

Perspectives offertes par la communication entre un modèle hydrodynamique et un SIG pour l'aide au diagnostic environnemental. Caractérisation de la dynamique et de la qualité des masses d'eaux côtières

Lionel Loubersac⁽¹⁾, Jean-Claude Salomon⁽¹⁾, Marguerite Breton⁽¹⁾,
Christophe Durand⁽²⁾, Caroline Gaudineau⁽³⁾

(1) Ifremer Brest, Del/ao, BP 70, 29280 Plouzané, France - lloubers@ifremer.fr

(2) Ifremer Brest, Dnis/esi, BP 70, 29280 Plouzané, France

(3) Institut national agronomique Paris-Grignon, 16 rue Claude Bernard,
75231 Paris Cedex 05, France

Résumé

On présente un ensemble de solutions utilisables pour l'aide au diagnostic en matière d'aménagement et gestion intégrée de la qualité des eaux côtières basées sur la communication entre un modèle hydrodynamique et un SIG. On décrit les fonctionnalités de l'interface informatique développée sous ArcView (ESRI) qui permet d'assurer la communication opérationnelle des données issues du modèle vers le SIG, sous forme vecteur ou raster. Les applications choisies traitent de la simulation de la dynamique spatio-temporelle de masses d'eaux et de l'identification de zones fragiles qu'elles peuvent atteindre. Les exemples considèrent un site du littoral français soumis à de fortes pressions d'exploitation humaine qui sont directement dépendantes de la qualité des eaux. En conclusion, on discute des atouts et des limites de la mise en synergie des deux outils. On aborde également les perspectives d'élaboration de bases de données géographiques, utilisables dans une optique d'aide à la décision à partir de synthèses représentatives de l'hydrodynamisme d'un espace côtier.

Abstract

This paper presents a set of solutions based on the synergy between GIS and a numerical model to help in diagnosis and decision making for water quality related matters. After an overview of the model features, it describes the computer interface (ModelView) implemented as an extension of the Arc View (ESRI) GIS System to provide operational data communication between the model and the GIS in vector or raster form. The paper particularly focuses on changes in the quality of coastal waters from river discharges. It looks at the spatio-temporal representation of this behaviour and the spatial analysis of sensitive areas

that can be impacted. Examples are given of a French coastal area subject to strong human pressure, *i.e.* marine cultures and recreational activities that are directly dependent on coastal water quality. The interest in establishing synergy between numerical models and GIS is discussed in the conclusion, based on the specific situations given as examples. Prospective development of general geographic databases providing representative coastal area hydrodynamics synthesis for decision making support is also examined.

Introduction

La compréhension et la représentation de la dynamique et du devenir en mer des masses d'eaux d'origine continentale sont fondamentales pour toute approche intégrée d'aménagement des zones côtières. Cette problématique intéresse directement l'étude des impacts et risques engendrés par la dégradation de la qualité des eaux sur les ressources et activités.

Les outils de modélisation mathématique de l'hydrodynamique côtière sont particulièrement adaptés à la fourniture théorique (simulations) de connaissances des grandeurs physiques : hauteurs d'eau, courants, dispersion, houles..., dans les quatre dimensions (x , y , z et t). Un SIG est pour sa part, et par construction, apte à décrire et à manipuler des données réelles, géoréférencées dans les trois dimensions (x , y , z). La mise en communication de ces outils apparaît particulièrement utile compte tenu de leur complémentarité. Le modèle permet de décrire et de prédire le comportement, en théorie pour tout pas de temps, d'un système dynamique, caractéristique de l'environnement littoral. Le SIG est apte à gérer des données géocodées, la bathymétrie par exemple, en entrée du modèle, ou bien en sortie pour la présentation de ses résultats. Il offre en outre des possibilités d'analyse spatiale par la mise en conformité géographique des « couches » d'information issues d'un modèle avec celles provenant de base de données géographiques conventionnelles.

Plusieurs travaux, en Europe notamment, ont été menés sur le sujet. Les premiers exemples en Allemagne pour la mer de Wadden ont montré les complémentarités entre le SIG Arc/Info et deux modèles mathématiques : Hiswa pour la houle et les vagues et Trisula pour les hauteurs d'eaux et les courants de marée. Au Danemark, le Danish Hydraulic Institute (Andersen, 1996 et 1997) a développé un outil d'aide à l'aménagement du littoral basé sur la connexion entre deux modèles mathématiques : Litpack (Foster & Skou, 1992) et Mike 21 (Warren & Bach, 1992) avec le SIG ArcView. En France, l'Ifremer développe un programme qui vise à doter ses laboratoires côtiers d'outils d'aide au diagnostic.

Ceux-ci s'articulent autour de la mise en communication de modèles hydrodynamiques et de SIG tels que décrits ci-après. Ce programme résulte, d'une part, d'un travail conceptuel puis de mise en œuvre de modélisation de l'hydrodynamique côtière (Salomon 1994; Salomon *et al.*, 1995; Garreau & Bailly Du Bois, 1996; Lazure & Jegou, 1998),

d'autre part, de travaux méthodologiques qui font appel à l'information géographique et aux SIG comme outils d'aide à l'aménagement et à la gestion du littoral (Loubersac *et al.*, 1997 ; Populus *et al.*, 1997). On trouvera, dans les paragraphes qui suivent, une discussion et des exemples d'application de la mise en synergie de ces outils sur la zone géographique « La Rochelle-La Tremblade » du Centre-Ouest atlantique français.

Matériel et méthodes

Le système d'information et d'aide au diagnostic est composé de trois éléments fondamentaux :

- un modèle numérique hydrodynamique : Mars ;
- un logiciel de SIG : ArcView d'ESRI et ses extensions ;
- une base de données géoréférencées.

Le modèle hydrodynamique Mars

Il s'agit d'un algorithme de calcul des courants marins, des hauteurs d'eau, et des concentrations en éléments solubles (ou en suspension temporaire) transportés par les courants. Mars est composé de :

- un noyau de calcul opérationnel en version 2D et 3D ;
- un pré-processeur nommé IMars dont les fonctions essentielles sont la gestion et l'intégration aisées des paramètres et données d'entrée qui servent à l'activation du code de calcul ;
- un programme d'exploitation graphique des résultats nommé Visu-Mars qui permet, pour les utilisateurs de Mars qui ne possèdent pas d'interface avec le SIG ArcView de présenter les résultats de calculs sous forme de courbes et de cartes.

Caractéristiques du programme Mars

Mars effectue les calculs hydrodynamiques dans un écoulement liquide plan, quasi horizontal. La forme des fonds peut être absolument quelconque et comporter un nombre quelconque de chenaux, îles, hauts-fonds, bancs découvrants et estrans. Il permet de modéliser sous forme de calculs instantanés ou de synthèses (valeurs moyennes, maxima, minima...) les grandeurs suivantes :

- le courant (composantes U et V) et les résiduelles eulériennes ;
- la hauteur du plan d'eau, les niveaux moyens et les composantes harmoniques de marée ;
- la salinité ;
- des constituants provenant de rejets (dans les exemples qui suivent, les coliformes fécaux) ;
- le transport sédimentaire et les dépôts.

Il produit, pour chaque zone étudiée, une base de données dont les résultats sont stockés sous forme d'une série temporelle de vecteurs et de scalaires en coordonnées géographiques. On se limitera dans ce qui suit à la description puis aux applications de la version 2D du modèle.

On démontre que les calculs réalisés par le modèle nécessitent l'utilisation de trois types d'information :

- La topographie du domaine (fournie ici par une matrice des profondeurs);
- Les conditions aux limites sur les frontières ouvertes du domaine;
- Les flux d'eau et de matière dissoute (ou en suspension) à l'intérieur du domaine (rivières, émissaires...).

Les hypothèses du calcul valables en 2D sont les suivantes :

- la composante horizontale du courant ne varie pas beaucoup depuis la surface jusqu'à proximité du fond (courant de masse). Le modèle dans sa version 2D calcule la moyenne des courants sur la verticale et cette valeur moyenne a une forte signification physique;
- les vitesses verticales sont faibles.

Sous ces hypothèses, les lois qui décrivent le comportement physique du système, à savoir le second principe de Newton et la loi de conservation de la masse, se traduisent par le système d'équations dit de Saint-Venant. Ce système est complété par l'équation de transport-diffusion-décroissance d'un élément chimique (ou assimilé) transporté en suspension. Mars intègre ces équations différentielles de manière totalement automatique, quelle que soit la forme du domaine, qui peut d'ailleurs évoluer dans le temps (zones découvrantes, murs immergés, etc.).

Intégration numérique, conditions aux limites et emboîtement des modèles

Dans un souci de meilleure précision, de minimisation des temps de calcul et de facilité d'emploi, on adopte une méthode en différences finies sur un maillage régulier. Pour offrir une représentation de la réalité d'autant plus fine et précise que l'on se situe sur la zone d'intérêt, le modèle Mars utilise une technique d'emboîtement de modèles sous forme gigogne. Par cette technique, un modèle de grande emprise et de grande maille contient lui-même un ou plusieurs sous-modèles (loupes). Ces derniers reçoivent, des modèles qui les précèdent, les conditions aux limites sur leur périmètre. Dans le cas des exemples présentés, le modèle de grande emprise s'étend jusqu'au plateau continental et trouve ses conditions aux limites dans la valeur des ondes générant la marée au large. Un forcing météorologique peut être pris en compte sur toute la surface du modèle et ses éventuelles loupes successives. On se reportera à Salomon & Breton (1998) pour l'explicitation de la méthode d'intégration et de définition des maillages de calcul.

L'interface de communication entre Mars et ArcView : ModelView

Objectif de ModelView

L'objectif principal de ModelView est de faciliter l'import par le Système d'information géographique (SIG) ArcView des données générées par le modèle hydrodynamique Mars afin de les intégrer directement en conformité géographique dans une base de données géoréférencées, (Durand *et al.*, 1998).

Principales fonctionnalités

ModelView permet :

- d'ouvrir une base de résultats de Mars et de lister les objets issus de simulations ;
- de sélectionner la projection et le format géodésiques souhaités pour les données importées ;
- de sélectionner le constituant modélisé, l'heure du résultat, la résolution spatiale ;
- d'importer les résultats produits par le modèle sous la forme d'une image au format Grid (concentration en éléments dissous par exemple) ou sous la forme d'une couverture de points au format Shape d'ArcView (vitesse et direction des courants par exemple) ;
- de limiter l'import à une zone d'intérêt définie à l'écran ;
- d'exporter automatiquement des séries de vues ou de mises en pages cartographiques pour permettre la réalisation de séquences animées.

Base de données géoréférencées intégrées au système

Spécifications des données de base

Le système est conçu pour intégrer les données issues du modèle au sein d'une base d'information géographique permettant : a) les habillages des résultats du modèle, b) des analyses spatiales entre ces résultats et des informations extérieures. L'objectif du projet étant de caractériser les espaces côtiers soumis à des dégradations potentielles de la qualité des eaux dont l'origine provient généralement de sources continentales, c'est un référentiel cartographique terrestre plutôt que maritime qui a été adopté (système Lambert II étendu), en cohérence avec les choix des services techniques de l'État qui travaillent avec l'Ifremer (Affaires maritimes, Équipement, Environnement, Santé...).

Données géoréférencées intégrées dans le système

Elles comprennent des données dites de référence de niveau 1 ou 2 (Allain *et al.*, 1999). On trouve ainsi :

- les fonds cartographiques IGN Scan25 et 100, ainsi que Shom 1/150 000 qui résultent de la scannérisation des feuilles topographiques IGN ou hydrographiques du Shom ;
- le fond topographique BD Carthage des agences de l'Eau et du ministère de l'Environnement, dérivé des fonds IGN BD Carto, utilisable à des échelles inférieures ou égales au 1/100 000 qui comprend les limites administratives, les réseaux, l'hydrographie zonale...
- le fond hydrographique BD Sigma du Shom utilisable à des échelles inférieures ou égales au 1/50 000 et résultat de la numérisation des objets géographiques des cartes marines. Il contient les objets : sondes, isobathes, balisage, épaves...
- des orthophotographies aériennes qui proviennent de missions effectuées à marée basse au 1/10 000 en noir et blanc par l'Ifremer pour les opérations d'évaluation des stocks et par le Shom au 1/20 000 en couleur, pour l'élaboration de la BD PS ;

- des images de la télédétection aérospatiale telles que des données Spot acquises en mode P et/ou XS à plusieurs dates ;
- des données d'occupation du sol : Corine Land Cover et données de l'Ipli ;
- les levés de bathymétrie fine et de balisage ostréicole réalisés par l'Équipement (service maritime) limités à l'altitude approximative de 4 m au-dessus du zéro hydrographique ;
- le cadastre ostréicole numérisé issu de feuilles gérées par les quartiers des Affaires maritimes ;
- les points de rejets : émissaires principaux ou secondaires caractérisés par l'information disponible sur leurs débits et flux de matière polluante ;
- des données relatives à la qualité du milieu issues des réseaux de suivi de la qualité du milieu marin (RNO, Rémi et Réphy) gérés dans la base de données Quadrigé de l'Ifremer ou de réseaux DDE/Cqel ou Ddass (qualité des eaux de baignade) ;
- l'emprise des usages sensibles aux modifications de qualité des eaux côtières, en particulier les cultures marines ;
- les réglementations (Guillaumont *et al.*, 1999), notamment celles relatives au classement en zones de salubrité, d'autorisation de rejets, de régulation des usages sensibles évoqués plus haut ou de protection d'habitats naturels ;
- les productions conchylicoles originaires des stations côtières de l'Ifremer ;
- les milieux naturels sensibles : habitats critiques, nourriceries, frayères, gisements naturels.

On se reportera à Loubersac *et al.* (1997) et Populus *et al.* (1997) pour ce qui concerne les outils et méthodes mis en œuvre pour le géoréférencement et la mise en conformité de données géocodées listées ci-dessus.

Résultats et applications

Habillage des résultats du modèle

La première fonctionnalité de la mise en communication entre modèle et SIG concerne la présentation des résultats de la modélisation. L'objectif est :

- d'aider à mieux faire comprendre les phénomènes et leur dynamique spatiale et temporelle (fig. 1) ;
- d'élaborer un outil d'aide à l'interprétation scientifique des situations en mettant en relation les résultats simulés et ceux d'observations réelles (télédétection) dans des conditions équivalentes (fig. 2).

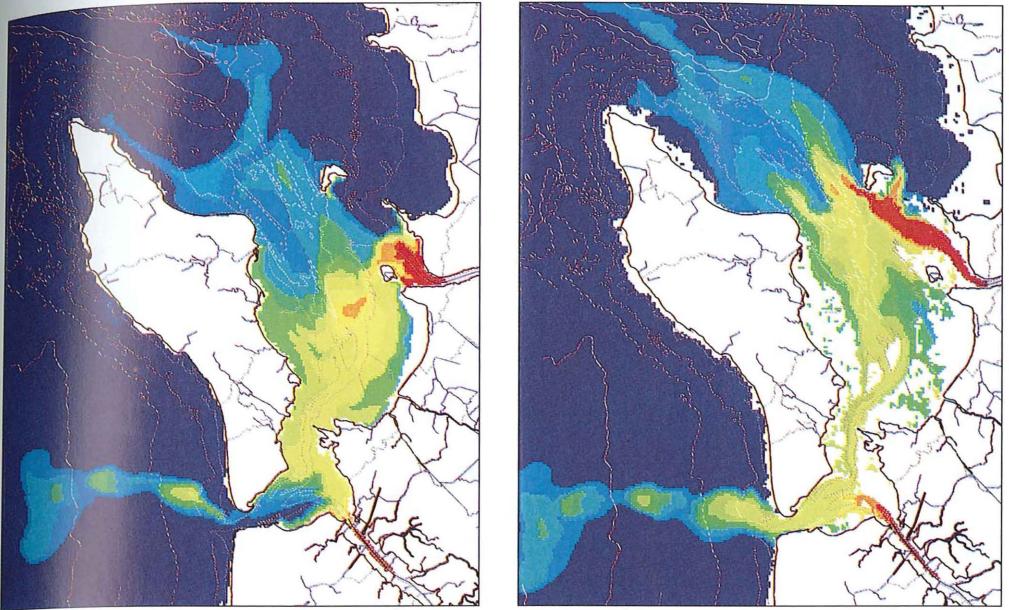


Figure 1
Région sud de La Rochelle :
extension instantanée
en mer des rejets
de la Charente ($100 \text{ m}^3/\text{s}$),
de la Sèvre ($10 \text{ m}^3/\text{s}$)
et du chenal de Brouage
($1 \text{ m}^3/\text{s}$). Coefficient
de marée 110, 600 heures
de simulation. À gauche,
situation de haute mer,
à droite, situation de basse
mer. Le paramètre modélisé
est ici la salinité qui est
croissante du rouge au bleu.
Le fond cartographique
de référence est issu
de données de la BD
Carthage (AE/MATE)
et de la BD Sigma (Shom).

Surveillance de la qualité du milieu et caractérisation de zones sensibles

On développe dans ce paragraphe deux applications.

La première (fig. 3 et 4) est théorique et fait référence à l'étude d'une situation de risque de contamination microbiologique majeure des eaux aux environs des fêtes de fin d'année, en période de commercialisation massive de produits de la mer (huîtres). Elle prend le cas d'une crue hivernale du fleuve Charente ($400 \text{ m}^3/\text{s}$) d'une durée de 15 jours simultanée à la présence de concentrations de bactéries dans l'effluent cohérentes avec des mesures en coliformes fécaux effectuées à l'émissaire par les services de la Santé. Le T90 (temps au bout duquel 90 % des bactéries ont disparu en mer) est déduit des conditions d'éclairement solaire et de turbidité des eaux pour la période (Guillaud *et al.*, 1997). Le modèle exprime les concentrations en bactéries sur une échelle logarithmique sous une forme synthétique qui correspond à la moyenne de l'ensemble des situations instantanées calculées sur la période. On convertit alors ce champ moyen de concentration en coliformes dans l'eau en équivalent de concentration dans la matière vivante (bivalves filtreurs) par application d'un facteur de concentration issu d'expérimentations (Deslou Paoli *et al.*, 1987). Le résultat obtenu est ensuite hiérarchisé conformément aux normes de classement de salubrité actuellement adoptées en France (fig. 3).

Figure 2
 Région de l'île d'Aix, au sud
 de La Rochelle : champs
 de courants de marée
 instantanés modélisés
 et reportés sur des images
 géoréférencées SPOT XS
 (CNES 93-96) acquises
 dans des situations
 équivalentes aux simulations.
 En haut, situation de basse
 mer + 1h (coefficient 79),
 en bas, situation de basse
 mer - 1h (coefficient 90).

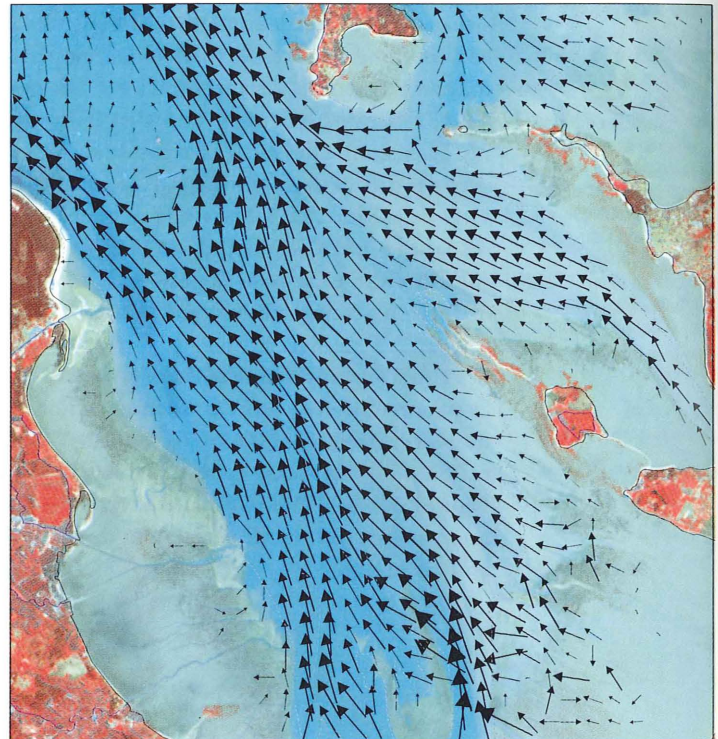
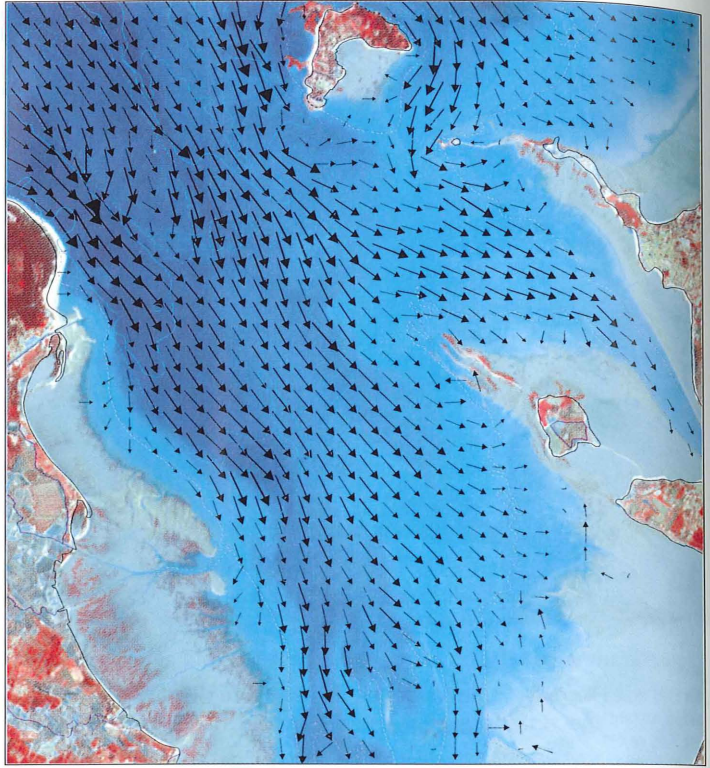
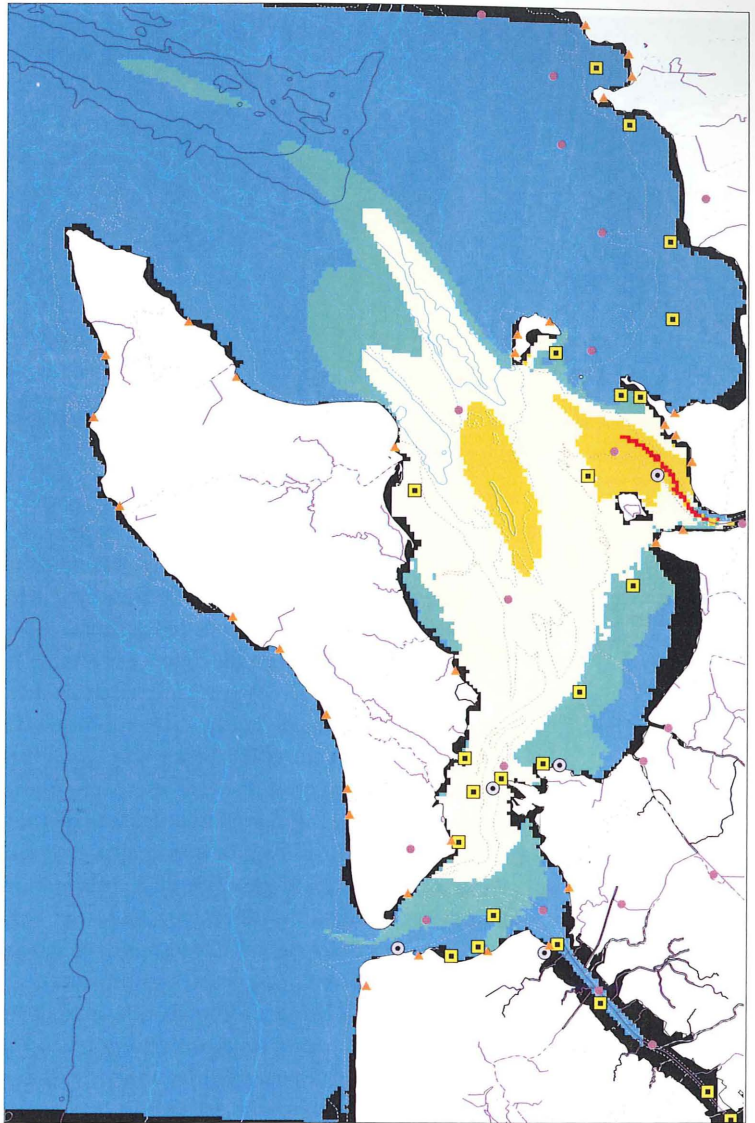


Figure 3
 Concentration en coliformes fécaux convertie et normalisée en équivalent de concentration dans la matière vivante. Les couleurs correspondent aux classes de concentration en nombre de coliformes pour 100 ml de chair et liquide intervalvaire (ChLI) : en bleu absence, en vert moins de 300, en bistre de 300 à 1 000, en orange de 1 000 à 6 000, en rouge de 6 000 à 60 000, en noir pas de données. On a reporté sur cette figure la position des différents points de mesure des réseaux de surveillance microbiologique de l'Ifremer, de la DDE/Cqel et de la Ddass, le réseau hydrographique et les limites administratives.

- ⊙ Réseau RNO hydro (Ifremer)
- ▣ Réseau Rémi (Ifremer)
- Réseau DDE/Cqel
- ▲ Réseau Ddass



Enfin, sur la figure 4, on présente un zoom de la partie médiane de la figure précédente sur lequel on situe l'emprise des zones de cultures marines et des parcelles ostréicoles en relation avec les classes de contamination. Sur cette figure, on identifie les zones salubres, de couleurs bleue et verte, de celles (bistre, orange ou rouge) susceptibles d'être contaminées par les bactéries qui présentent donc un risque potentiel au plan de la commercialisation des produits de la mer.

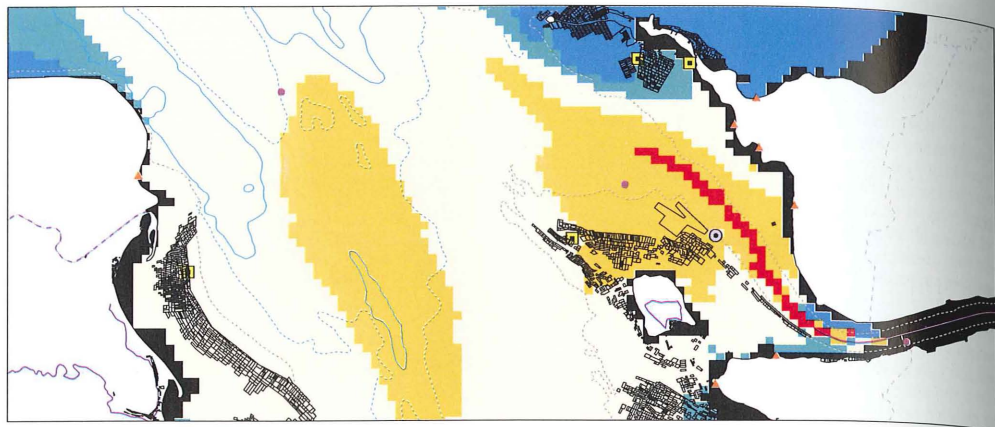


Figure 4
Partie centrale du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Mise en relation de l'emprise des concessions ostréicoles (limites du parcellaire en noir) avec les classes de contamination correspondant à la figure 3. La partie terrestre est en blanc.

La seconde application fait référence à l'analyse de l'impact potentiel des modifications quantitatives des flux d'eau douce dans le bassin ostréicole de Marennes-Oléron en période d'étiage du fleuve Charente. Dans cette région, compte tenu d'un développement très important de l'agriculture irriguée sur le bassin versant depuis une dizaine d'années, le débit d'étiage du fleuve est tombé d'une douzaine de mètres cubes par seconde à environ cinq mètres cubes par seconde. Il en résulte des perturbations de la capacité trophique du bassin ainsi que la mise en évidence d'anomalies dans le captage du naissain d'huîtres lors des périodes d'étiage où le débit est particulièrement faible. Une partie importante du captage s'effectue dans des zones où les chocs de salinité en été sont atténués et où un apport d'eau douce reste significatif, par exemple celles proches de l'embouchure du fleuve. Dans cette application, on a simulé par modélisation l'extension du panache d'eau douce dans deux cas qui correspondent à la période d'étiage entre mi-juin et mi-juillet pour des débits moyens de 5 m³/s et 12 mètres cubes par seconde. Afin de s'affranchir des variabilités spatio-temporelles de l'extension des eaux douces en mer on a, à l'instar de ce qui a été présenté précédemment, produit une synthèse sur la période d'étiage qui correspond à la moyenne des salinités instantanées obtenues dans chaque maille du modèle. Par la suite, on a intégré la localisation des aires de captage de naissain d'huîtres avec les résultats simulés (fig. 5).

La comparaison des deux situations présentées en figure 5 permet de constater les différences d'extension du panache en mer, notamment vers le sud, mais aussi en proche sortie d'estuaire. L'utilisation de fonctions d'analyse spatiale sous SIG (extension Spatial Analyst d'ArcView) permet d'établir que, dans la situation d'un débit d'étiage de 12 m³/s, 507 h de zones de captage se situent dans la zone de salinité moyenne comprise entre 33,5 et 34,5 pour mille. Dans la situation d'un débit de 5 m³/s, cette surface se réduit à 232 hectares.

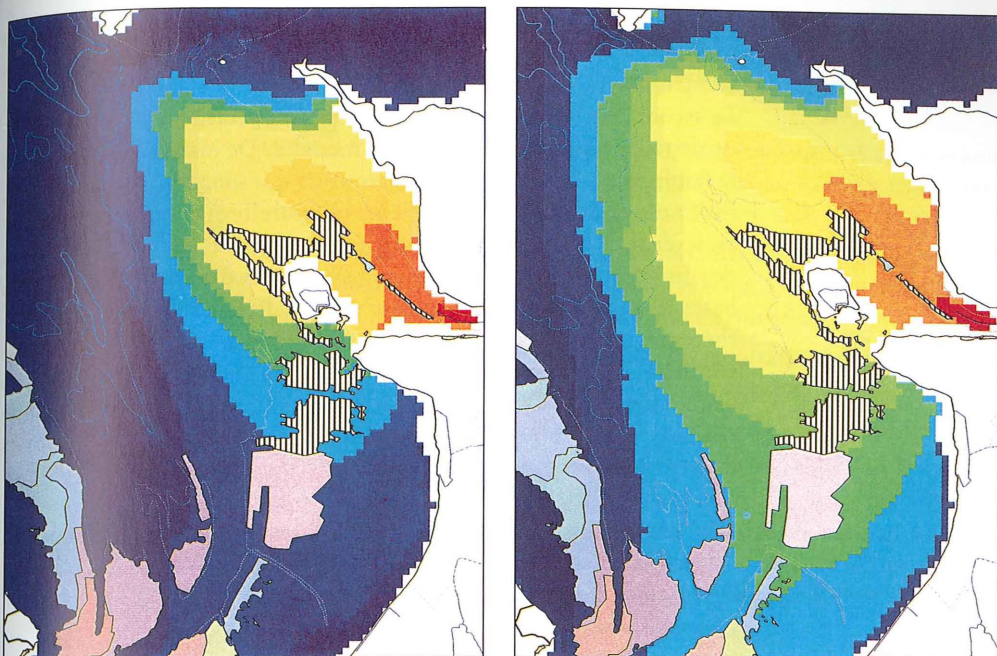


Figure 5
 Comparaison de l'extension du panache de dessalure à l'embouchure du fleuve côtier Charente, à gauche, débit de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, à droite, de 12 mètres cubes seconde. Les zones de captage sont représentées par des hachures foncées verticales, la salinité va croissant du rouge vers le bleu. La partie terrestre est en blanc.

Conclusions et perspectives

Ce papier a succinctement présenté les méthodes et outils en cours de développement à l'Ifremer qui assurent la communication entre les données produites par la modélisation et celles gérées par un SIG. Les applications intéressent directement plusieurs problématiques d'aménagement du littoral posées dans le cadre de la surveillance de la qualité du milieu et l'étude des impacts sur les ressources et les usages, ainsi :

- l'analyse du positionnement adéquat des points de surveillance et de la fréquence d'observation, sujet qui touche aussi bien l'optimisation des protocoles de mesures que la représentativité de ces dernières ;
- l'aide à l'identification et à la caractérisation de zones soumises à risque de contamination ou à dysfonctionnement en conditions particulières.

Les bénéfices issus de la mise en synergie des modèles et des SIG sont donc importants en matière de représentation, communication et explicitation de l'information. Cependant, parmi les difficultés qui restent posées, on peut dégager deux axes qui se basent sur le fait qu'intrinsèquement les SIG ne possèdent encore que des pseudo-fonctions d'analyse 3D et maîtrisent mal l'information dynamique.

Le premier axe concerne les développements de la modélisation 3D. Celle-ci est désormais suffisamment mûre au plan méthodologique pour passer dans le domaine des applications opérationnelles. Par contre, la mise en communication des données de ce type de modélisation et des SIG se heurte aux capacités réduites des principaux produits SIG du

marché qui proposent généralement des fonctions pour manipuler des vecteurs 3D, mais pas des mailles 3D composées de voxels (volumes éléments).

Le second axe concerne la communication opérationnelle vers les SIG de données synthétiques issues des modèles. De manière à contourner la faiblesse des SIG à traiter des grandeurs qui sont fonction du temps, l'idée est de générer des synthèses temporelles (et non une série de caractéristiques instantanées) qui peuvent, grâce aux fonctionnalités de communication entre modèles et SIG, entrer dans la constitution de bases d'information géographique côtière. Parmi les paramètres synthétiques utilisables comme indicateurs représentatifs de l'hydrodynamisme d'une région d'étude, on identifie, outre la représentation « statistique » de l'extension en mer d'un effluent et des fonctions de transfert entre un point de rejet et un point quelconque au large, les facteurs suivants :

- les champs de courants maximaux de marée ;
- un indice représentatif de la capacité dispersive liée aux courants ;
- un indice de stratification ;
- les résiduelles lagrangiennes ;
- les trajectoires ;
- les temps de résidence des masses d'eau...

Pour l'un ou l'autre des axes prospectifs considérés plus haut, l'évolution des traitements 3D sous SIG et l'élaboration de synthèses issues de la modélisation, la nature des outils devient de plus en plus complexe. Elle oblige l'utilisateur des SIG à développer des connaissances toujours plus fines pour mieux traiter les données et communiquer des résultats pertinents.

Une partie des développements méthodologiques et des travaux de structuration de l'information géographique sur la zone atelier de Marennes-Oléron-Brouage a bénéficié du support financier du Programme national de recherches sur les zones humides (PNRZH) du ministère de l'Environnement, des agences de l'Eau et du GIP Hydro-systèmes dans le cadre du projet Aramis.

Références bibliographiques

- Allain S., Guillaumont B., Le Visage C., Loubersac L., Populus J., 1999. Données géographiques de référence en domaine littoral. *In: CoastGIS'99*, Brest, sept. 1999, Éd. Ifremer, Actes Colloq., 25, 67-79.
- Andersen R., 1996. Eagle, a GIS for environmental impact assessment. *In: Geographical information, from research to application through cooperation*. I, 310-317. IOS Press, Amsterdam.
- Andersen R., 1997. Mike Info/coast, a GIS based tool for coastal zone management. *In: CoastGIS'97, Proc. 2nd Intern. Symp. on GIS and computer mapping for coastal zone management*. University of Aberdeen, Scotland, August 1997.

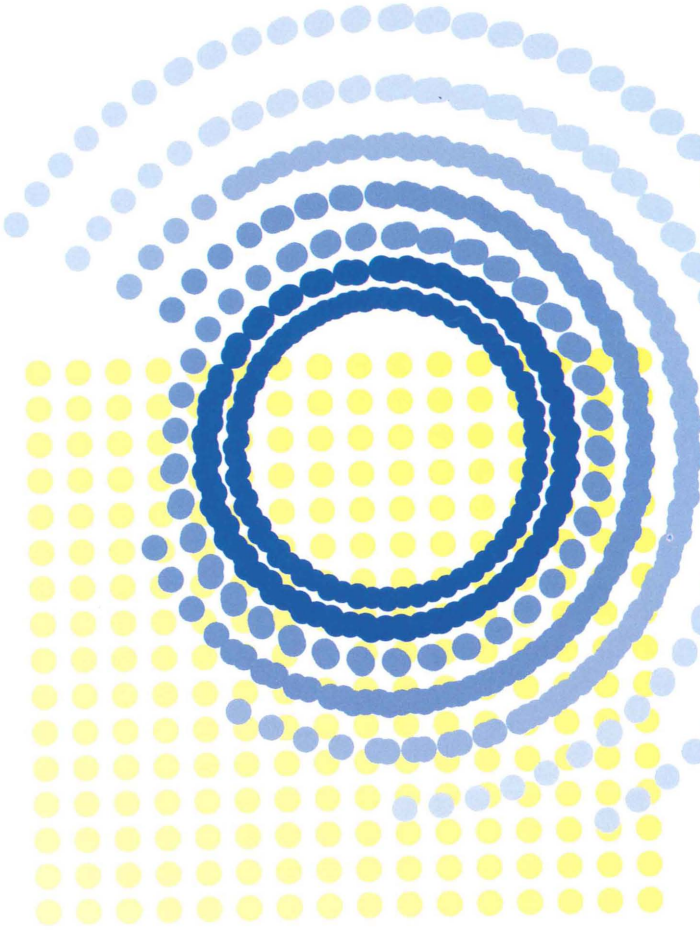
- Deslou Paoli M., Héral M., Gouletquer P., Boromathanarat W., Razet D., Garnier J., Prou J., Barillet L., 1987. Évolution saisonnière de la filtration des bivalves intertidaux dans des conditions naturelles. *Océanis*, 13(4-5), 575-579.
- Durand C., Loubersac L., Massé J., 1998. Operational GIS applications at the French oceanographic research institute Ifremer. ESRI International Users Conference, July, San Diego, USA.
- Foster T.M., Skou A.J., 1992. Litpack, an integrated modelling system for littoral processes and coastline kinetics. 3rd International exhibition for environmental science and engineering. Como, Italy.
- Garreau P., Bailly Du Bois P., 1996. Transportation of radionuclides in Celtic Sea. A possible mechanism. *Radioprot.*, 32(C2), 381-385.
- Guillaud J.-F., Derrien A., Gourmelon M., Pommepuy M., 1997. T90 as a tool for engineers : interest and limits. *Wat. Sci. Tech.*, 35(1112), 277-281.
- Guillaumont B., Durand C., 1999. The integration and management of regulatory data in a GIS: an applied analysis of the French coasts. *In: CoastGIS'99*, Brest, sept. 1999, Éd. Ifremer, Actes Colloq., 25, 269-283.
- Lazure P., Jegou A.-M., 1998. 3D modelling of seasonal evolution of Loire and Gironde plumes on Biscay Bay Continental Shelf. *In: 5^e Colloque international d'océanographie du golfe de Gascogne*, La Rochelle, avril 1996. *Oceanol. Acta*, 21(2).
- Loubersac L., Populus J., Durand C., Prou J., Kerdreux M., Le Moine O., 1997. Système d'information à référence spatiale et gestion d'un espace de production ostréicole : le cas du bassin de Marennes Oléron. *Intern. Symp. Bordomer 97*, Coastal environment management and protection. October 1997, 2, 186-197.
- Populus J., Loubersac L., Prou J., Kerdreux M., Le Moine O., 1997. Geomatics for the management of oyster culture leases and production. *In: CoastGIS'97*, Proc. 2nd Intern. Symp. on GIS and computer mapping for coastal zone management. University of Aberdeen, Scotland, August 1997.
- Salomon J.C., 1994. Do not use a simple model when a complex one will do. Comments on a paper by J.C.J. Nihoul. *J. Mar. Systems*, 5, 401-410.
- Salomon J.-C., Breton M., Guegueniat P., 1995. A 2D long-term advection-dispersion model for the Channel and Southern North Sea. Special issue Mast 52, Part a and b. *J. Mar. Systems*, 6(5-6), 495-528.
- Salomon J.-C., Breton M., 1998. Manuel d'utilisation de Mars 2D. Rapp. Techn. Ifremer, 10 p. + annexes.
- Warren I.R., Bach H.K., 1992. Mike 21: a modelling System for estuaries, coastal waters and seas. *Environmental software 7*. Elsevier Sci. (ed.).

Brest
9-11 septembre 1999



actes de colloques 25

Coordinateurs
Jacques Populus
Lionel Loubersac



CoastGIS'99: Geomatics and coastal environment

25

Ifremer

