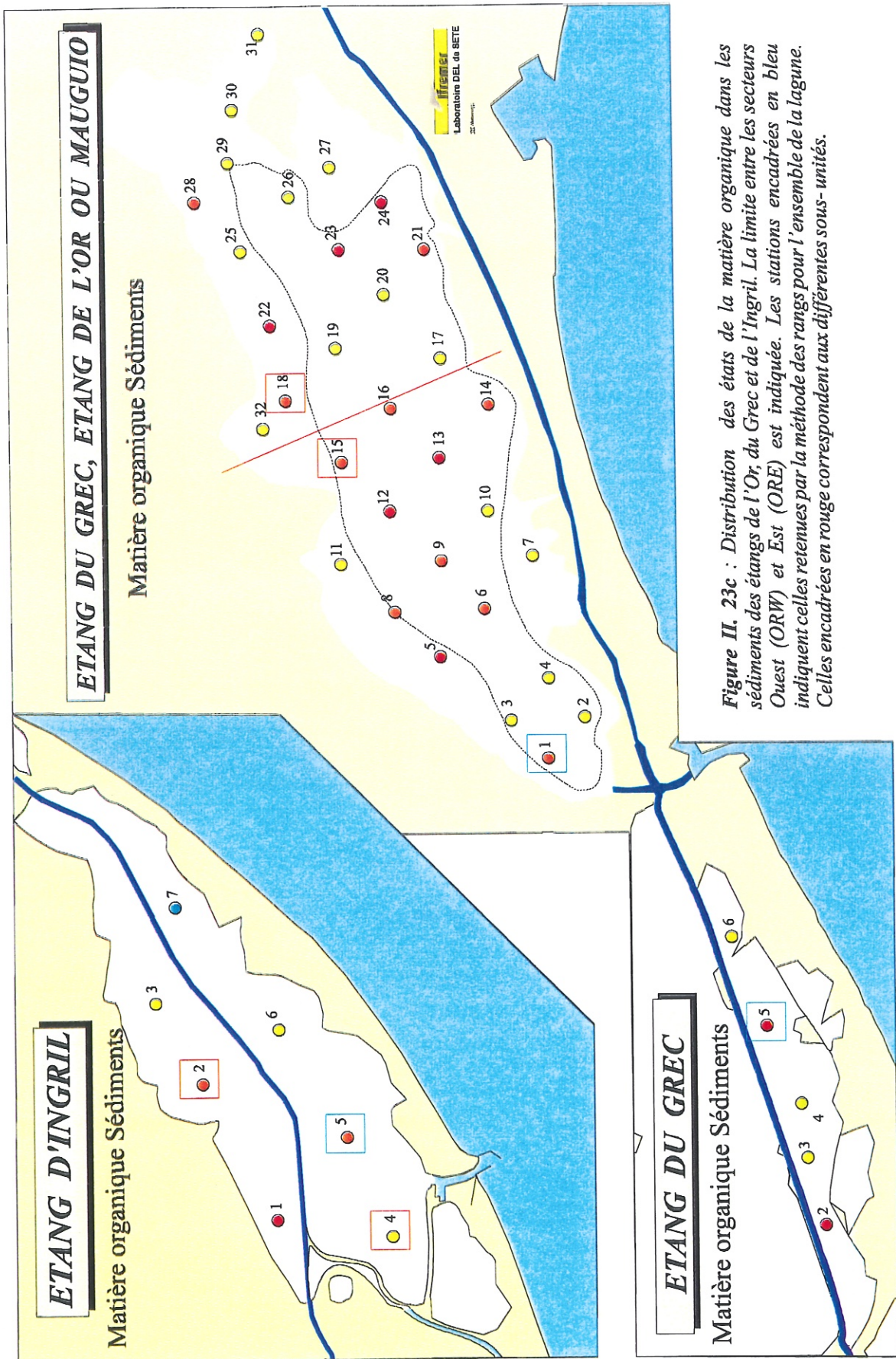


Figure II. 23c : Distribution des états de la matière organique dans les sédiments des étangs de l'Or, du Grec et de l'Ingril. La limite entre les secteurs Ouest (ORW) et Est (ORE) est indiquée. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

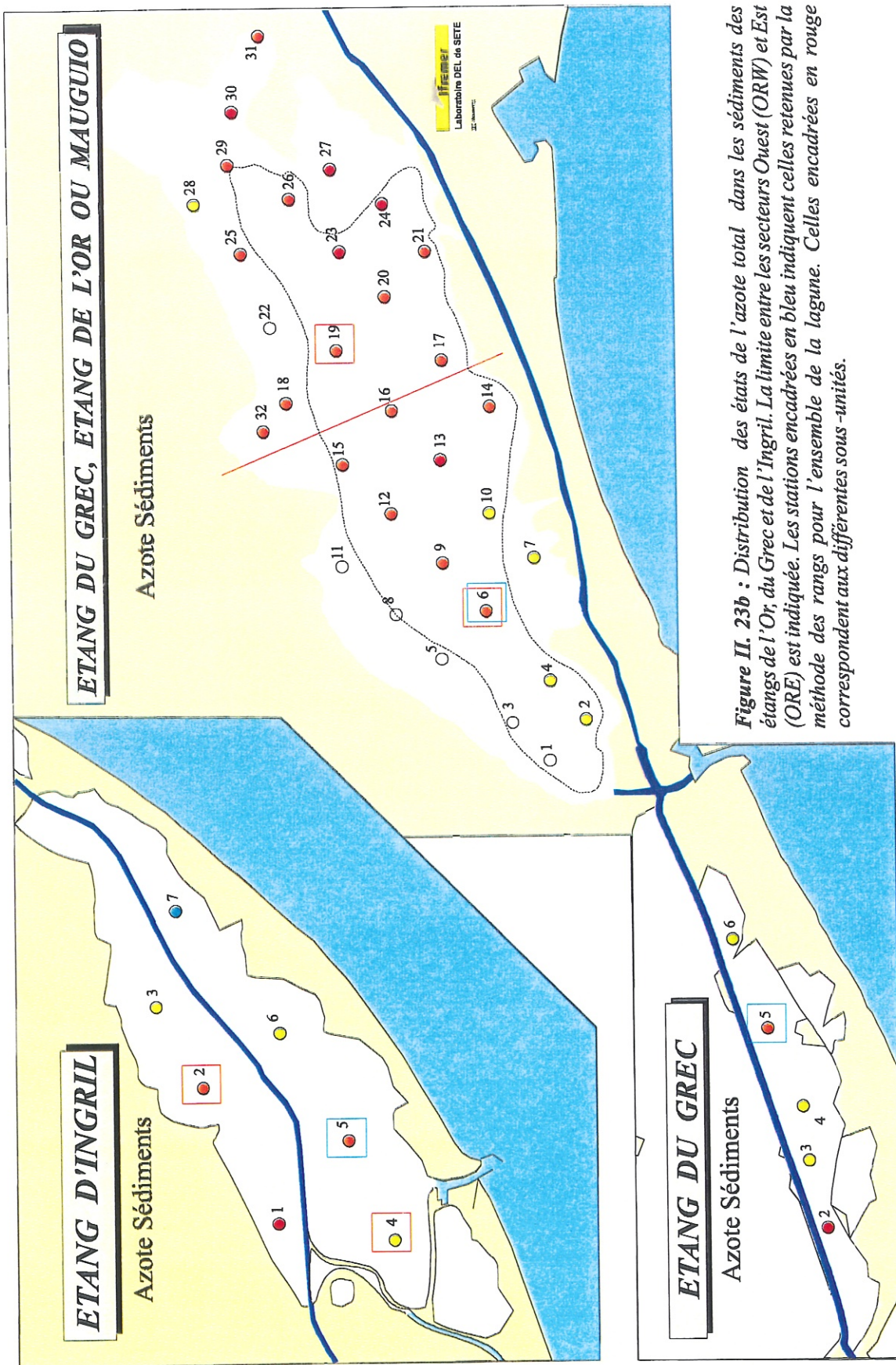


Figure II. 23b : Distribution des états de l'azote total dans les sédiments des étangs de l'Or, du Grec et de l'Ingril. La limite entre les secteurs Ouest (ORW) et Est (ORE) est indiquée. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

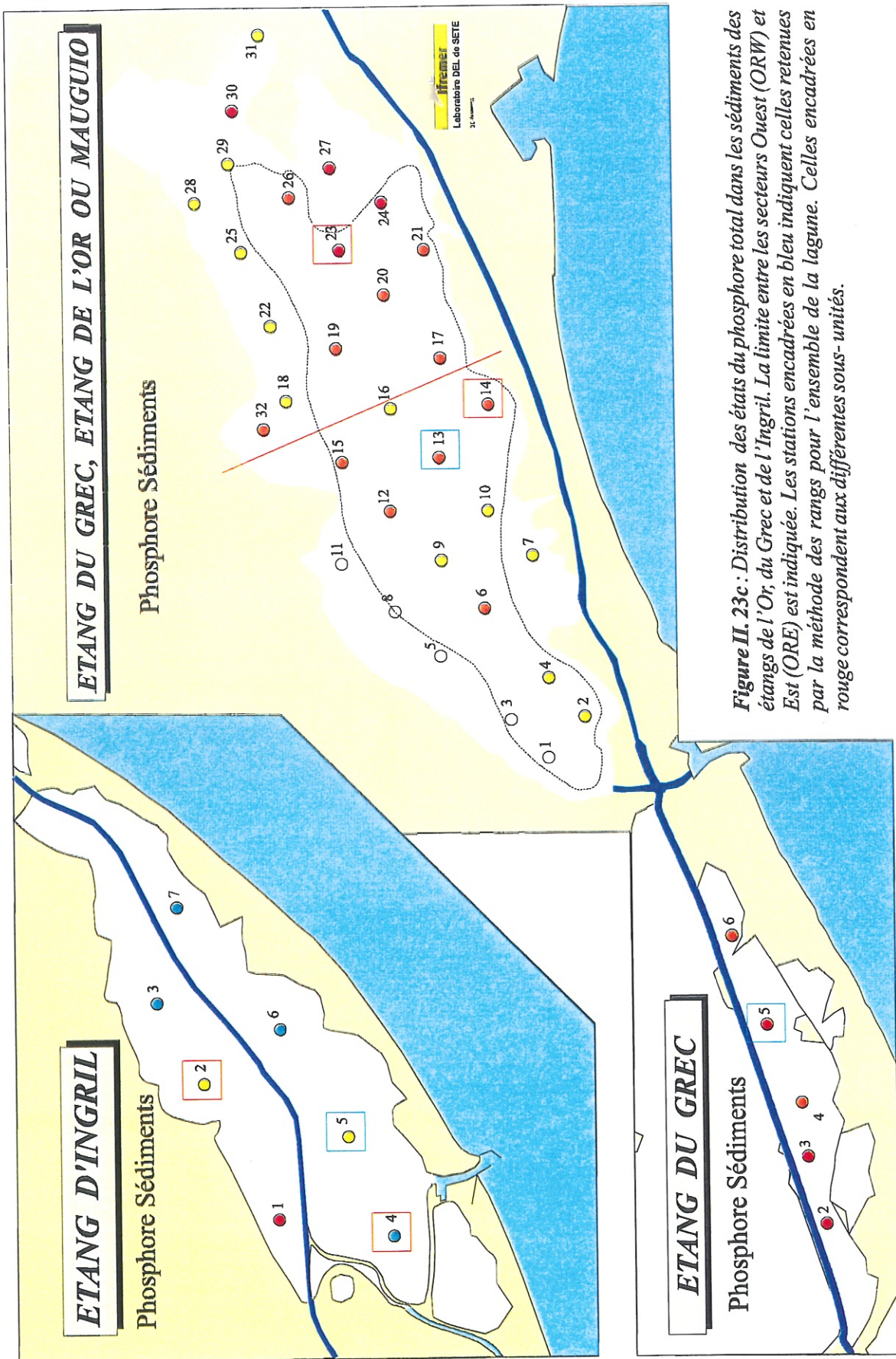


Figure II. 23c : Distribution des états du phosphore total dans les sédiments des étangs de l'Or, du Grec et de l'Ingril. La limite entre les secteurs Ouest (ORW) et Est (ORE) est indiquée. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

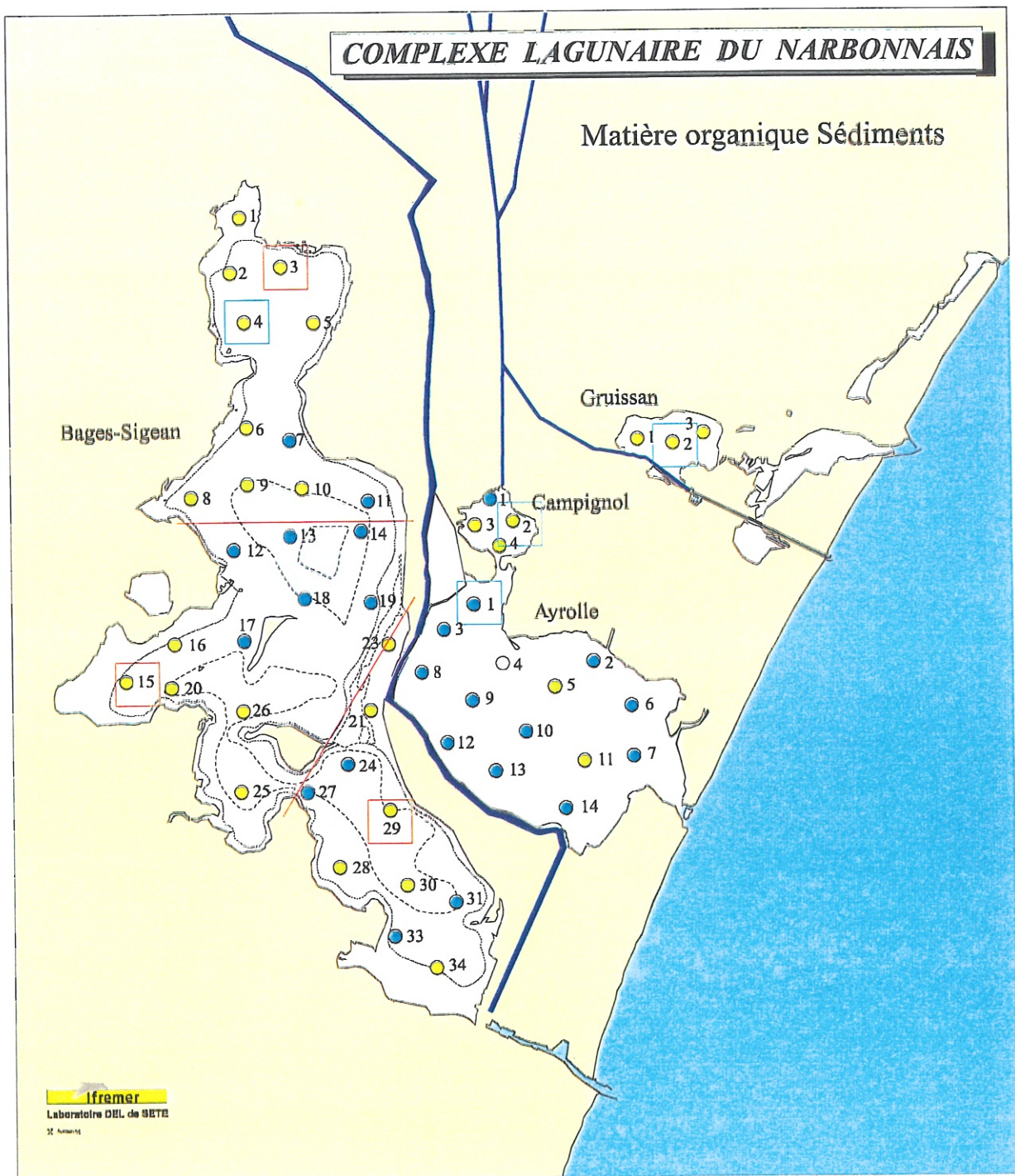
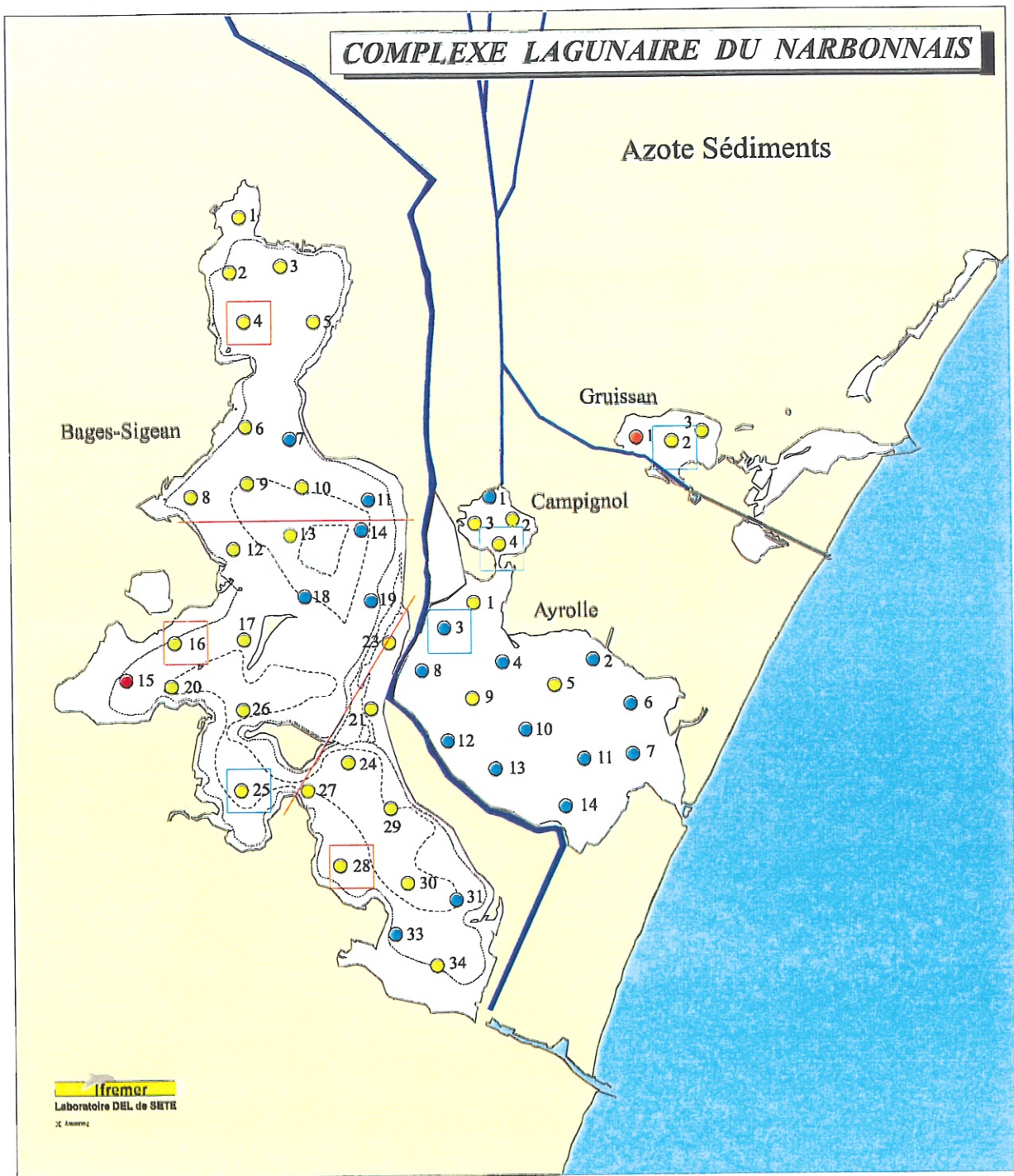
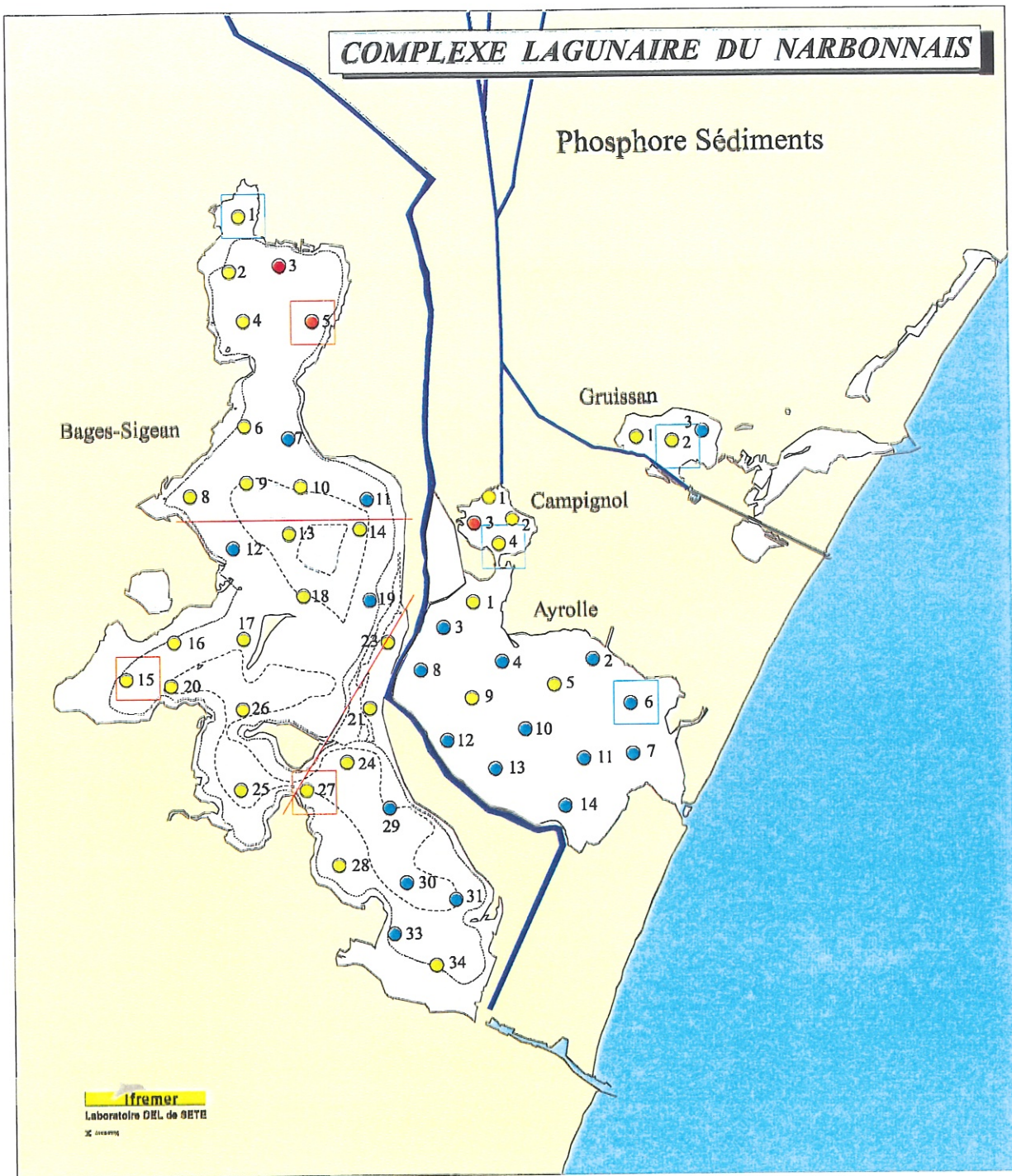


Figure II. 24a : Distribution des états de la matière organique dans les sédiments des étangs du Narbonnais. Les limites entre les secteurs du Nord (BGN), du Milieu (BGN) et du Sud (BGS) sont indiquées. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.



**Figure II. 24b** : Distribution des états de l'azote total dans les sédiments des étangs du Narbonnais. Les limites entre les secteurs du Nord (BGN), du Milieu (BGN) et du Sud (BGS) sont indiquées. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.



*Figure II. 24c : Distribution des états du phosphore dans les sédiments des étangs du Narbonnais. Les limites entre les secteurs du Nord (BGN), du Milieu (BGN) et du Sud (BGS) sont indiquées. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.*

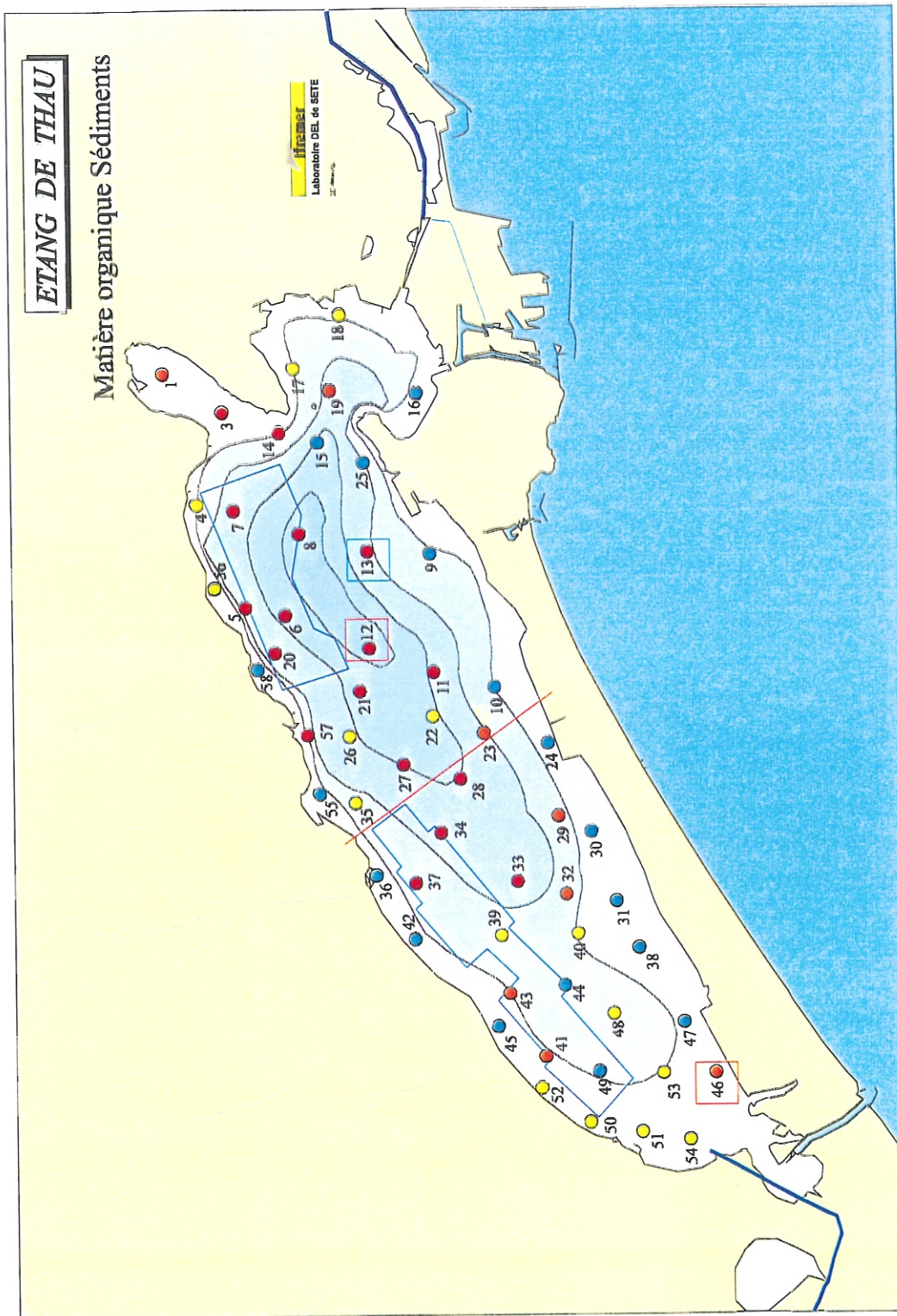


Figure II. 25a : Distribution des états de la Matière Organique dans les sédiments de l'étang de Thau . Les limites entre les secteurs Ouest (W) et Est (E) est indiquée. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

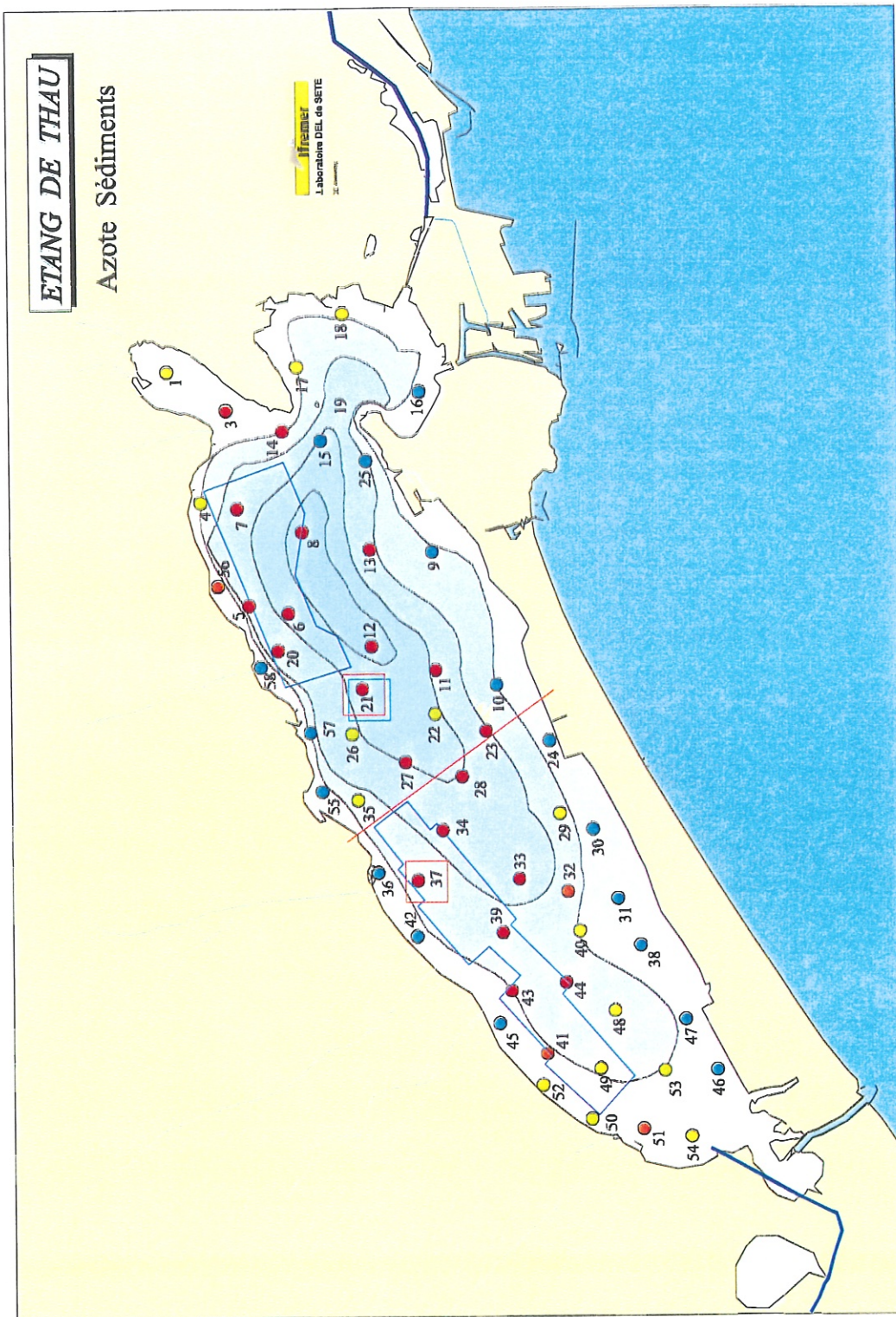


Figure II. 25b : Distribution des états de l'azote total dans les sédiments de l'étang de Thau. Les limites entre les secteurs Ouest (W) et Est (E) est indiquée. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

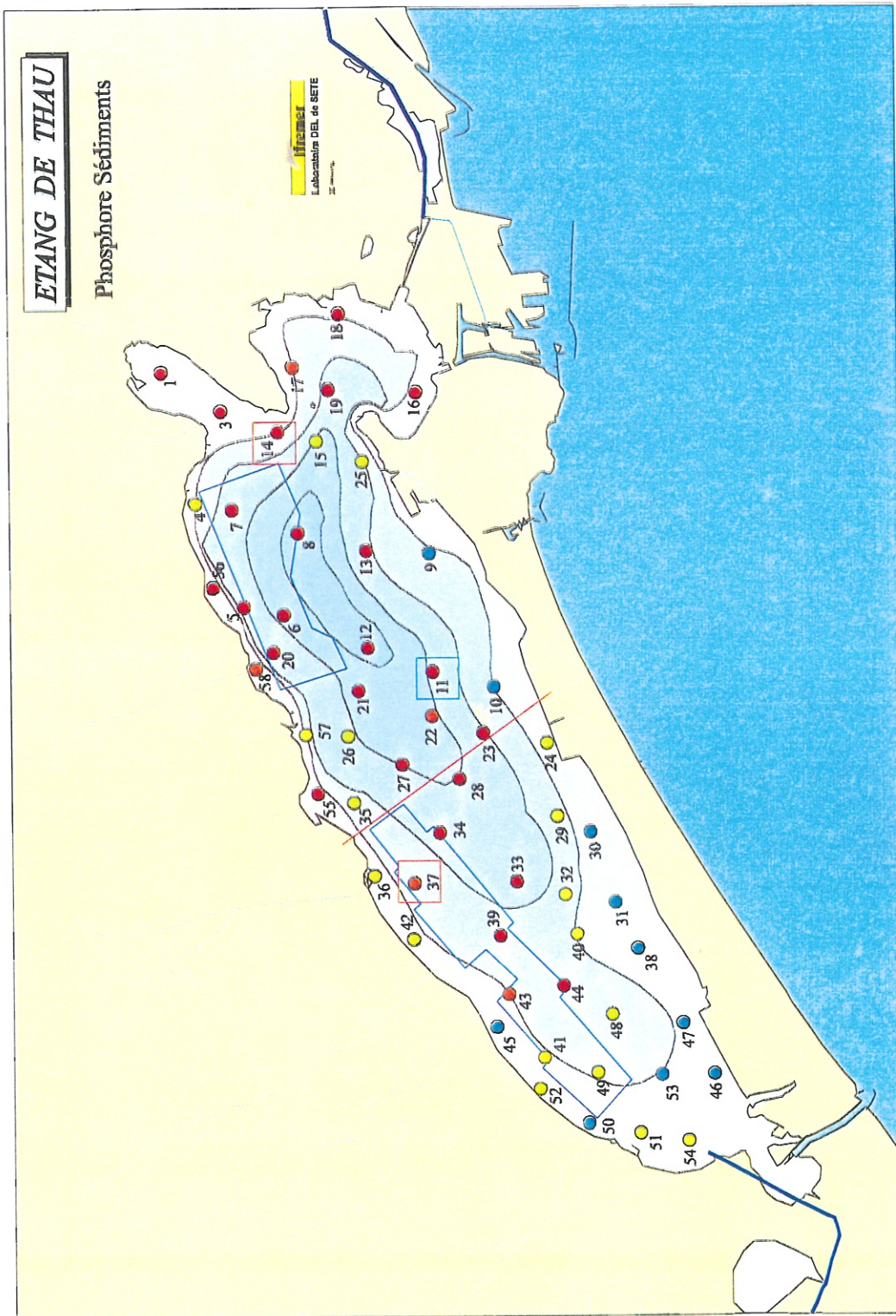
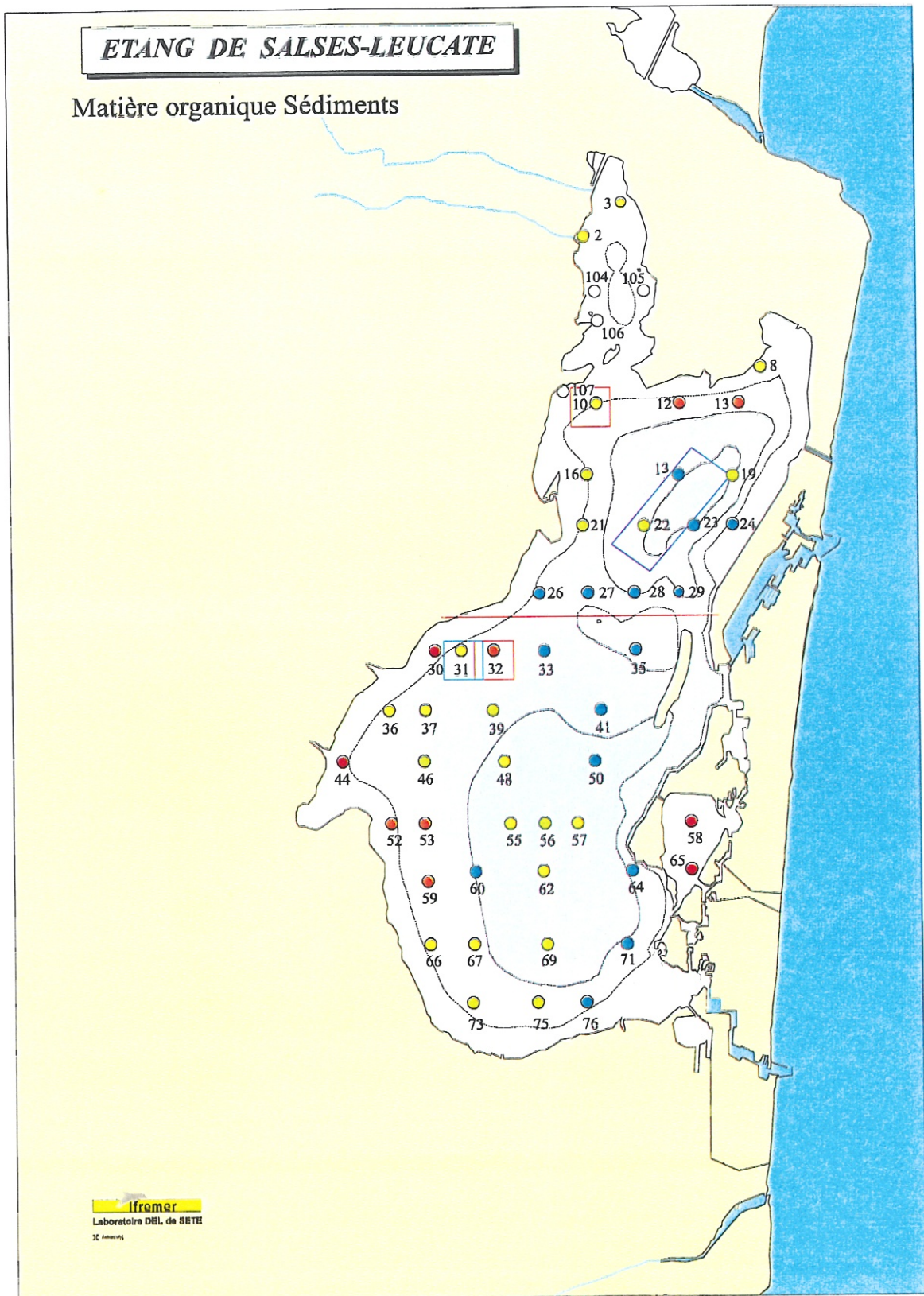


Figure II. 25c : Distribution des états du phosphore organique dans les sédiments de l'étang de Thau . Les limites entre les secteurs Ouest (W) et Est (E) est indiquée. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.



*Figure II. 26a : Distribution des états de la matière organique dans les sédiments l'étang de Leucate. Les limites entre les secteurs du Nord (LEN) et Sud (LES) sont indiquées. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.*

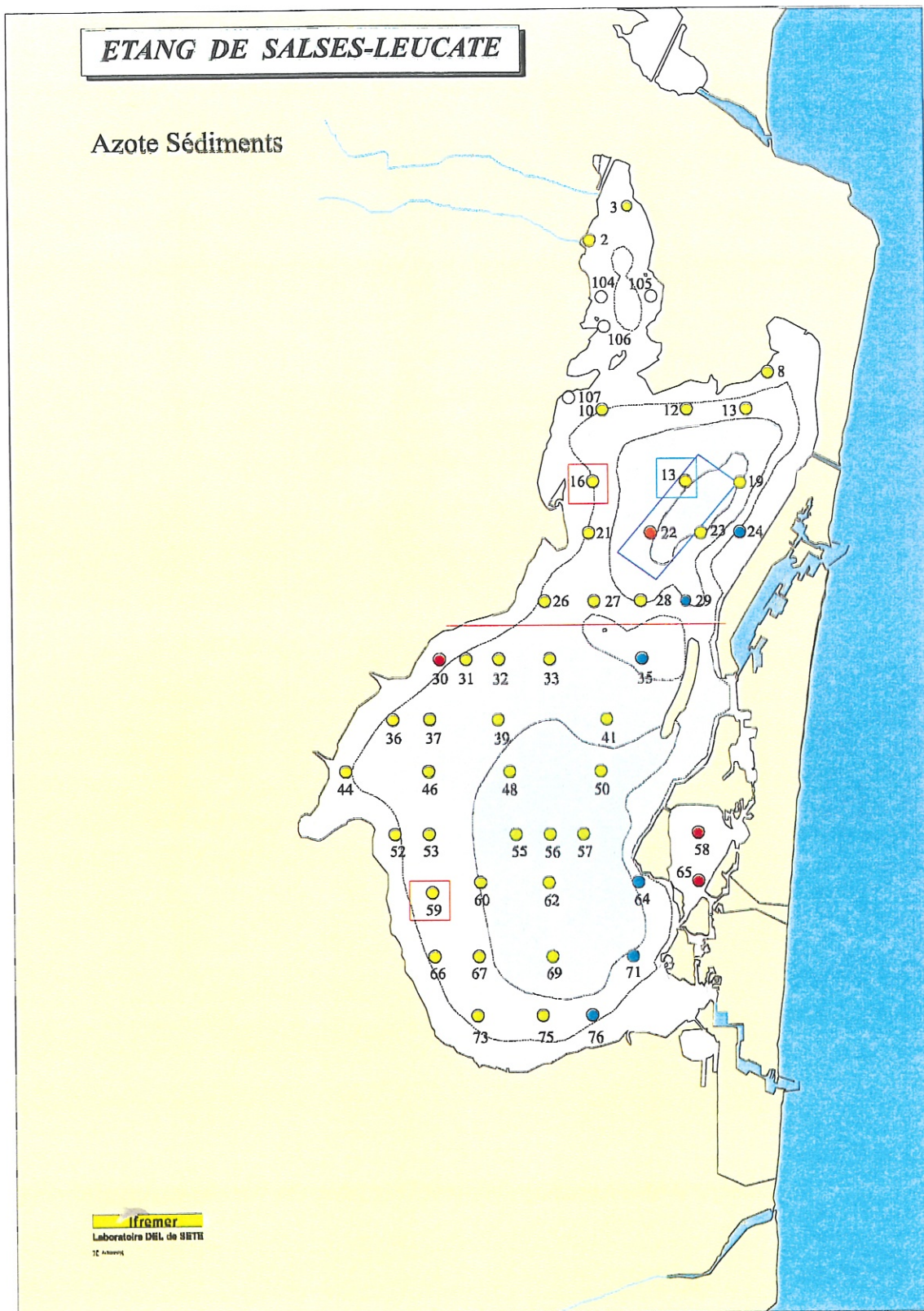


Figure II. 26b : Distribution des états de l'azote dans les sédiments l'étang de Leucate. Les limites entre les secteurs du Nord (LEN) et Sud (LES) sont indiquées. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

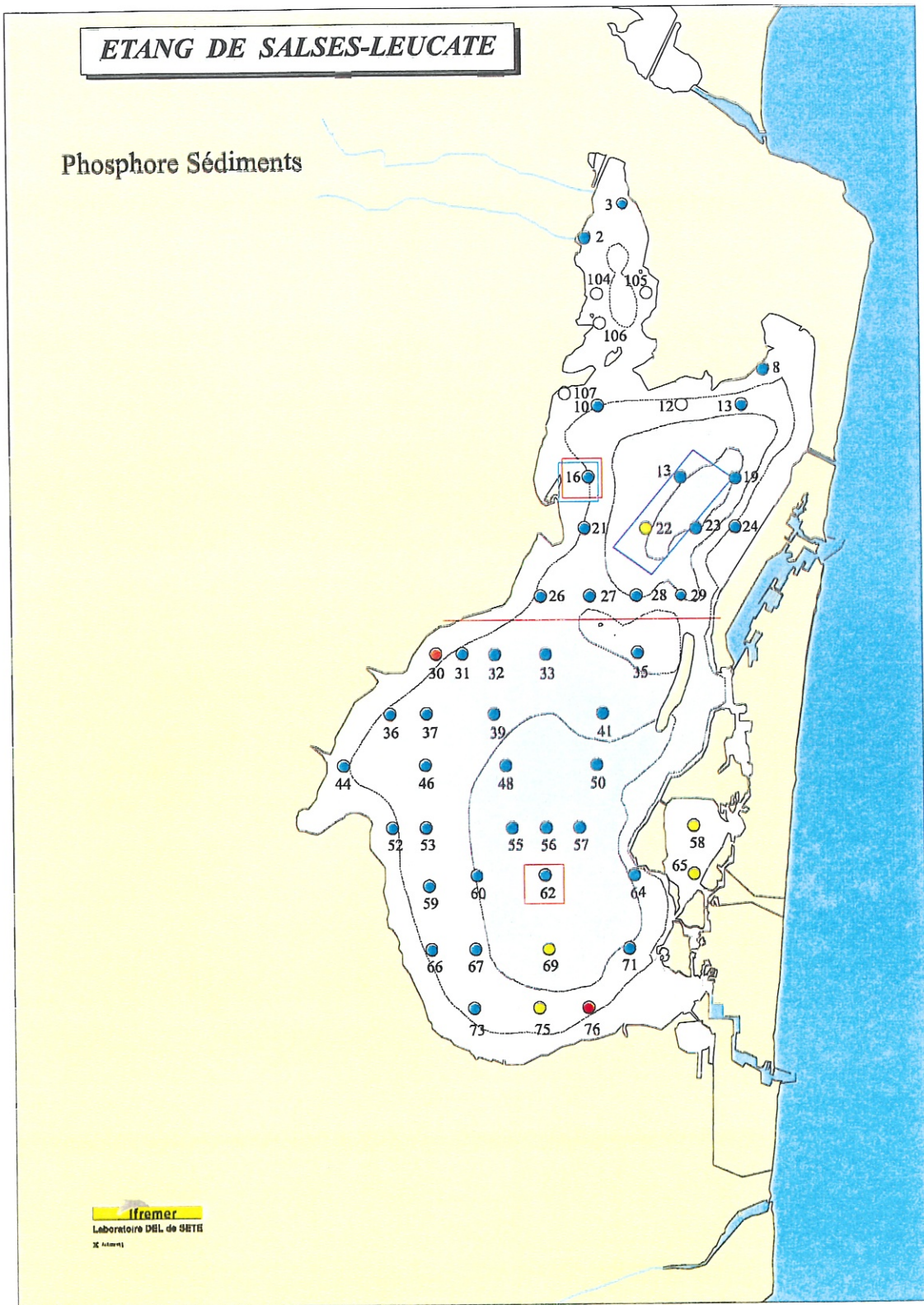


Figure II. 26c : Distribution des états du phosphore dans les sédiments l'étang de Leucate. Les limites entre les secteurs du Nord (LEN) et Sud (LES) sont indiquées. Les stations encadrées en bleu indiquent celles retenues par la méthode des rangs pour l'ensemble de la lagune. Celles encadrées en rouge correspondent aux différentes sous-unités.

### Détermination de l'état général

La distribution spatiale des états du sédiments (figures II.23 à II.26) permet de visualiser les secteurs les plus eutrophisés d'une lagune. Mais il est aussi important de déterminer l'état général d'une lagune ou d'un secteur de lagune lorsque cette dernière présente une grande superficie. Dans cet objectif, le calcul de la moyenne ne semble pas approprié car il entraînerait par exemple la comparaison d'un état calculé sur 4 prélèvements (Ingril nord ou sud) avec un état calculé sur plus de 70 prélèvements (Thau ou Leucate). Il est proposé, pour définir l'état général, de retenir le résultat associé à un prélèvement sans jamais interpoler entre deux résultats. S'il existe des secteurs sédimentaires dégradés par l'eutrophisation, l'état général doit les prendre en compte. On cherche donc à retenir un prélèvement donnant la moins bonne qualité à condition que ce dernier ne corresponde pas à une valeur exceptionnelle (erreur méthodologique, bordures et autres environnements particuliers). Ce principe a été adopté par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse pour agréger des données collectées dans l'eau sur une période d'une année par exemple. Pour une série de N résultats classés par ordre croissant, Le rang (i) du résultat à retenir est alors la partie entière de la quantité :  $0,9 \times N + 0,5$ . Dans le cas des sédiments lagunaires, le remplissage de la grille pour une lagune et/ou un secteur de lagune s'effectue en retenant pour chaque variable le rang (rangement par ordre croissant) correspondant à l'entier le plus proche de la quantité  $(0,8 \times N + 0,5)$  où N est le nombre de stations échantillonnées. Le choix de 0,8 pour les sédiments permet de ne pas retenir le prélèvement le plus déclassant dans le cas où seuls 4 stations ont été échantillonnées ( $0,8 \times 4 = 3,2$ ) comme dans le cas des deux bassins de l'Ingril. Pour les grandes lagunes (Or, Bages, Thau et Leucate), une grille est aussi remplie en considérant chaque secteur correspondant à une station hydrologique. Les résultats sont rassemblés dans le tableau II.3. Les stations retenues par la méthode des rangs pour chaque lagune et chaque secteur de grande lagune sont indiquées sur les figures II.23 à II.26. L'état général des sédiments est donné par le paramètre le plus déclassant de la grille.

Tableau II.3 : Calcul des valeurs retenues pour chaque variable et chaque lagune par la méthode des rangs.

ECO	NBPT	RANG	STA	PROF	MO	NBPT	RANG	STA	PROF	NT	NBPT	RANG	STA	PROF	PT
OR	32	26	1	0,9	9,9	26	21	6	1,2	3,8	26	21	13	1,3	640
ORW	16	13	15	0,9	9,6	11	9	6	1,2	3,8	11	9	14	1,1	640
ORE	16	13	18	0,8	8,4	15	12	19	1,1	3,9	15	12	23	1,2	710
GRE	5	4	5	0,3	10,2	5	4	5	0,3	3,8	5	4	5	0,3	990
ING	7	6	5	1,2	9,5	7	6	5	1,2	3,0	7	6	5	1,2	570
INS	4	3	4	0,9	5,0	4	3	4	0,9	1,6	4	3	4	0,9	390
INN	3	2	2	0,8	8,6	3	2	2	0,8	3,0	3	2	2	0,8	460
BG	32	26	4	14	6,0	32	26	25	0,8	2,0	32	26	1	1,2	560
BGN	11	9	3	1,9	6,5	11	9	4	1,4	2,3	11	9	5	2,3	620
BGM	11	9	15	0,9	6,1	11	9	16	0,6	1,9	11	9	20	1,5	542
BGS	10	8	28	1,0	3,9	10	8	28	1,0	1,4	10	8	27	2,0	460
AYR	13	10	1	0,3	2,9	14	11	3	0,6	0,9	14	11	6	0,7	320
CAM	4	32	2	0,8	4,8	4	3	4	0,6	1,8	4	3	4	0,6	570
GRU	3	2	2	0,8	5,6	3	2	2	0,8	2,9	3	2	2	0,8	450
THAU	57	46	13	7,8	12,4	57	46	21	7,2	5,1	57	46	11	7,7	870
TW	27	22	46	1,8	8,4	27	22	37	3,3	4,4	27	22	37	3,3	680
TE	30	24	12	9,8	13,3	30	24	21	7,2	5,1	30	24	14	4,3	910
LEU	48	38	31	1,4	7,1	47	38	13	2,3	2,5	48	38	16	1,0	360
LES	31	25	32	1,5	6,4	31	25	59	2,6	2,2	31	25	62	3,9	370
LEN	17	14	10	1,6	7,8	16	13	16	1,0	2,5	17	14	16	1,0	360

NBPT : nombre de données

RANG : rang de la valeur retenue

STA : numéro de la station retenue

PROF : profondeur de la station retenue

MO : teneur en matière organique (g pour 100 g PS)

NT : concentration en azote total (g/kg PS) dans le sédiment de la station

PT : concentration en phosphate total (mg/kg PS)

## RESULTATS DES GRILLES DE QUALITE

### *Etang de l'Or*

#### OR

VARIABLE	OR	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	9,9	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	3,8	4,0	
PT	mg/kgPS		400		500		600	640	700	

#### OR OUEST (ORW)

VARIABLE	ORW	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	9,6	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	3,8	4,0	
PT	mg/kgPS		400		500		600	640	700	

#### OR EST (ORE)

VARIABLE	ORE	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	8,4	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	3,9	4,0	
PT	mg/kgPS		400		500		600		700	710

Les sédiments de l'étang de l'Or se classent en orange pour l'ensemble de la lagune., Les parties ouest et est se distinguent au niveau du phosphore où l'état rouge apparaît dans la partie est.

### *Etang du Grec*

VARIABLE		BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5		10,0	10,2
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	3,8	4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	570	600		700	1000

L'étang du Grec possède des sédiments en très mauvais état avec des concentrations en phosphore très largement au-dessus du seuil passant de l'orange au rouge.

*Etang d'Ingril*

INGRIL

VARIABLE	IN	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5		7,5	9,5	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	3,0	4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	570	600		700	

INGRIL SUD

VARIABLE	INS	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5	5,0	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0	1,6	2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS	388	400		500		600		700	

INGRIL NORD

VARIABLE	INN	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5		7,5	8,6	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	3,0	4,0	
PT	mg/kgPS		400	461	500		600		700	

Dans son ensemble, l'étang d'Ingril est classé en orange par la matière organique et l'azote mais reste passable pour le phosphore. Les sédiments du bassin sud sont de meilleure qualité que le bassin nord pour les trois paramètres avec même des concentrations de phosphore très satisfaisantes.

*Etang de Bages*

BAGES

VARIABLE	BAGES	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	6,0	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	2,0	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	560	600		700	

BAGES NORD

VARIABLE	BGN	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	6,5	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	2,3	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500		600	620	700	

BAGES MILIEU

VARIABLE	BGM	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	6,1	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0	1,99	2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	542	600		700	

BAGES SUD

VARIABLE	BGS	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5	3,9	5,0		7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0	1,6	2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400	460	500		600		700	

Si dans son ensemble, l'étang de Bages est classé comme passable, la séparation en trois parties correspondant aux stations échantillonnées pour l'hydrologie montre un gradient décroissant en qualité du sud au nord. Les sédiments de la partie nord sont rendus médiocres par les concentrations en phosphore.

*Etang de l'Ayrolle*

VARIABLE		BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%	2,9	3,5		5,0		7,5		10,0	
NT	g/kgPS	0,9	1,0		2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS	320	400		500		600		700	

L'étang de l'Ayrolle est le seul écosystème à présenter une grille de qualité très satisfaisante pour les trois variables.

*Etang de Campagnol*

VARIABLE	AYR	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5	4,1	5,0		7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0	1,8	2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	570	600		700	

Les sédiments de l'étang de Campagnol ne présentent pas d'accumulation en matière organique et azote. En revanche, l'état des sédiments de cette lagune est rendu passable par le phosphore.

*Etang de Gruissan*

VARIABLE	GRU	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	5,6	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	2,9	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400	450	500		600		700	

A la différence de l'étang de Campagnol, les sédiments de l'étang de Gruissan sont passables par la matière organique et l'azote. Les concentrations en phosphore donnent un état satisfaisant.

*Etang de Thau*

THAU (SANS DISTINCTION DE PROFONDEUR)

VARIABLE	THAU	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5		10,0	12,4
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0		4,0	5,2
PT	mg/kgPS		400		500		600		700	870

THAU EST (SANS DISTINCTION DE PROFONDEUR)

VARIABLE	TE	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5		10,0	13,3
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0		4,0	5,1
PT	mg/kgPS		400		500		600		700	910

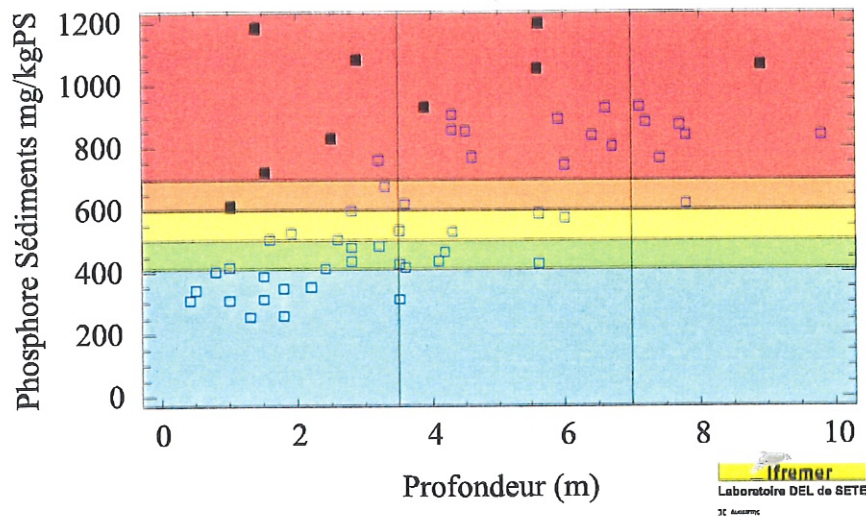
THAU OUEST (SANS DISTINCTION DE PROFONDEUR)

VARIABLE	TW	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	8,4	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0		4,0	4,4
PT	mg/kgPS		400		500		600	680	700	

Les sédiments de l'étang de Thau sont largement classés en rouge lorsque l'écosystème est pris dans son ensemble. Les stations retenues pour les trois variables sont situées dans la partie est de l'écosystème à des fonds de profondeur supérieure à 7 m, mais en dehors des zones conchylicoles (figure II.25 a b et c). La distinction des secteurs ouest et est montre un plus fort déclassement de la partie est avec une station située à seulement 4,3 m de profondeur pour le phosphore. Dans la partie ouest, l'état est plus proche du orange. Les stations retenues sont situées à une profondeur inférieure à 3,5 m mais localisées dans la zone conchylicole pour l'azote et le phosphore.

Les résultats de la grille pour l'étang de Thau illustrent la particularité des environnements lagunaires «profonds». La difficulté réside dans la singularité de Thau en tant que lagune profonde du jeu de référence. Le taux de sédimentation des particules organiques est d'autant plus élevé que la hauteur de la colonne d'eau est importante. Aussi, les sédiments profonds sont structurellement plus chargés en MO, NT et PT que ceux des lagunes peu profondes. De

plus, cette lagune possède de vastes secteurs conchylicoles influencés par la biodéposition qui viennent ajouter une composante supplémentaire. Le figure II.27 illustre cette relation profondeur/concentration pour le phosphore. Les concentrations de matière organique et l'azote présentent des relations similaires avec la profondeur dans le bassin de Thau.



**Figure II.27 :** Relation entre la profondeur et les concentration en phosphore total dans les sédiments du bassin de Thau. Les carrés noirs correspondent à des stations situées dans la bordure Nord-Est et/ou dans les zones conchylicoles. Les seuils retenus sont indiqués par des traits horizontaux, les profondeurs de 3,5 et 7 m par des traits verticaux. Une distribution équivalente est obtenue à partir de l'azote et de la matière organique.

Une correction de profondeur doit donc être effectuée si l'on veut intégrer l'étang de Thau dans l'outil. Mais la construction d'une courbe d'ajustement doit être effectuée en excluant les bordures spécifiquement atteintes par l'eutrophisation. Les données recueillies dans cette étude ne sont pas assez nombreuses pour effectuer de façon formelle une correction de profondeur ou de zone conchylicole. Ce travail doit faire l'objet d'une étude approfondie.

Afin d'intégrer le bassin de Thau dans le classement général, un reclassement simplifié provisoire est proposé en tenant compte de la profondeur de la station retenue par la méthode des rangs :

- lorsque la station est située à une profondeur située entre 3,5 et 7 m, l'état est réévalué d'une classe.
- lorsque la station est située à une profondeur supérieure à 7 m, l'état est réévalué de 2 classes.

L'application à l'étang de Thau donne les grille suivantes :

THAU (APRES RECLASSEMENT DE PROFONDEUR)

VARIABLE	THAU	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	12,4	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	5,1	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	870	600		700	

Pour l'écosystème pris dans son ensemble, les 3 stations retenues étant situées à plus de 7 m, l'état retenu sera le jaune.

THAU EST (APRES RECLASSEMENT DE PROFONDEUR)

VARIABLE	TE	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	13,3	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	5,1	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS		400		500		600	910	700	

THAU OUEST (APRES RECLASSEMENT DE PROFONDEUR)

VARIABLE	TW	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	8,4	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0		4,0	4,4
PT	mg/kgPS		400		500		600	680	700	

En distinguant deux secteurs dans le bassin de Thau, la partie est se reclasse en orange en raison des concentrations élevées de phosphore dans les sédiments de bordure. Pour la partie ouest, le reclassement de profondeur n'est pas effectif car les stations retenues sont à des profondeurs inférieures à 3,5 m. En revanche, les stations retenues pour l'azote et le phosphore sont situées dans la zone conchylicoles de Mèze.

**Reclassement des zones conchylicoles**

Les sédiments situées dans l'environnement proche des zones d'activités conchylicoles et piscicoles reçoivent un enrichissement supplémentaire en matière organique. Dans le cas de l'étang de Thau, l'impact des zones conchylicoles sur la qualité des sédiments est net car les densités de filtreurs en élevage sont particulièrement élevées. Il est donc justifié de reclasser les stations retenues par la méthode des rangs lorsque celles-ci sont situées dans les zones

conchylicoles. Dans le cas du secteur ouest de Thau, la réévaluation d'une classe des stations conchylicoles donne la grille suivante :

THAU OUEST (APRES RECLASSEMENT D'ACTIVITE CONCHYLICOLE)

VARIABLE	TW	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	8,4	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0		3,0	4,4	4,0	
PT	mg/kgPS		400		500	680	600		700	

Les stations retenues pour l'azote et le phosphore sont situées dans la zone conchylicole et entraînent un reclassement en jaune pour le phosphore et en orange pour l'azote. Les sédiments de la partie ouest sont classés en orange par la matière organique et l'azote, et en jaune pour le phosphore.

Dans le cas où la station est située à la fois dans une zone profonde et conchylicole, le reclassement peut-être cumulé. Le reclassement maximum théorique est de trois classes.

### *Etang de Leucate*

LEUCATE

VARIABLE	LEU	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	7,1	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	2,5	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS	360	400		500		600		700	

L'évaluation de l'étang de Leucate pris dans son ensemble indique un état passable pour la matière organique et l'azote. L'état est bleu pour le phosphore. La station retenue pour la matière organique est située dans la zone conchylicole. A la différence de Thau, les activités conchylicoles de Leucate n'ont pas une influence significative sur la distribution de la matière organique dans les sédiments (Ladagnous, 1993). Les densités d'élevages sont beaucoup plus faibles que dans l'étang de Thau. Il est donc difficile d'appliquer le même type de reclassement de zone conchylicole sans qu'une étude spécifique soit effectuée sur la lagune de Salses-Leucate.

LEUCATE SUD

VARIABLE	LES	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0		7,5	7,8	10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	2,0	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS	370	400		500		600		700	

Lorsque le bassin sud de Leucate est individualisé, la matière organique le décline en orange alors que l'azote est à la limite vert/jaune. Les figures II.26 a, b, c font nettement apparaître l'anse des Dindilles comme un secteur plutôt isolé de l'étang de Leucate et fortement soumis aux apports du lido urbanisé. La crise dystrophique de 1979/1980 dans l'étang de Leucate était partie de ce secteur (Boutière, 1982). Cette anse doit posséder des caractéristiques hydrologiques différentes de celles mesurées dans le bassin central. En ne considérant pas les deux stations de l'anse des Dindilles, le classement de la partie sud passe dans le jaune pour la matière organique et dans le vert pour l'azote :

GRILLE DE QUALITE SEDIMENT DE LEUCATE SUD sans l'anse des Dindilles

VARIABLE	LES	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	7,1	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0	1,9	2,0		3,0		4,0	
PT	mg/kgPS	350	400		500		600		700	

La partie nord de l'étang de Leucate ne dispose pas de secteur isolé comme dans la partie sud. Elle possède une grille proche de celle du bassin sud sans l'anse des Dindilles.

GRILLE DE QUALITE SEDIMENT DE LEUCATE NORD

VARIABLE	LEN	BLEU		VERT		JAUNE		ORANGE		ROUGE
MO	%		3,5		5,0	6,4	7,5		10,0	
NT	g/kgPS		1,0		2,0	2,5	3,0		4,0	
PT	mg/kgPS	360	400		500		600		700	

## DIAGNOSTIC DES SEDIMENTS

A partir des grilles, un état général des sédiments est obtenu en prenant pour base le plus déclassant. L'ensemble des états issus du diagnostic sur les sédiments est reporté dans le tableau ci-dessous. Pour l'étang de Thau, la case inférieure rend compte de l'état initial issu de la grille de seuil. La case supérieure indique l'état après reclassement de profondeur ou de zone conchylicole. Tous les états, du rouge au bleu, sont représentés. L'étang de Thau, en tant que lagune profonde et intensivement exploitée pour la conchyliculture, doit être soumis à des reclassements en attendant un traitement plus approfondi dans le cadre d'une étude de l'environnement physique. L'étang de Leucate, autre grande lagune, montre les limites de la grille lorsque l'on veut prendre en compte les bords ou les anses isolées. Certains secteurs confinés doivent donc faire l'objet d'une grille spécifique. L'exemple de l'étang de Bages met en évidence l'intérêt d'effectuer une partition des lagunes dans certains cas. Les sédiments de Bages présentent un état satisfaisant dans la partie sud alors qu'ils sont de qualité médiocre dans la partie nord.

ORW	ORE	GRE	INS	INN	BGN	BGM	BGS	AYR	CAM	GRU	TE	TW	LES	LEN
Orange	Rouge	Rouge	Jaune	Orange	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Jaune	Jaune	Orange	Orange	Jaune	Jaune
											Rouge	Rouge		

Le diagnostic des sédiments, effectué à partir de la variable la plus déclassante de la matière organique, l'azote et le phosphore, peut être comparé à celui reportant les résultats sur le phosphore uniquement. Les différences concernent les étang de l'Ingril, de Guissan, de Thau ouest et de Leucate qui présentent de fortes valeurs de matière organique et d'azote. Cette composante supplémentaire en matière organique et azote par rapport au phosphore est particulièrement observée dans les environnements envasés, située à proximité des zones humides. Les notions de confinement d'un milieu lagunaire doivent aussi intervenir. Une étude qualitative de la matière organique pourrait vérifier l'hypothèse d'une accumulation de débris végétaux d'origine terrestre qui pourraient alimenter un réservoir de composés plus ou moins réfractaires à la minéralisation bactérienne.

CLASSEMENT TROPHIQUE SUR LE PHOSPHORE DES SEDIMENTS

ORW	ORE	GRE	INS	INN	BGN	BGM	BGS	AYR	CAM	GRU	TE	TW	LES	LEN
Orange	Rouge	Rouge	Bleu	Vert	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Jaune	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Bleu
											Rouge	Orange		

La distribution des états issus seulement du phosphore présente un intérêt particulier. L'état du phosphore, en association avec d'autres indicateurs de l'état trophique, peut potentiellement indiquer si un écosystème est en voie de restauration ou en voie de dégradation. L'état bleu indique que l'écosystème est resté jusqu'à présent à l'abri de l'eutrophisation. Les états rouges et oranges signifient une eutrophisation importante depuis plusieurs années ayant conduit à un stockage de phosphore dans les sédiments.

## **Chapitre III**

# **PHYTOPLANCTON**

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>108</b>
<b>RESULTATS</b> .....	<b>109</b>
<u>OBSERVATIONS EN MICROSCOPIE</u> .....	109
<u>CYTOMÉTRIE EN FLUX</u> .....	111
<b>GRILLE DE SEUILS</b> .....	<b>115</b>
<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
<b>DIAGNOSTIC BASE SUR LE PHYTOPLANCTON</b> .....	<b>122</b>

## INTRODUCTION

La compétition entre les macrophytes et le phytoplancton pour les sels nutritifs impose la prise en compte des deux principales composantes de la production primaire dans les lagunes. La signification de la biomasse phytoplanctonique doit cependant être relativisée par rapport aux autres variables car une faible biomasse ne signifie pas obligatoirement un faible niveau d'eutrophisation, en particulier lorsque les macrophytes sont abondants et donc compétiteurs pour les éléments nutritifs. A l'inverse, les proliférations phytoplanctoniques peuvent freiner, voire empêcher la croissance des macrophytes, en diminuant la pénétration de la lumière dans l'eau. Il apparaît donc que si la chlorophylle-a est un bon indicateur de biomasse facile à mettre en routine, ce paramètre ne renseigne pas sur la nature et la taille du phytoplancton. La question de l'existence d'unités taxonomiques associées à des états d'eutrophisation se pose. Un diagnostic sur le phytoplancton à partir de la chlorophylle-a seule peut donc sembler insuffisant.

Les observations par microscopie optique sont coûteuses et fastidieuses même si elles constituent, à l'heure actuelle, le seul moyen d'inventorier les différents taxons présents. Le plus gros inconvénient de la microscopie optique est de ne pouvoir «lire» correctement les cellules de taille inférieure à 5  $\mu\text{m}$  et en particulier le picophytoplancton. Une autre technique, plus intégratrice du point de vue écologique, permettant d'effectuer un classement trophique peut consister dans les dénombrements des algues par Cytométrie en Flux. Les analyses basées sur les seules fluorescences pigmentaires et sur les mesures de diffusion lumineuse par les cellules permettent d'obtenir le nombre total d'organismes phytoplanctoniques, et la proportion des organismes les plus petits (< 2  $\mu\text{m}$ ) ou picophytoplancton. Par ailleurs l'analyse de la fluorescence verte émise par les Cyanophycées et les Cryptophycées contenant des phycobilines permet de les distinguer des autres groupes phytoplanctoniques. Enfin, les Cyanophycées planctoniques se distinguent des Cryptophycées par leur taille plus petite (à l'exception des Cyanophycées filamenteuses).

## RESULTATS

### Observations en microscopie

La plupart des familles algales peuvent être observées dans les milieux lagunaires côtiers, et montrent une diversité spécifique non négligeable, mais les microalgues les plus fréquemment et abondamment représentées sont :

- les Diatomées, avec comme genres communément observés : *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Thalassionema*, *Nitzschia*,
- les Dinophycées (Péridiniens) à thèques (dont notamment *Prorocentrum*, *Protoperidinium*) et nus (*Gyrodinium*, *Gymnodinium*),
- les Cryptophycées, Chrysophycées, Prasinophycées, Prymnésiophycées (constituant le groupe des phytoflagellés),
- les Euglenophycées (*Eutreptiella*),
- les Chlorophycées (le plus souvent des formes coccoïdes).

Lors des observations et dénombrements, il existe une grande incertitude pour les cellules les plus petites (< 5-6  $\mu\text{m}$ ), quant aux familles auxquelles elles appartiennent, s'agissant en particulier des plus petites cellules flagellées souvent abondantes et des formes coccoïdes ou fusiformes peu reconnaissables (parmi lesquelles figurent en particulier les flagellés ayant perdu leurs flagelles).

Les Cyanophycées sont apparemment très peu abondantes dans les lagunes du jeu de référence, y compris dans les formes les plus petites généralement représentées par des algues coccoïdes du genre *Synechococcus*. Cependant quelques espèces plus grosses peuvent se développer de façon relativement abondante comme des *Spirulina* dans l'étang de Campagnol en septembre 1998.

S'il est assez aisé de dénombrer les espèces de grandes tailles facilement observables (> 5  $\mu\text{m}$ ), la prise en compte de toutes les formes plus petites est beaucoup moins sûre. De ce fait les dénombrements de la fraction observable n'offrent pas la fiabilité souhaitée. Ils sont relativement tributaires de l'observateur.

Les résultats de dénombrements effectués suivant quelques groupes d'organismes sur les prélèvements de juillet 1999 montrent la prédominance des Diatomées et des phytoflagellés (tableau III.1).

**Tableau III.1 :** Résultats de comptages effectués en microscopie sur les eaux estivales des lagunes de références,  $\times 10^3$  cellules l<sup>-1</sup>. (**PHYTOFLAG** : phytoflagellés, **IND** : indéterminé, **CHAE** : *Chaetoceros* sp, **SKEL** : *Skeletonema* sp, **DIAT** : autres diatomées, **PER** : péridiniens, **TOT** : comptage total, **CYTO** : comptage par CMF). Les croix indiquent que les espèces ont été observées mais en quantités très faibles. Pour **BGN**, le comptage par CMF est décomposé en pico + nanophytoplancton. Pour les autres échantillons, le résultats donne la somme calculée.

	DATE	PHYFLAG	IND	CHAE	SKEL	DIAT	PER	TOT	CYTO
LEN	19/07/99	179	308			30	35	552	1694
ORW	22/07/99	2924				1118		4042	2699
BGN	20/07/99		181910	768	2478			185155	(225863+14855)
BGM	20/07/99			822	822	4,8	3,4	1652	2320
BGS	20/07/99	566	397	+		70	26	1058	1297
AYR	21/07/99	12	21	+		25	+	57	785
GRU	21/07/99	1377				1547		2924	1987
TES	21/07/99	25	53	330	+	136	5,6	551	916

Parmi les Diatomées *Chaetoceros* et *Skeletonema* sont présentes et dominantes dans quelques stations seulement. Dans les autres sites elles sont représentées presque exclusivement par des diatomées pennées. Les phytoflagellés regroupent un ensemble d'organismes appartenant à plusieurs familles. Leur abondance est du même ordre de grandeur que celui des diatomées. Les péridiniens sont présents partout mais toujours à des niveaux assez faibles. La proportion de cellules indéterminées peut être importante. C'est le cas dans la partie nord de Bages (BGN) où elles représentent la dominante : en fait les conditions d'observation de cet échantillon ont permis de visualiser sans ambiguïté des cellules situées à la limite des 2  $\mu$ m. Cette indétermination relativement importante dans la plupart des échantillons montre la difficulté des numérations par microscopie notamment dans les petites tailles.

Il serait donc souhaitable de ne prendre en compte que la fraction facilement identifiable. Mais dans l'état actuel de la connaissance de ces algues planctoniques et au regard des résultats, il n'apparaît pas de façon évidente d'espèces ou de familles de phytoplancton pouvant représenter les états de l'eutrophisation. Cependant dès que la base d'observations sera suffisamment étoffée, il n'est pas exclu qu'une analyse globale des données (analyse plurifactorielle) puisse permettre d'identifier des unités taxonomiques (espèces, genres, familles, ou autres) facilement reconnaissables associées à des états d'eutrophisation identifiés par ailleurs.

La comparaison des numérations par cytométrie et microscopie sur quelques échantillons montre qu'il existe une bonne correspondance entre les deux approches (tableau III.1). Les abondances mesurées sont du même ordre de grandeur. Dans le cas particulier de l'échantillon

de BGN, l'abondance mesurée par microscopie se rapproche significativement de celle obtenue par cytométrie en flux intégrant notamment le picophytoplancton.

### Cytométrie en flux

Les dénombrements totaux sur le phytoplancton mettent en évidence de très fortes proliférations dans les étangs de l'Or et du Grec (figure III.1). En excluant ces deux dernières lagunes, il est possible de dilater l'échelle et de mettre en évidence d'autres distinctions entre les lagunes (figure III.2). Les assemblages phytoplanctoniques sont très largement dominés par le picophytoplancton. Les dénombrements ont en effet permis de mettre en évidence la présence de picophytoplancton dans toutes les lagunes échantillonnées avec des abondances variant entre  $0,51 \cdot 10^6$  cellules  $l^{-1}$  à  $7,1 \cdot 10^9$  cellules  $l^{-1}$  ce qui représente en moyenne 85 % de l'abondance totale. En conséquence, la distribution des numérations de cellules phytoplanctoniques totales est très largement influencée par celle des cellules picophytoplanctoniques (figures III.3 et III.4). Les étangs de l'Or et du Grec ont des valeurs record alors que les autres lagunes présentent des valeurs pouvant se distinguer globalement en trois groupes. L'étang de Campagnol se distingue par les plus fortes densités des étangs du Narbonnais. Les étangs de Thau, Ingril ainsi que les secteurs nord et médian de Bages forment un deuxième groupe où les numérations sont dans la gamme de  $10^8$  cellules  $l^{-1}$ . Enfin, le secteur sud de Bages et les étangs de l'Ayrolle, de Gruissan et de Leucate présentent des densités plus faibles dans la gamme de  $10^7$  cellules  $l^{-1}$ .

En ce qui concerne les cellules de taille relative supérieure à  $2 \mu m$ , les abondances varient de  $0,1 \cdot 10^6$  cellules  $l^{-1}$  à  $3,1 \cdot 10^8$  cellules  $l^{-1}$  (figure III.5). Comme pour les cellules picophytoplanctoniques, les résultats des étangs de l'Or et du Grec ont tendance à écraser ceux des autres lagunes. En retirant les deux premières lagunes, il est possible de dilater l'échelle. Mais la plus grande dispersion des valeurs ne permet pas de distinction très nette entre les lagunes (figure III.6). Cette plus faible discrimination pour les cellules de taille supérieures à  $2 \mu m$  est en grande partie due à des problèmes méthodologiques.

Si le dénombrement du picoplancton ne pose pas de problème particulier, celui des cellules supérieures à  $2 \mu m$  doit être tempéré en raison des espèces formant des chaînes cellulaires comme les chaînes de *Chaetoceros*, de *Skeletonema* dont on ne sait pas encore avec certitude comment elles sont prises en compte : cellule par cellule, fraction de chaîne ou chaîne entière.