



ANALYSE QUANTITATIVE DU MOUVEMENT DE LA POLLUTION DANS LE SYSTÈME LAGUNAIRE PALAVASIEN

Guy CHEVEREAU et Henri DUMAY

BCEOM, Service EAU et ENVIRONNEMENT, La Grande Motte

1. OBJECTIFS

Le complexe lagunaire palavasien représente un milieu naturel de grande valeur (notamment par les activités socio-économiques traditionnelles qu'il supporte). Sa fragilité le rend très sensible aux sollicitations dont il est désormais l'objet.

La croissance des populations permanente et saisonnière de la région se traduit en particulier par des sources potentielles de pollution susceptibles d'affecter l'ensemble du système des étangs, des cours d'eau, et de la frange littorale, hydrauliquement liés.

Le travail qui est présenté ici a été réalisé pour le compte du Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple du Méjean, réunissant les communes de Lattes et Palavas. L'objectif de l'étude est l'analyse du mouvement d'une éventuelle pollution supposée émaner de quatre sources possibles dans le périmètre du SIVOM, à savoir : la station d'épuration de la Céreirède à Montpellier sur le Lez (cas A), celle de Palavas dans l'étang du Grec (cas B), de Lattes dans l'étang de Méjean-Pérois (cas C) et la décharge du Thot (cas D) ; (fig. 1).

Ces quatre sources potentielles sont analysées en régime établi (hydrodynamique, météorologie et pollution), séparément, et à charge de polluant égale, afin de fournir des indicateurs de tendance sur la répartition d'un traceur dans le système, sur une période de 24 heures. Ces indicateurs sont en fait des pourcentages de la charge de traceur injectée sur cette même période dans le système.

L'importance du champ des vitesses dans le transport de la pollution et la complexité du fonctionnement hydraulique d'un tel système rend nécessaire sa représentation par un modèle mathématique qui reproduise finement le comportement du système soumis aux variations des niveaux marins.

C'est ainsi que le modèle mathématique doit permettre en définitive de représenter l'hydrodynamique du système pour différentes conditions météorologiques, et d'intégrer les phénomènes de diffusion et de dispersion de traceurs émanant des quatre sources potentielles citées plus haut.

Les situations intéressées par la présente étude sont celles correspondant à des régimes de temps calme ou de vent établi, en période estivale, pour lesquelles les conditions de renouvellement des eaux sont les plus critiques.

2. MÉTHODOLOGIE

Le système hydraulique à prendre en compte doit décrire les conditions d'échanges :

- entre le système et la mer, via le grau du Prévost, le Lez et le grau de Carnon,

- entre le Canal du Rhône à Sète et les étangs de l'Arnel, du Prévost, du Grec et de Méjean-Pérois,

- entre le Lez et les étangs de Méjean-Pérois et du Prévost,

- entre l'étang de Méjean-Pérois et l'étang de Mauguio,

- enfin, entre l'étang de l'Arnel et l'étang de Vic.

L'outil à mettre en oeuvre doit permettre de représenter l'ensemble des caractéristiques du système, à savoir :

- des canaux dans lesquels s'instaure un régime d'écoulement filaire, perpétuellement variable en vitesse et en direction,

- des plans d'eau en fluctuation quasi permanente de par leur superficie, et dans lesquels la répartition des concentrations de polluants est intimement liée à l'évolution des vitesses, elles-mêmes intimement liées aux fluctuations marines, aux conditions météorologiques, et à la bathymétrie,

- des ouvrages sur les canaux et plans d'eau contrôlant les débits d'échange.

La figure 2 donne la représentation synthétique de la zone d'étude.

L'objectif qui vise à déterminer les flux de polluants qui se répartissent dans les différentes zones du système nous amène donc à construire le modèle sur la base du logiciel RMA, qui permet une représentation des échanges hydrodynamiques et des flux de masse en bi-dimensionnel en plan et en régime non-stationnaire.

Comme pour toute modélisation mathématique, le problème essentiel est basé sur la définition de conditions aux limites, pour lesquelles, dans notre cas, deux approches étaient possibles :

- Extension de la zone modélisée sur une région suffisamment vaste, pour laquelle nous pouvons cerner les conditions aux limites de manière fiable. Cette approche n'a pas été retenue du fait des contraintes qu'elle implique (taille mémoire importante, temps de calculs multipliés) ;

- Technique des modèles gigognes par application du modèle CARMEN (CALcul en Réseaux Maillés des Ecoulements Non stationnaires), mis au point par le BCEOM.

Mis en oeuvre sur l'ensemble du système lagunaire entre l'étang de Thau et La Grande Motte, dans les mêmes conditions des fluctuations marines, d'apports terrigènes (Lez et Mosson) et météorologiques, il permet d'extraire les conditions d'échanges aux limites est et ouest du modèle bi-dimensionnel (Canal du Rhône à Sète à l'est et à l'ouest, communication étang de l'Arnel-

Fig. 1 : Plan de situation

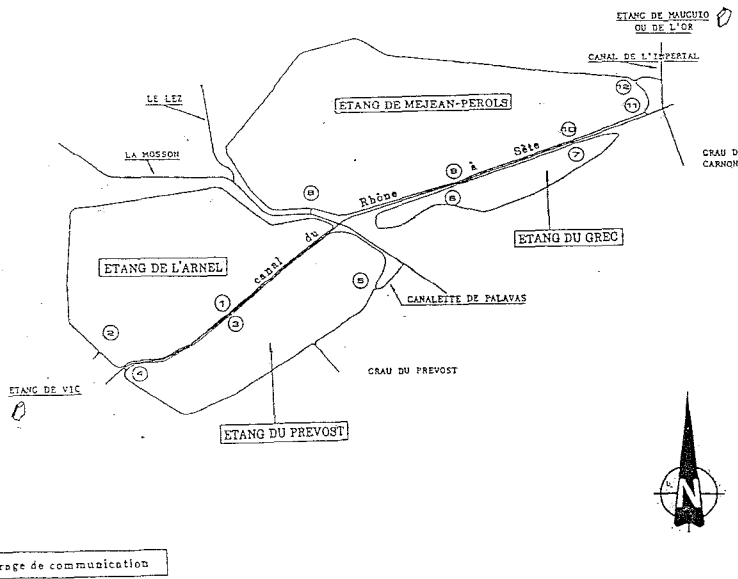
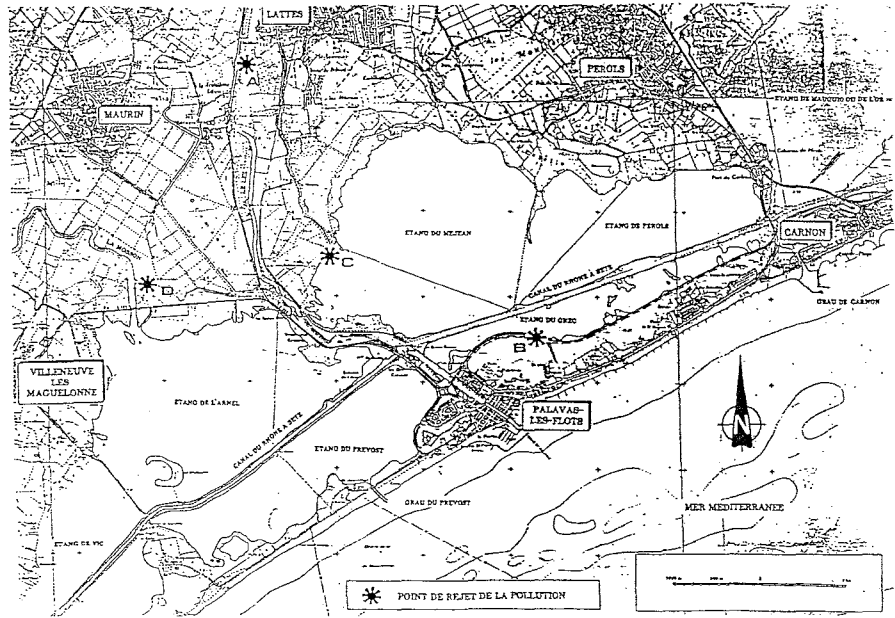
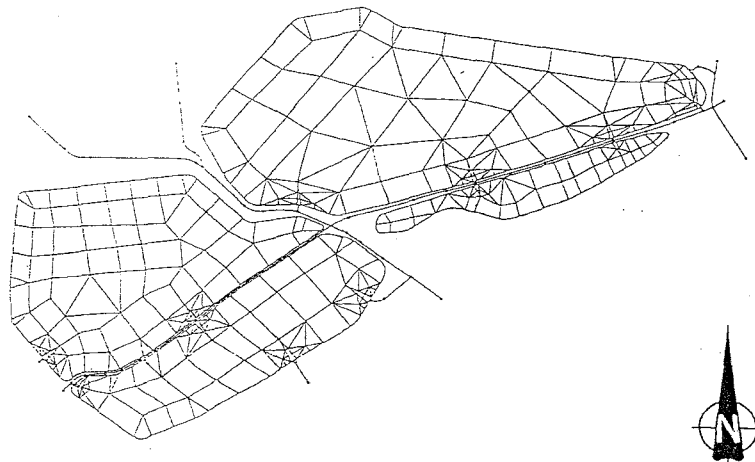


Fig. 2 : Schéma synthétique

de la zone d'étude

Fig. 3 : Découpage en éléments finis de la zone modélisée



étang de Vic, communication étang du Méjean-étang de l'Or).

Cette deuxième approche nous a permis d'appliquer au système des conditions aux limites rigoureuses et fiables, qui sont la clef d'une représentation fine des phénomènes.

3. CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODÈLE

3.1. Construction du maillage

Le découpage en éléments finis est présenté sur la figure 3 : la souplesse du modèle mis en oeuvre permet de donner une représentation mixte (tronçons élémentaires pour les canaux et cours d'eau, casiers élémentaires pour les plans d'eau).

Le pré-processeur du modèle RMA qui permet de générer le maillage enregistre d'ores et déjà toutes les données topographiques et bathymétriques nécessaires au calcul des écoulements.

3.2. Conditions aux limites

Au total, le modèle comporte neuf points d'échange avec l'extérieur pour lesquels il est nécessaire de décrire les conditions d'écoulement d'une part, et les conditions relatives à la qualité de l'eau d'autre part.

3.2.1. Hydrodynamique

Les conditions hydrodynamiques appliquées au système sont :

- les fluctuations au niveau marin fournies par le marégraphe de Sète, appliquées :
 - au grau du Prévost
 - au débouché en mer du Lez
 - au grau de Camon
- le débit d'étiage introduit à l'amont :
 - du Lez : $1 \text{ m}^3/\text{s}$
 - de la Mosson : $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- pour les quatre autres points d'échange, à savoir la communication entre les étangs de l'Arnel et de Vic, le Canal du Rhône à Sète à l'ouest et à l'est de la zone, le canal de l'Impérial au niveau de l'étang de Mauguio, il a été mis en place le modèle CARMEN sur la zone lagunaire entre Sète et La Grande Motte, dont nous avons extrait les hydrogrammes calculés.

Notons que les périodes qui intéressent les simulations correspondent à la période d'étiage, nous ne tenons donc pas compte des apports terrigènes en dehors du Lez et de la Mosson.

Par ailleurs, les cycles de marée simulés présentent une période d'environ 24 heures (marée semi-diurne à inégalité diurne d'amplitude inférieure à 0,5 m).

Les différentes conditions de fluctuations marines envisagées ont été tirées des données du marégraphe de Sète pour l'été 1987, et correspondent, suivant les cas, à des marées de mortes et vives eaux et à des situations de temps calmes, de tramontane moyenne ou de vent marin, en régime établi.

Dans ces différentes situations, le comportement général du système demeure, pour l'essentiel, toujours le même, et ne varie véritablement que dans l'amplitude des

phénomènes (nous ne parlons pas ici, bien sûr, des phases transitoires de changement de régime de vent, non prises en compte dans cette étude, car elles ne présentent pas une base de comparaison, étant favorables à un renouvellement des eaux).

En définitive, les conditions de simulations réalisées correspondent à des fluctuations marines estivales représentatives d'environ 20 % de la durée de l'été associées à trois situations météorologiques, à savoir un temps calme, une tramontane moyenne établie à 6 m/s, un vent marin établi à 6 m/s.

Pour chacune des situations météorologiques simulées, le modèle CARMEN a calculé les conditions aux limites est et ouest du système.

3.2.2. Qualité

Les conditions aux limites qui ont été prises en compte ici ont été redéfinies pour chaque source de traceur considérée.

Dans tous les cas (A à D), il a été supposé que les apports de traceur du système à la mer sont complètement dispersés, et par conséquent que la marée entrante apporte une eau dont la qualité est notre référence en terme d'eau propre.

A marée descendante, une condition de gradient de concentration nul est prise aux débouchés en mer.

Pour les limites est et ouest, les conditions s'écrivent de la même manière pour chaque source de traceur, en considérant que toute la quantité de traceur sortant par ces extrémités de zone ne sont pas complètement dispersées, et qu'ainsi une partie revient dans le système lorsque le débit rentre de nouveau.

Nous avons pu constater la faible sensibilité des résultats à ces conditions aux limites.

Pour ce qui concerne le Lez et la Mosson à leur amont, dans l'étude des cas A et D, il a été appliqué respectivement une concentration à l'amont dans le Lez de 100 mg/l (charge de 100 g/s , débit de $1 \text{ m}^3/\text{s}$), alors que l'étude d'un traceur dans la Mosson (cas D) a pris en compte une concentration correspondant à une charge de référence injectée à chaque source étudiée, à savoir 100 g/s .

Ainsi, l'étude d'un traceur dans le Lez (cas A) a pris en compte une concentration à l'amont dans le Lez de 100 mg/l (charge de 100 g/s , débit de $1 \text{ m}^3/\text{s}$), alors que l'étude d'un traceur dans la Mosson (cas D) a pris en compte une concentration à l'amont dans la Mosson de 250 mg/l (charge de 100 g/s , débit de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$).

3.3. Calage du modèle

L'ajustement des paramètres physiques du calcul (coefficient de rugosité, lois de pertes de charge singulière), permet de faire coïncider les observations avec les résultats de simulation.

L'intervention d'une équipe pour la réalisation de jaugeages a permis de réunir les informations nécessaires au calage de chacun des ouvrages de communication qui constituent les clefs de répartition des échanges dans le système.

Ces ouvrages concernent :

Fig. 4a : Champ de vitesses dans le système.
Marée sans vent

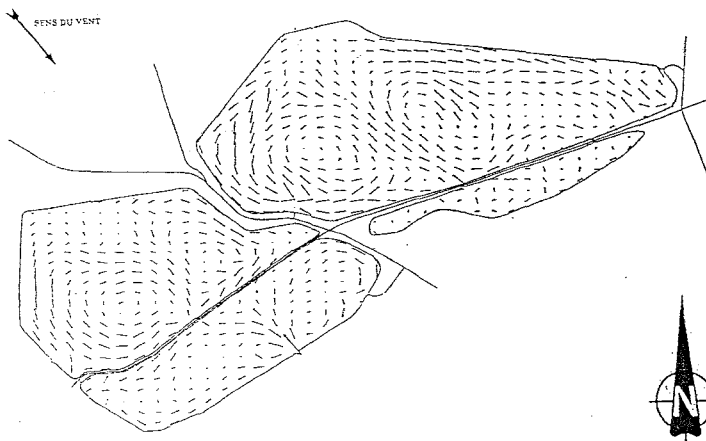
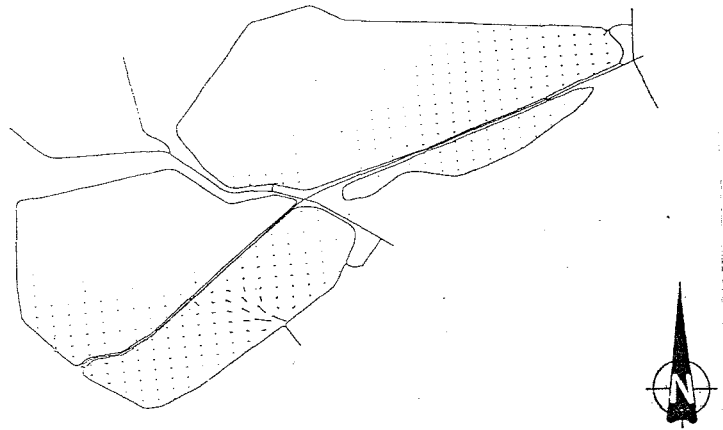


Fig. 4b : Champ de vitesses dans le système.
Marée avec tramontane (6 m/s)

Fig. 4c : Champ de vitesses dans le système.
Marée avec vent marin (6 m/s)

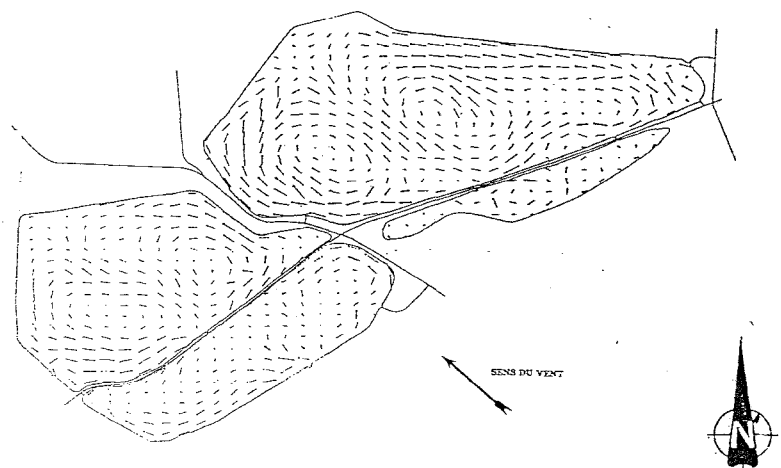


Fig. 5a : Cartographie des concentrations maximales (en mg/l) calculées sur 24 heures de simulation pour une injection dans le Lez (cas A).
Marée sans vent

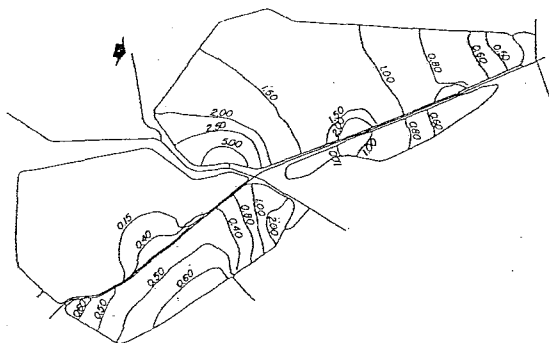
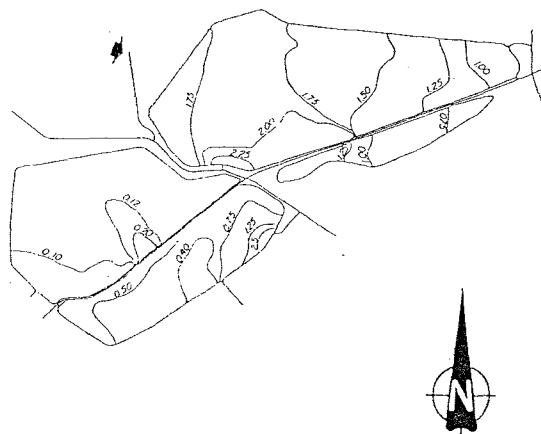
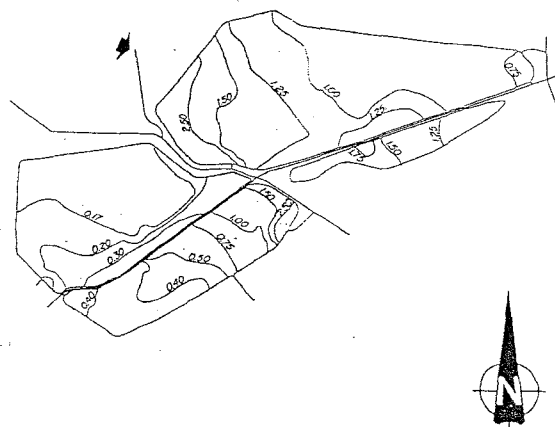


Fig. 5b : Cartographie des concentrations maximales (en mg/l) calculées sur 24 heures de simulation pour une injection dans le Lez (cas A).
Marée avec tramontane (6 m/s)

Fig. 5c : Cartographie des concentrations maximales (en mg/l) calculées sur 24 heures de simulation pour une injection dans le Lez (cas A).
Marée avec vent marin (6 m/s)



- le canal du Rhône à Sète et ses communications avec les étangs étudiés,
- les graus du Prévost et de Carnon,
- les canalettes de Palavas et de Thiers,
- la communication étang de l'Arnel-étang de Vic
- le canal de l'Impérial (étang de Mauguio).

Compte tenu de la difficulté (voire l'impossibilité) d'obtenir des données de terrain concernant la rugosité, la diffusion et le frottement surfacique dans les plans d'eau, nous avons pris en compte les valeurs communément admises dans la littérature, corrélées aux données de profondeur et vitesse dans les étangs palavasiens.

4. EXPLOITATION - RÉSULTATS

Le modèle mis en place permet de décrire la complexité des échanges au sein du système étudié, tant du point de vue hydrodynamique que du point de vue de la qualité de l'eau, et ce, aussi bien pour des situations météorologiques diverses que pour des conditions d'apports de pollution différentes.

4.1. Comportement hydrodynamique du système

Le comportement hydrodynamique du système est intimement dépendant de la situation météorologique qui s'établit. Les mécanismes d'écoulement liés aux variations du niveau marin subsistent néanmoins.

Les figures 4a, 4b et 4c donnent, à un instant donné, la répartition du champ des vitesses dans le système lagunaire, respectivement pour un temps calme, une tramontane (6 m/s), et un vent marin (6 m/s).

Par temps calme, il est mis en évidence des zones de stagnation à l'intérieur des étangs, alors qu'un vent établi induit des rouleaux de convection plus ou moins structurés dépendant de la taille et de la bathymétrie de l'étang.

4.2. Transport d'un traceur dans le système

L'analyse du transport d'un traceur dans le système est menée sur quatre sources potentielles, et en injection continue. Les observations sont faites, après sept jours d'injection, sur 24 heures correspondant aux fluctuations de niveau marin présentées plus haut, et sous les trois situations météorologiques représentatives d'une période estivale, induisant le comportement hydrodynamique du système décrit ci-dessus.

La figure 1 présente les points de rejets des sources étudiées dans la zone modélisée :

- (A) Station d'épuration de la Céceirède
- (B) Décharge du Thot
- (C) Station d'épuration de Palavas
- (D) Station d'épuration de Lattes.

Ces quatre sources sont analysées séparément de façon à déterminer les indicateurs donnant les tendances à chacune d'elles à générer des concentrations de traceur dans telle ou telle partie du système. Les situations

représentées restent des situations purement théoriques. Nous ne chiffrerons pas la participation effective de chaque source au transport de la pollution. Ces situations doivent permettre de comprendre le comportement du système et la tendance qu'impose chacune des sources de traceur.

En définitive, dans chaque cas nous avons pu cartographier les valeurs des concentrations calculées sur une période de 24 heures.

A titre d'exemple, nous présentons sur les figures 5a, 5b et 5c les cartographies des valeurs maximales des concentrations (en mg/l) sur une période de 24 heures correspondant au huitième jour d'injection.

Les diagrammes de concentrations et de flux de masses calculées aux points-clés du système permettent d'appréhender l'évolution des mécanismes de transport de traceur au cours du temps.

Enfin, les bilans massiques calculés sur les 24 heures simulées ont permis d'établir les indicateurs de tendances répertoriés dans le tableau 1 ci-après, pour chaque source étudiée et chaque situation météorologique représentée. Ces indicateurs donnent les répartitions en pourcentages des masses de traceur cumulées entrantes et sortantes dans les différentes parties du système : étangs de l'Arnel du Prévost, du Grec, de Méjean-Pérois, la mer (évacuation globale cumulée sur le grau du Prévost, le Lez, et le grau de Carnon), le canal du Rhône à Sète à l'ouest et à l'est, les étangs de Vic et de Mauguio.

Ces diagrammes peuvent être directement utilisés pour connaître la tendance de l'impact relatif de telle ou telle source, à partir de données concrètes de débits de masse injectés.

5. CONCLUSIONS

La modélisation mathématique mise en oeuvre a permis de bien appréhender l'hydrodynamique du système lagunaire palavasien entre Maguelonne et Carnon et de relativiser l'évolution d'un traceur à partir de quatre points de rejet correspondant à quatre sources de pollution existantes distinctes.

La modélisation a mis en évidence la grande sensibilité du fonctionnement hydraulique du système lié aux conditions aux limites ou à tout aménagement susceptible de se réaliser.

Par ailleurs, les investigations réalisées permettent d'ores et déjà de déceler différentes opportunités d'aménagement ou de gestion susceptibles de modifier de façon importante l'hydrodynamique du système.

A l'heure actuelle, ce milieu qui représente un fort potentiel socio-économique est l'objet de projets d'aménagement importants dont il conviendrait de tester globalement l'opportunité et la cohérence.

Le modèle mis au point dans le cadre de la présente étude constitue en fait un outil précieux d'aide à la gestion qui pourrait être étendu à la totalité du complexe lagunaire pour optimiser la conception des aménagements dans le cadre de la protection de ce milieu.

			A (%) Céceirède	B (%) Palavas	C (%) Lattes	D (%) Thot
Etang de l'Arnel	Temps calme	Entrante	0,40	0,40	0,10	0,40
		Sortante	0,40	0,50	0,10	0,50
	Tramontane (6 m/s)	Entrante	0,20	0,30	0,08	0,20
		Sortante	0,40	0,20	0,10	0,30
	Vent marin (6 m/s)	Entrante	0,45	0,40	0,10	0,40
		Sortante	0,45	0,40	0,10	0,40
Etang du Prévoist	Temps calme	Entrante	5,10	5,20	1,00	5,00
		Sortante	4,50	4,00	0,60	4,00
	Tramontane (6 m/s)	Entrante	4,30	5,30	1,80	4,50
		Sortante	4,70	4,20	1,20	3,80
	Vent marin (6 m/s)	Entrante	4,80	5,00	1,00	4,60
		Sortante	5,40	4,50	1,00	4,60
Etang du Grec	Temps calme	Entrante	1,20	100,00	1,90	1,00
		Sortante	1,10	38,20	1,20	1,00
	Tramontane (6 m/s)	Entrante	1,00	100,00	3,80	0,80
		Sortante	0,80	40,50	2,10	0,70
	Vent marin (6 m/s)	Entrante	1,20	100,00	2,70	1,10
		Sortante	1,10	42,00	2,00	0,90
Etang de Méjean- Pérois	Temps calme	Entrante	11,20	16,90	100,00	10,90
		Sortante	4,80	11,60	12,40	3,70
	Tramontane (6 m/s)	Entrante	11,60	18,50	100,00	11,00
		Sortante	4,60	9,50	35,80	4,00
	Vent marin (6 m/s)	Entrante	10,20	14,10	100,00	9,60
		Sortante	4,20	9,60	16,90	3,40
Mer	Temps calme		54,6	30	5,5	52,4
	Tramontane établie (6 m/s)		53,0	33,3	12,5	51,0
	Vent marin établi (6 m/s)		55,6	30,5	7,4	53,2

Tabl. 1 : Tableau des indicateurs de tendance