



**GESTION INTEGREE D'UNE ZONE HUMIDE LITTORALE
MEDITERRANEENNE AMENAGEE : CONTRAINTES,
LIMITES ET PERSPECTIVES POUR L'ILE DE
CAMARGUE (GIZCAM)**

**CONSTRAINTS, LIMITS AND PERSPECTIVES FOR
INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT IN THE
RHONE RIVER DELTA**

Programme LITEAU 2
Rapport intermédiaire

Tour du Valat
Centre de Recherche pour la
conservation des zones
humides méditerranéennes
Philippe Chauvelon Chargé
de Recherche en Hydrologie

Date : 17/08/2007

N° de contrat : CV 05000164
Date du contrat : **03/01/2006**

RESUME LONG

(destiné aux utilisateurs et gestionnaires publics)

CONTEXTE GENERAL

Durant les 15 dernières années, plusieurs projets de recherche se sont succédé sur le delta du Rhône, visant à mieux comprendre les processus physiques, biologiques, sociaux et leurs interactions. En prolongement et en complément, le projet GIZCAM propose la coordination de plusieurs axes de recherche ayant pour objectif de tendre vers une gestion intégrée de cette zone côtière en essayant de mieux formaliser, quantifier, modéliser, les processus physiques et sociaux concernés par la gestion de l'eau et du littoral, en vue d'améliorer le transfert de ces connaissances vers les gestionnaires.

OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

- Le développement d'un modèle de simulation du fonctionnement hydrologique de l'Ile de Camargue, que ce soit en fonctionnement normal ou critique.
- un Système d'Information Géographique (SIG), pour la partie occupation du sol agricole et le secteur endigué de transition (vers le milieu marin) des lagunes et sansouïres, permettant une analyse de son évolution morphologique récente.
- Les flux de pesticides, depuis l'entrée sur le bassin versant ; et de sels à l'interface marine (de surface et souterraine) sont étudiés pour établir des fonctions de transfert globales dans l'hydrosystème.
- L'étude de l'évolution, dans des secteurs sensibles, du trait de côte et des profils bathymétriques, en relation avec les aménagements et le forçage par la houle.
- Une analyse sociale de la gestion de l'eau, au travers du fonctionnement de la commission exécutive de l'eau de l'Ile de Camargue.
- L'utilisation de la simulation par modélisation Multi Agent orientée jeu de rôle, pour animer la réflexion sur la gestion durable des zones humides littorales.

ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX ET PERSPECTIVES

Modélisation de l'hydrosystème Vaccarès

L'essentiel du travail réalisé sur la partie hydrologie à mi parcours de GIZCAM, correspond à la contribution du projet IMPLIT (programme Gestion et Impact du Changement Climatique GICC2) et s'intéresse à la gestion hydraulique en conditions de crue et surcotes marines. Une analyse des données hydro-climatiques existantes a été réalisée afin de construire les scénarios de crise utilisés dans les simulations. Une analyse de fréquence des valeurs extrêmes de débit du Rhône a été effectuée, conduisant à réviser les périodes de retour (PDR) des crues, ainsi, le débit maximal horaire de décembre 2003 aurait une PDR de 50 ans (2% de risque de se produire chaque année).

Après calage et validation du modèle simplifié à réservoir de l'hydro-système Vaccarès sur des périodes des automne-hiver (septembre à mars) 2003-2004 et 2005 ; des simulations ont été réalisées en combinant séries réelles observées (vent, pluie, évaporation, niveau marin) et forçage par des hydrogrammes de drainage de la zone inondée du Nord de l'Ile de Camargue (du type de 1993 ou 1994). Les impacts d'aménagements complémentaires : stations de drainage vers le Rhône sur le bassin versant ; augmentation des capacités d'écoulement gravitaire vers la mer, avec augmentation du niveau marin, ont également été simulés, en

utilisant des scénarii basés sur les séries de données des périodes 1996-97, 2002 et 2003 correspondant aux dernières crues importantes du Rhône.

Les simulations réalisées, correspondant à des situations de crises combinant crues du Rhône (et brèches supposées dans les digues sur le Petit Rhône), surcotes marines et fortes précipitations montrent qu'il est possible d'atteindre dans tous les cas simulés un niveau des étangs « acceptable » à la fin du mois de mars (inférieur à 0,2 voire 0,1 m NGF).

En revanche, le maintien du niveau de l'étang à une cote ne dépassant pas 0,5 m NGF sauf de manière transitoire, suite à des apports massifs, ne peut être obtenu sans modification des règles et capacités de gestion hydraulique actuelles du système. Le développement de l'outil de simulation continue, avec la prise en compte du bilan salin et du fonctionnement hydrodynamique.

Analyse spatiale

Le parcellaire cultural de la Camargue du Système d'Information Géographique de la TDV a été corrigé géométriquement à partir de la BD Ortho de l'IGN 2003. En termes d'occupation du sol rizicole, la base est renseignée à partir d'imagerie satellitale (années 2000, 2006 et 2007 sont à compléter). En utilisant les données topo-bathymétriques acquises par la RNC, et des images satellitales, un MNA (Modèle Numérique d'Altitude) est en cours de finalisation jusqu'à la cote 0,8 m NGF (une version provisoire a été utilisée pour la modélisation hydro dans IMPLIT) pour le secteur des étangs et leur zone de débordement. L'analyse du croisement des données topographiques, de végétation, et de durée de submersion a été engagée pour le secteur de la RNC situé au sud du Vaccarès.

Transfert de pesticides

La modélisation des transferts des pesticides des rizières vers les canaux depuis une exploitation rizicole a été réalisée et une publication a été acceptée. Un suivi des pesticides dans 4 canaux et 5 points dans les étangs (2004-2006) a été réalisé (données compilées et validées). Un prototype de modèle intégré de transfert des pesticides dans l'hydro-système est en cours de développement. Les points à préciser dans la modélisation concerne les temps de séjour, la dégradation photo-chimique et la sorption sur la végétation et les matières organiques, dans les canaux et étangs.

Apports souterrains au système d'étangs

Lorsque des eaux souterraines riches en radon alimentent des eaux de surface telles qu'une lagune, les activités de ^{222}Rn mesurées dans cette dernière sont donc supérieures à celles qui peuvent être produites par la seule désintégration du ^{226}Ra dans l'eau. Cet excès de radon traduit donc un apport souterrain qui peut être quantifié en volume d'eau si l'activité du radon est connue dans l'aquifère alimentant la zone. Une première campagne de prélèvement s'est déroulée en Juin 2006 dans l'étang de Vaccarès, suivi de plusieurs journées de terrain pour la mesure du radon dans les aquifères. Cette campagne a permis d'établir pour le Vaccarès une première estimation de tous les termes. L'apport en sel équivalent est encore très difficile à quantifier car les eaux de cet aquifère profond montrent une large gamme de variation en sels, de 4 à 54 mg/l. Une deuxième mission de mesures est prévue à l'automne 2007 afin de valider cette estimation dans le temps, d'avoir une meilleure idée des eaux souterraines susceptibles d'alimenter l'étang ainsi que de pallier à certains problèmes qui sont apparus. Une plus grande précision sera apportée à l'estimation de deux des termes du bilan : les apports par les canaux et les apports par diffusion du sédiment.

Erosion sous marine devant les Saintes Maries de la Mer

Le littoral des Saintes Maries de la Mer est soumis à une érosion pluriséculaire naturelle. Les ouvrages en enrochement ont bloqué très tôt le recul du rivage (dès 1940 au droit des Arènes) et des interrogations subsistent sur l'évolution des fonds au droit de la ville dont nous avons analysé le comportement à partir d'une comparaison de relevés bathymétriques à partir de relevés anciens (1872, 1895, 1974, 1980) ainsi que d'une campagne réalisée en 2005.

L'ensemble des résultats décrit non seulement une érosion importante au droit de la ville des Saintes Maries, mais également une modification des fonds avec un raidissement des pentes, conduisant très probablement à une augmentation de la force de la houle au droit de la ville des Saintes Maries de la Mer.

Sur le site des Stes-Maries-de-la-Mer le traitement des données bathymétriques est aujourd'hui achevé. Nous avons cependant pris récemment connaissance d'une campagne bathymétrique réalisée en 2006 par la DIREN PACA que nous intégrerons au rapport final afin de proposer une analyse mise à jour. Sur ce site, la modélisation de la propagation de la houle sur les différentes bathymétries sera réalisée en 2008. Sur le site de Giraud, où la méthodologie développée est relativement similaire, les campagnes bathymétriques ont été réalisées, compilées et analysées.

La commission exécutive de l'eau et la gestion des ouvrages hydrauliques

La première partie du travail d'analyse de la Commission Exécutive de l'Eau (CEDE) a démarré dès le lancement du programme par une série d'entretiens semi directifs qui ont pour objet d'analyser la perception du fonctionnement de la commission et de sa gestion opérationnelle par des membres participants. Les enquêtes participantes avec observations directes se sont poursuivies dans les réunions sur la gestion de l'eau à l'échelle du territoire, soit une douzaine de réunions depuis le début de 2006.

Dans le premier travail fait sur le contrat de Delta, les inondations apparaissent clairement comme le déclencheur social local de la prise de conscience de la nécessité d'une gestion de l'eau à l'échelle du territoire.

Le travail portant sur l'évolution de la CEDE est en cours d'achèvement. Il se prolongera par une publication, dans un premier temps à diffusion locale et en interne au Parc (le Conseil Scientifique sera destinataire), un forum de présentation se tiendra à la fin septembre 2007.

Gestion concertée en zone humide littorale: approche par le jeu de rôle.

Une séance de jeu a été organisée avec le PNR de Camargue et les membres de la CEDE. Il s'agissait d'amener les joueurs à considérer la perspective des autres joueurs, de les mettre en situation afin qu'ils se rendent compte des enjeux techniques, sociaux, économiques et environnementaux de chaque usage. Il s'agissait de favoriser la discussion sur une gestion globale et l'intérêt de la concertation. Dans cette perspective, cette séance avait également comme objectif de tester ce que peut apporter l'outil et la démarche, d'évaluer avec des acteurs de terrain, ce que peut apporter le jeu et ce qu'il peut engendrer comme réactions. UN prototype de simulateur (CEDESIM) a été développé. Il a été décidé de réaliser une campagne d'entretiens individuels au second semestre 2007 afin d'établir des modèles individuels. Il s'agira d'amener chaque membre de la CEDE à développer son propre modèle conceptuel du fonctionnement écologique et social des étangs centraux. Dans un second temps, une réunion collective permettra de confronter les différents modèles et de co-construire un modèle général. A l'évidence les acquis du premier prototype seront valorisés dans cette seconde étape.

LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES, THESES, ACTIONS DE VALORISATION, PARTICIPATION A DES FORMATIONS, ACTIONS MEDIATIQUES

Publications

Comoretto, L., B. Arfib et S. Chiron, 2007. Pesticides in the Rhône river delta (France): Basic data for a field-based exposure assessment. *Sci Total Environ* doi:10.1016/j.scitotenv.2006.11.046.,

Comoretto, L., B. Arfib, R. Talva, P. Chauvelon, M. Pichaud, S. Chiron et P. Höhener, 2007. Runoff of pesticides from rice fields in the Ile de Camargue (Rhône river delta, France): Field study and modeling. *Environ Pollut.*, in press doi:10.1016/j.envpol.2007.04.021,

Dervieux, A., 2005. La difficile gestion globale de l'eau en Camargue (France) : le Contrat de delta. *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement. Vol 6, n°3. www.vertigo.uqam.ca/vol6no3/art13vol6no3/alain_dervieux.html [mis en ligne en juillet 2006]

Dervieux, A., Jolly, G., Allouche, A. (en révision). Gestion de l'eau et projet de territoire : vers une gestion intégrée du delta du Rhône. *Vertigo*, La Revue des Sciences de l'Environnement. À paraître, été 2007.

Sabatier, F., Samat, O., Ullmann, A. et Suanez, S. (accepté). Connecting large-scale coastal behaviour with coastal management of the Rhone delta. *Geomorphology*.

Samat, O., Sabatier, F., Lambert, A., 2007. Bathymetric impacts of a seawall on a microtidal beach (North of the Gulf of Lions, Mediterranean coast). *Méditerranée*, 108, 119-124.

Colloques (abstracts et/ou actes publiés)

Chauvelon, P., Pichaud, M., Gaufres, P., Ullmann, A., and A. Sandoz, 2007. A modelling tool for hydraulic management of the Rhone delta central hydro - system under flood and sea surge conditions. Poster presented at EFRM 2007 - European Symposium on Flood Risk Management Research, Dresden, Germany, 6-7 feb 2007.

Chauvelon, P., Pichaud, M., Gaufres, P., and A. Sandoz, 2007. Impact of meteorological and hydrological extreme events (floods and droughts) on the Rhone delta hydraulic management. Poster presentation at the EGU General Assembly 2007, Vienna, 16-20 April 2007.

Chauvelon, P., in press. Constraints, limits and perspectives for Integrated Coastal Zone Management in the Rhone river delta. Oral presentation, The eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment – MEDCOAST 07. 13-17 November 2007, Alexandria, Egypt

Radakovitch, O., Mayer, A., Garcia Orellana, J., Garcia Solsona, E., Claude, C., Masque Barri, P., Chauvelon, P., Ollivier, P., 2007. Submarine groundwater discharge estimates on coastal waters based on ²²²Rn measurements. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 38, 698.

Rapports et thèses

Chauvelon, P., Pichaud, M., 2007. Modélisation du fonctionnement de l'hydrosystème Vaccarès dans l'Ile de Camargue en situation de crise hydro climatique. Contribution au rapport final IMPLIT Impact des événements extrêmes (tempêtes et surcotes) liés au Changement Climatique sur les hydrosystèmes du littoral méditerranéen français. Programme GICC-2 (Gestion et Impact du Changement Climatique), MEDD, Tour du Valat, mai 2007.

GIZCAM

Samat, O., 2007. Efficacité et impacts des ouvrages en enrochement sur les plages micro tidales. Le cas du Languedoc et du delta du Rhône. Thèse Université Aix Marseille.

Implication auprès des gestionnaires

- Réunions de coordination du projet GIZCAM impliquant les gestionnaires du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) (25/01/2006, 14/06/06, 20/06/07).
- Commissions de gestion de l'eau et des milieux aquatiques du PNRC (toutes depuis le début du Projet : P. Chauvelon, A. Dervieux) ; deux avec présentation en séance de résultats relatifs au projet (pesticides : S. Chiron, L. Comoretto ; érosion du littoral : O. Samat).
- Commission Exécutive De l'Eau (CEDE) : participation à toutes les réunions (A. Dervieux, P. Chauvelon).
- Groupe de travail « Gestion de l'Eau et du Littoral » pour la révision de la charte du PNRC, 6 réunions au premier semestre 2007 (A. Dervieux, P. Chauvelon).
- Quatre participants du projet (B. Picon, P. Chauvelon, R. Mathevet, F. Sabatier) sont membres du Conseil Scientifique de la Réserve de Biosphère de Camargue dont le label a été renouvelé début 2007 par l'UNESCO.

Médias :

Avril 2007. F. Sabatier est interviewé par France 3 (19-20, le journal des Régions), sur l'impact du changement climatique sur les plages de Camargue.

Juillet 2007. France 2, Télématin, P. Chauvelon interviewé pour un reportage sur « Effets du changement climatique en Camargue ».

RESUMES

En français

RESUME

Le projet propose la coordination de plusieurs axes de recherche ayant pour objectif de tendre vers la gestion intégrée de la zone côtière. Il s'agit de finaliser le développement d'un modèle de simulation du fonctionnement hydrologique de l'Ile de Camargue, de le rendre plus modulaire afin de pouvoir intégrer de nouvelles options de gestion hydraulique, que ce soit en fonctionnement normal ou critique. Cet outil s'appuie en particulier sur des données générées par un Système d'Information Géographique (SIG), lequel devra conduire à la mise en place d'un tableau de bord de l'état de l'occupation du sol et des écosystèmes camarguais. L'évolution récente du trait de côte et des profils bathymétriques dans les secteurs les plus sensibles, en relation avec les aménagements de protection réalisés et le forçage par la houle, sera étudiée sur une base quantitative permettant le cas échéant de proposer de réviser les politiques d'aménagement côtier. Les flux de pesticides, depuis l'entrée sur le bassin versant ; et de sels à l'interface marine (de surface et souterraine) seront investigués par expérimentation de terrain et modélisation, pour établir des fonctions de transfert globales dans l'hydrosystème.

Une étude sociologique empirique sera menée, visant la compréhension des actions, processus décisionnels, de leur impact sur le fonctionnement de la commission exécutive de l'eau. La simulation par modélisation Multi Agent orientée jeu de rôle, sera utilisée pour animer la réflexion dans la recherche d'un compromis dans la négociation sur les règles de gestion durable des zones humides littorales.

MOTS CLES :

GIZC, delta du Rhône, lagune, Camargue, hydrologie, zones humide, riz, changement global, pesticide, géochimie, géomorphologie côtière, jeu de rôle, multidisciplinaire.

In English

ABSTRACT

The multidisciplinary research project "GIZCAM" began in January 2006 and will last 3 years, coordinating several research axes in order to promote Integrated Coastal Zone Management. It is scheduled to finalize a simulation model of the "Ile de Camargue" (Rhône delta central area) hydrological functioning; to make it more modular in order to integrate new hydraulic management options, in normal (agricultural drainage) or critical (river floods and sea storms) situation. This tool is based in particular on data generated by a GIS, whose further implementation will lead to a control board of delta land use and ecosystems status. The evolution of coastline and bathymetric profiles in most sensible areas, will be studied on a quantitative basis in relation with existing coastal defence structures and wave forcing. The results should allow to suggest alternative management options of the coastal area. Pesticides fluxes, from input on the delta drainage basin area, and salt fluxes at the sea interface, will be investigated, in order to estimate global transfer functions in the hydro system. Empirical sociological study will be conducted, focusing on understanding actions, decision making processes, and their impact on the functioning of the water executive commission. A role-playing game based on a Multi Agent simulation tool, will be used to assess negotiation processes while searching to establish sustainable management rules for coastal wetlands.

KEY WORDS

ICZM, Rhône delta, lagoon, Camargue, wetland hydrology, rice, global change, pesticides, geochemistry, coastal geomorphology, role playing game, multidisciplinary.