



HAL
open science

Le Rhône aval en 21 questions

Mireille Provansal, Olivier Radakovitch, François Sabatier, Anne Clemens

► **To cite this version:**

Mireille Provansal, Olivier Radakovitch, François Sabatier, Anne Clemens. Le Rhône aval en 21 questions. Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR); GRAIE. 2008, 978-2-917199-03-9. hal-04919502

HAL Id: hal-04919502

<https://hal.science/hal-04919502v1>

Submitted on 30 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Le Rhône aval en 21 questions

Ouvrage collectif sous la direction de
Mireille Provansal, Olivier Radakovitch, François Sabatier et Anne Clémens

ZABR

Zone Atelier Bassin du Rhône

OSR - OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE

Ouvrage collectif sous la direction de
Mireille Provansal, Olivier Radakovitch, François Sabatier

Le **Rhône aval** en **21 questions**

ZABR

Zone Atelier Bassin du Rhône

OSR - OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE



Ouvrage édité par le GRAIE
(Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau)
Domaine scientifique de la Doua
66, boulevard Niels-Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne cedex – France
www.graie.org
Lyon – Septembre 2012

Design graphique et réalisation : Toufik Boumessaoud/IDÉOGRAM
Photo de couverture : Photothèque CNR
Imprimeur : Nouvelle Imprimerie Delta Lyon-Chassieu
N° ISBN : 978-2-917199-03-9



Sommaire

Préambule	p. 7
1- Quelles sont les spécificités du Rhône aval et de son delta ?	p. 10
2- Comment évaluer le transport sédimentaire actuel dans le Rhône aval ?	p. 14
3- Quel est le rôle des affluents méditerranéens dans le fonctionnement du Rhône aval ?	p. 16
4- D'où proviennent et où vont les sédiments du Rhône aval ? Quel est l'impact des ouvrages sur leur transit ?	p. 18
5- Quels sont les aménagements du Rhône aval et du delta et leur impact sur le fonctionnement naturel ?	p. 20
6- Pourquoi gérer les marges alluviales ?	p. 22
7- Quelle gestion des crues dans le territoire du Rhône aval ?	p. 24
8- Quelles ont été les causes et conséquences sociétales et réglementaires des ruptures des digues de Camargue en 1993, 1994 et 2003 ?	p. 26
9- Quelles relations entre la mer, les nappes souterraines et les eaux de surface dans le delta du Rhône ?	p. 28
10- Les pesticides en Camargue, origine, diffusion et conséquences ?	p. 30
11- Quel est le statut des eaux du Rhône aval ?	p. 32
12- Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ?	p. 34
13- Comment se dessine la ligne du rivage ?	p. 36
14- Quel est le fonctionnement naturel d'une plage du delta du Rhône ?	p. 38



15 – Que deviennent les sédiments et les éléments associés en mer ?	p. 40
16 – Les ouvrages de protection actuels suffisent-ils à s'adapter à la mobilité du trait de côte ?	p. 42
17 – Changement climatique et surcotes marines, quel avenir pour les plages camarguaises ?	p. 44
18 – Quel est l'impact de la mobilité du trait de côte sur les usages ?	p. 46
19 – Quels contaminants le Rhône apporte-t-il à la mer Méditerranée ?	p. 48
20 – Que mesure-t-on comme pollution sur les eaux côtières, quel lien avec le Rhône ?	p. 50
21 – Peut-on s'appuyer sur l'histoire du Rhône aval pour le gérer aujourd'hui ?	p. 52
Remerciements	p. 54

Pour une meilleure lisibilité des illustrations, quelques acronymes ou abréviations employés dans l'ouvrage sont explicités ci-dessous :

- Agence de l'Eau RM&C : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse
- CEREGE : Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement
- CETE Méditerranée : Centre d'Études Techniques de l'Équipement Méditerranée
- CETMEF : Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales
- CNR : Compagnie Nationale du Rhône
- COM : Centre d'Océanologie de Marseille
- CRC : Centre de Recherches de Climatologie
- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- IMBE : Institut Méditerranéen de Biodiversité & d'Écologie marine et continentale
- IRSN : Institut de Radioactivité et de Sécurité Nucléaire
- MIO Marseille : Mediterranean Institute of Oceanography
- PNR Camargue : Parc Naturel Régional de Camargue
- SNRS : Service Navigation Rhône-Saône
- VNF : Voies Navigables de France



Préambule

Voici le Rhône aval en 21 questions. L'idée de sa réalisation est née d'une conférence présentée en septembre 2010 par l'équipe du CEREGE à l'Agence de l'Eau RM&C portant sur les relations sédimentaires du Rhône aval (depuis Orange jusqu'au delta et au littoral) avec son bassin versant et sur les fonctionnements spécifiques de ce secteur du Rhône. Il est apparu souhaitable que cette connaissance, complétée par celles d'autres travaux réalisés sur cet espace, soit mise à disposition pour l'ensemble des acteurs du fleuve.

Cet ouvrage reprend volontairement la démarche entreprise lors de la réalisation du *Rhône en 100 Questions*, livre édité en 2008 qui présente le Rhône dans toutes ses facettes. Il constitue une sorte de cahier complémentaire construit dans le même esprit, associant des rédacteurs scientifiques et acteurs du territoire qui ont accepté de répondre à des questions posées par le comité de rédaction. Ce livre de vulgarisation invite le lecteur à découvrir quelques richesses et spécificités du Rhône aval. Au fil des pages, la personnalité du Rhône aval est ainsi esquissée, avec une attention particulière aux sédiments qu'il transporte et à leurs relations avec les crues. Ce «fil d'Ariane» permet de présenter les aménagements récents du chenal et la gestion des milieux sur les marges fluviales, et de discuter des rapports du fleuve avec le delta, la stabilité du littoral et le milieu marin.

Le Rhône aval constitue un des premiers ouvrages de valorisation de l'Observatoire des Sédiments du Rhône, réseau de chercheurs et d'acteurs qui concentrent leur activité scientifique et technique pour comprendre le fonctionnement sédimentaire du Rhône et des polluants associés aux sédiments.


Mireille Provansal, Olivier Radakovitch, François Sabatier

Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

Le Rhône aval



 Barrage et usine hydro-électriques

 Site nucléaire

© P. Pentsch, Aix-Marseille Université

Le delta du Rhône



■ Ville, village ▲ Site remarquable Digue à la mer

© P. Pentsch, Aix-Marseille Université

Quelles sont les spécificités du Rhône aval et de son delta ?

Mireille Provansal, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Régis Vianet, PNR de Camargue

Le Rhône aval est caractérisé par trois spécificités importantes : son régime est modifié par les apports des affluents cévenols et sud-alpins ; la géomorphologie de la plaine alluviale et du delta de Camargue y accroît le risque d'inondation ; ses apports aux embouchures conditionnent la stabilité du littoral et l'équilibre des écosystèmes marins.

Les affluents méditerranéens modifient l'hydrologie et la charge sédimentaire du Rhône

Ils contribuent à la formation d'un débit moyen élevé (module annuel 1720 m³/s ; crue centennale de l'ordre de 11300 m³/s à Beaucaire) et accentuent les contrastes saisonniers (basses eaux estivales).

L'Ardèche et le Gard génèrent des crues rapides, dites «cévenoles», aux effets dévastateurs difficiles à prévenir. Ces rivières rechargent le fleuve en sédiments grossiers : elles peuvent exhausser le fond du chenal et modifier les lignes d'eau aux confluences, créant localement des problèmes d'inondation. La Durance, affluent le plus important, amplifie les crues d'amont, en durée et en débit ; mais ses apports solides sont limités en raison des aménagements hydro-électriques, des gravières qui perturbent le transit sédimentaire et du détournement partiel de ses eaux vers l'Étang de Berre par le canal EDF (voir question 3 : « Quel est le rôle des affluents méditerranéens dans le fonctionnement du Rhône aval ? »).

Où commence le Rhône aval ? Où s'achève-t-il ?

Sur le continuum fluvial, il est difficile de définir précisément la limite amont du Rhône aval.

Pour l'Agence de l'Eau RM&C, elle est située à Avignon (confluence de la Durance).

Mais elle pourrait aussi correspondre au dernier aménagement CNR à Vallabrègues (amont de Beaucaire, confluence du Gard) ou à l'entrée dans le delta.

On retiendra ici, en accord avec la plupart des acteurs et les gestionnaires du fleuve, que le Rhône aval commence en aval de Montélimar, où les apports de l'Ardèche modifient le régime du fleuve en lui imprimant un caractère nettement méditerranéen.

Les apports du fleuve jouent un rôle sédimentaire, biologique et écologique important dans le golfe du Lion et sont ressentis jusqu'aux grandes profondeurs des canyons sous-marins au large de Perpignan.

La géomorphologie de la plaine et du delta renforce le risque d'inondation

À l'exception de la traversée des derniers «points durs» rocheux (Roquemaure, Beaucaire et Arles), la pente du profil en long diminue progressivement (0,56 ‰ entre Avignon et Arles, 0,10 ‰ dans le delta), puis s'annule au niveau de base marin.

La réduction de la puissance fluviale favorise le dépôt des sédiments, qui ont construit au cours des siècles une très large plaine alluviale et un delta (fig.1). Dans ce dernier, le Grand et le Petit Rhône écoulent respectivement 90 et 10% du flux. Le fleuve a pu véhiculer une charge solide grossière (galets) jusqu'à Arles au cours de certaines périodes historiques (voir question 21 : « Peut-on s'appuyer sur l'histoire du Rhône aval pour le gérer aujourd'hui ? »), mais le flux et les dépôts actuels, entre Orange et les embouchures, ne sont formés que de sables fins (< à 10%) et de limons (> à 90%).

Au cours de l'histoire, ces apports ont favorisé l'instabilité des chenaux deltaïques. Ils ont également surélevé les marges alluviales : le chenal fluvial s'est progressivement «perché» au-dessus de la plaine, facilitant la propagation des inondations vers les secteurs les plus éloignés, jusqu'au marais des Baux au niveau d'Arles lors de la crue de décembre 2003. Dans les espaces, situés en contrebas des berges, l'eau persiste plus longtemps avec des difficultés importantes de ressuyage* (photo 1).

En amont d'Arles, les inondations ont franchi en 2003 les trémies de la voie ferrée et causé d'importants dommages dans la plaine agricole du Trébon et la banlieue nord d'Arles. Sur le tiers amont du Petit Rhône, étroit, sinueux et en voie de colmatage, des brèches se forment lors des fortes crues, localisées sur les mêmes points de faiblesse depuis au moins un siècle.

La coïncidence entre une crue et une surcote marine, comme en décembre 2003, augmente la hauteur des lignes d'eau, puis retarde l'évacuation de l'eau dans les zones proches de la mer (fig.2).

Les apports du fleuve conditionnent la stabilité du delta et du littoral, ainsi que l'équilibre des écosystèmes marins

À l'interface entre le fleuve et la mer, le delta est un espace construit par les apports sédimentaires du Rhône au cours des derniers millénaires. Depuis 150 ans, l'endiguement du Grand Rhône empêche tout apport d'alluvions à l'«île» de Camargue et à la partie orientale du delta (Grand Plan du Bourg) lors des crues. Les dépôts associés aux brèches sur le Petit Rhône restent localisés à l'amont de l'étang du Vaccarès et à la Petite Camargue. Seul le domaine de La Palissade, géré par la Conservatoire du Littoral à l'embouchure du Grand Rhône, a conservé un fonctionnement sédimentaire naturel.

La stabilité du delta est donc menacée par l'élévation du niveau marin, en particulier en Camargue méridionale : l'intrusion des eaux marines dans les sols y devient préoccupante et pourrait à terme gêner les activités agricoles et modifier l'équilibre actuel entre les différents écosystèmes (voir question 17 : « Changement climatique et surcotes marines, quel avenir pour les plages camarguaises ? » et question 9 : « Quelles relations entre la mer, les nappes souterraines et les eaux de surface dans le delta du Rhône ? »). La remontée du coin salé* dans le





Photo 1 – Inondation du delta crue décembre 2003, 7 décembre 2003 (Spot 4,20 m de résolution).

Le franchissement des trémies de la voie ferrée a permis l'inondation du Trébon et du Marais des Baux en rive gauche du Rhône. Les brèches sur le Petit Rhône ont entraîné l'inondation de la Camargue gardoise.

© CNES 2003 - distribution Spot image - création Spot image/ EMM

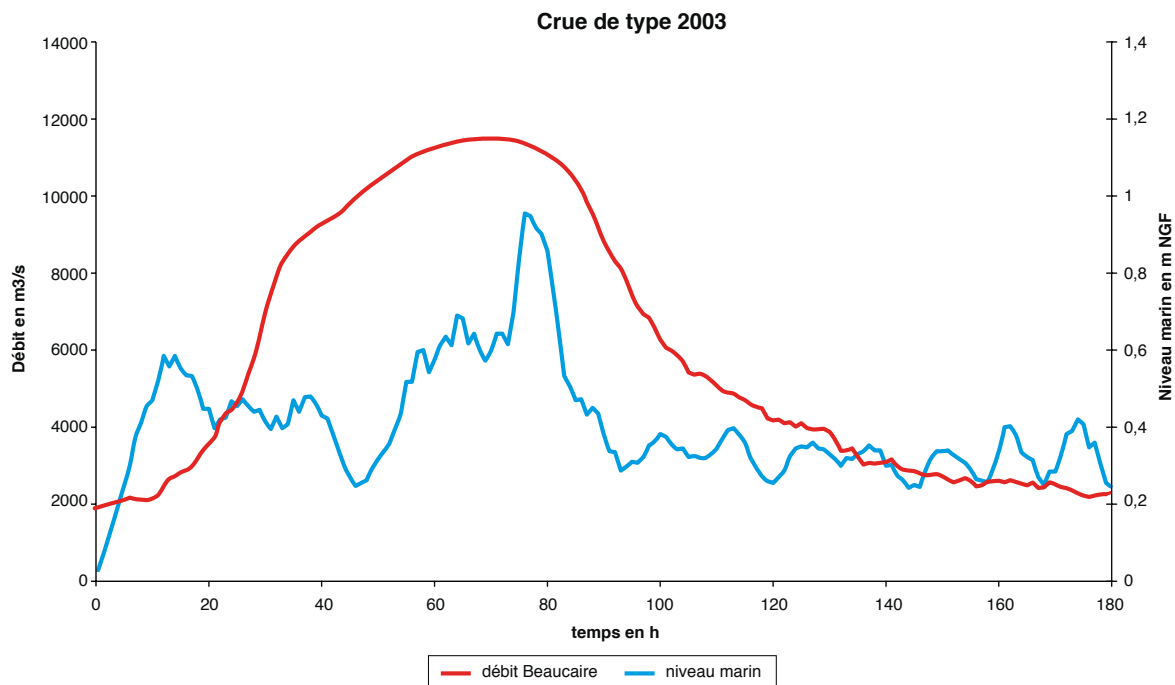


Fig. 2 – La coïncidence de la crue de décembre 2003 avec une surcote marine. Cette coïncidence a aggravé les hauteurs d'eau dans le chenal du Grand Rhône et gêné les opérations de ressuyage en Camargue Gardoise.

© G. Raccasi, Aix-Marseille Université

fleuve, est conditionnée par la relation entre le débit fluvial et le niveau marin. Elle dépasse exceptionnellement le seuil de Terrin et doit faire l'objet d'un suivi continu sur le site de Barcarin.

Les apports du Rhône sont une source importante de matière pour le golfe du Lion et la Méditerranée occidentale. Les crues importantes génèrent jusqu'à 80 % des apports solides (voir question 2 : « Comment évaluer le transport sédimentaire actuel dans le Rhône aval ? »). L'essentiel de la charge sédimentaire en suspension transite par le Grand Rhône lors des crues. Les fractions les plus fines (limons, argiles), exportées au large, occupent la plus grande partie des fonds, depuis la zone côtière jusqu'au bassin profond. Elles jouent un rôle essentiel dans les apports en nutriments et en contaminants au milieu marin.

La fraction la plus grossière (sables) alimente les plages proches de l'embouchure, dont l'avancée ou le recul dépendent de combinaisons variables entre les apports des crues et les tempêtes (voir question 12, « Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ? »). Le recul important et rapide de l'embouchure du Petit Rhône depuis 150 ans menace la survie du village des Saintes-Maries-de-la-Mer et des activités économiques de ce secteur (voir question 13 « Comment se dessine la ligne de rivage ? »).

Les équipements et la gestion des milieux sur le fleuve, dans le delta et les espaces maritimes, relèvent de plusieurs acteurs

Le chenal du Rhône aval et l'embouchure du Grand Rhône ont été aménagés dès le milieu du XIX^e siècle (digues « insubmersibles » continues, casiers Girardon, sélection d'une embouchure unique). Les équipements hydro-électriques de la CNR ne dépassent pas le seuil de Beaucaire-Tarascon (barrage de Vallabrègues, édifié en 1970). Jusqu'en 2005, la gestion des digues à l'aval de ce seuil (100 km environ) dépendait d'un ensemble de syndicats.

Depuis cette date, le SYMADREM, devenu le gestionnaire unique, a en charge la gestion et l'entretien des digues fluviales de Beaucaire à la mer sur les deux rives, ainsi que de la digue à la mer dans le delta. La concession globale de la CNR s'étend néanmoins jusqu'à la diffuence deltaïque*.

Dans le delta, plusieurs organismes sont impliqués dans la gestion des zones humides et des milieux aquatiques, qui font la notoriété de la Camargue pour la diversité des oiseaux d'eau. Réserve naturelle nationale de Camargue, Parc naturel régional de Camargue, Syndicat mixte de gestion de la Camargue gardoise, Conservatoire du Littoral, Fondation de la Tour du Valat œuvrent pour la connaissance, la valorisation, la gestion durable des milieux et des activités qui s'y rattachent. Ils garantissent l'obtention et le maintien de labels internationaux reconnaissant la haute valeur patrimoniale du delta du Rhône (site RAMSAR, Réserve de biosphère de l'UNESCO).

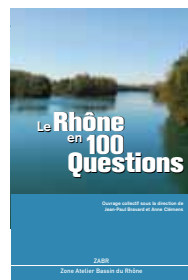
Ils participent, avec les collectivités locales, aux études et concertations sur les choix de gestion du trait de côte, dont les implications économiques sont considérables.

LEXIQUE

Ressuyage : absorption naturelle des eaux de surface par le sol.

Coin salé : phénomène d'intrusion d'eau marine dans le lit du fleuve.

Diffuence deltaïque : apparition de bras multiples en tête ou à la surface du delta.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 2 : Le fonctionnement du fleuve
Chapitre 5 : Les crues et inondations du Rhône

À retenir

Sur le Rhône aval, les affluents méditerranéens génèrent des crues puissantes et rapides, dont les effets peuvent être amplifiés par les surcotes marines. Lors des événements majeurs, la géomorphologie du chenal et de la plaine d'inondation favorisent l'apparition de brèches et l'expansion des eaux dans un vaste champ d'inondation où le ressuyage* des sols est difficile. Les apports sédimentaires du Rhône conditionnent la stabilité du delta, de ses plages et de ses écosystèmes. Leur réduction et l'endiguement du chenal accroissent actuellement les risques qui pèsent sur ces systèmes naturels menacés par l'élévation du niveau marin. La gestion du chenal, des ouvrages et du delta relèvent d'acteurs spécifiques.

Comment évaluer le transport sédimentaire actuel dans le Rhône aval ?

Christelle Antonelli et Frédérique Eyrolle, IRSN – Guillaume Raccasi, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

Dans le Rhône aval, les sédiments transitent selon deux modes. Les matières en suspension, composées de sédiments fins (argiles, limons et sables), sont transportées dans la masse des écoulements, majoritairement en période de crues. La charge de fond, constituée de galets et gravillons en amont du delta, passe rapidement à des sables qui drapent de dunes le fond du lit. Son déplacement est discontinu, conditionné par l'occurrence de crues.

La quantification des flux de matières en suspension

Les flux de matières en suspension sont évalués à partir de prélèvements effectués au moyen de la Station Observatoire du Rhône (SORA – photo 1) en Arles, gérée par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire et l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO, Marseille). Cette station, entièrement automatisée, collecte des échantillons représentatifs des écoulements du Rhône, en rive droite, à 7 m de la berge et 50 cm de profondeur quel que soit le débit du fleuve. Deux modes de prélèvement coexistent :

- En période d'hydrologie normale, un échantillon d'un litre est constitué toutes les 24 heures à partir de prélèvements unitaires de 150 ml effectués toutes les 90 minutes.
- En période de crue ($> 3000 \text{ m}^3/\text{s}$), l'échantillon d'un litre est constitué toutes les 4 heures à partir de prélèvements unitaires de 150 ml effectués toutes les 30 minutes. La concentration moyenne de matières en suspension est ainsi acquise à pas de temps plus resserré pendant la crue.



Les flux solides annuels transférés en suspension sont ensuite calculés en cumulant les produits des mesures de concentration en matières en suspension et des débits liquides pour les différentes périodes d'échantillonnage. Depuis le début de l'exploitation de cette station en 2005, les flux annuels en suspension ainsi enregistrés ont varié de 1 million de tonnes (2005) à 9,1 millions de tonnes (2008) (fig. 1).

Les crues supérieures à $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ contribuent à transférer de 25% (2007) à 81% (2008) des flux solides en quelques jours seulement. La faible hétérogénéité des flux solides en transit sur la section mouillée au droit de la station permet de limiter l'incertitude de la mesure à moins de 15%.

Les flux en suspension mesurés à Arles sur le Grand Rhône représentent approximativement 90% des flux totaux exportés au milieu marin par le fleuve (par l'ensemble des Grand Rhône et Petit Rhône).

Photo 1 – Station SORA. © IRSN

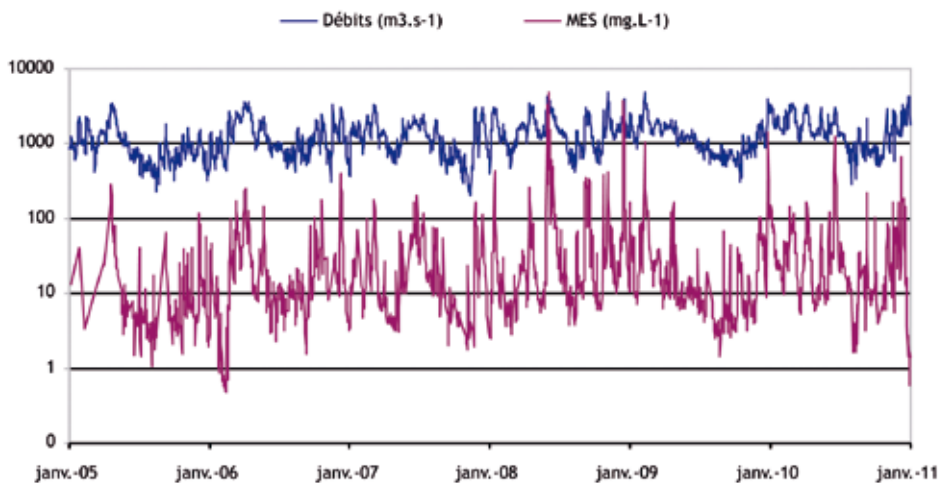


Fig. 1 – Suivi des débits liquides (données CNR) et des concentrations en matières en suspension à Arles (Station SORA) depuis 2005.
© F. Eyrolle, IRSN

Une seconde méthode de quantification des flux en suspension est actuellement en cours de développement au niveau du bac de Barcarin (photo 2). Ce dernier a récemment été équipé d'un turbidimètre et d'un courantomètre acoustique à effet Doppler pour déterminer la distribution relative des matières en suspension dans le fleuve. Le traitement informatique de ces données fournira le flux de matières en suspension en transit, à chaque traversée du fleuve.

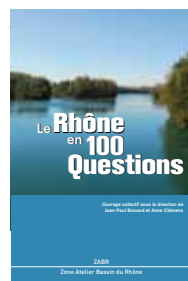
Comment approcher la mesure de la charge de fond ?

La mesure de la charge de fond est un défi complexe dans un milieu profond où les vitesses du courant peuvent être élevées (> 1,5 mètre par seconde) et les mouvements sédimentaires de grande ampleur (> 1 mètre d'épaisseur). Les instruments de mesure directe ne sont pas adaptés à ces milieux et leur utilisation s'avère souvent inefficace. Pour pallier ces difficultés, des mesures indirectes ont été adoptées. Ainsi, la réalisation de bathymétries avant et après un événement hydrologique, permet de quantifier les dépôts et érosions de sédiments et de spatialiser le déplacement des dunes hydro-sédimentaires. On a pu estimer à 190 m le déplacement des dunes hydrauliques dans le Grand Rhône au cours de l'année 2008 et des érosions locales allant de 50 cm pour une crue annuelle à plus de 3 m pour la crue exceptionnelle de 2003.

Notons enfin qu'une couche plus dense peut apparaître dans le premier mètre au-dessus du fond en période de crue. Les méthodes d'acquisition actuelles ne permettent pas d'estimer la contribution de cette source au transport sédimentaire.



Photo 2 –
Bac de Barcarin
© Syndicat Mixte
des Traversées du
Rhône



Pour plus d'information,
Le Rhône en 100 Questions,
Chapitre 2 : Le fonctionnement
du fleuve

À retenir

Le Rhône se caractérise par une importante variabilité intra et interannuelle des flux solides en transit vers la mer. L'évaluation du transport sédimentaire en suspension dans le delta du Rhône bénéficie aujourd'hui de données fiables et pérennes, acquises par prélèvements et mesures haute fréquence à Arles et bientôt à Barcarin. La charge de fond, difficilement quantifiable par mesure directe dans le cours d'eau, est quantifiée à partir de relevés bathymétriques qui induisent une marge d'erreur importante sur les bilans proposés.

Quel est le rôle des affluents méditerranéens dans le fonctionnement du Rhône aval ?

Julie Mosseri, EDF, Unité de Production Méditerranée – Olivier Radakovitch, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

Le rôle des affluents méditerranéens sur le Rhône aval peut être évalué au travers d'un bilan des flux actuels d'eau et de sédiment. Un zoom sur les aménagements de la Durance illustre pour cet affluent un exemple particulier de la gestion de ces flux.

Les régimes hydrologiques

Les affluents du Rhône aval ont un régime méditerranéen avec des étiages d'été sévères et des crues importantes en automne et parfois au printemps. Les affluents cévenols en rive droite (Ardèche, Cèze et Gard) ont des débits moyens faibles et des étiages très marqués. Ils influent sur le débit du Rhône pendant les fortes crues-éclair (quelques jours), généralement en automne. En rive gauche, la Drôme, l'Aigues et l'Ouvèze ont le même type de régime mais avec des crues moins violentes, et ils ne jouent que très peu sur le débit du Rhône. Enfin, le régime de la Durance est très influencé par ses usages et seule une partie de son débit arrive au Rhône bien que sa contribution reste importante (fig. 1).

Les principaux affluents contributeurs aux régimes de crue du Rhône aval sont l'Ardèche, la Durance puis le Gard. Certains affluents sont aménagés par des barrages avec un rôle d'écrêtement des crues (Cèze, Durance, Gard).

Le transport sédimentaire

Compte tenu du transport limité et difficile à évaluer des sédiments grossiers, seul un bilan des sédiments fins peut être établi. La majorité du flux de sédiments fins (jusqu'à 81 %) (voir question 2 : « Comment évaluer le transport sédimentaire actuel dans le Rhône aval ? ») transite lors des crues du Rhône ou des affluents. Ces flux sont très variables :

le Rhône aval transporte entre 1 et 9 millions de tonnes par an de matières en suspension (Station Observatoire du Rhône à Arles, 2005-2010), avec une moyenne annuelle au cours de la dernière décennie estimée autour de 4 millions de tonnes. Les affluents les plus contributifs qui font l'objet de mesures sont l'Isère et la Durance, avec des flux moyens annuels pour chacun de près de 2 millions de tonnes.



Fig. 1 – Gamme des volumes d'eau annuels 2000-2009 (carte à gauche) et répartition de la médiane en volume des différents affluents (figure ci-dessous).

© Banque Hydro, EDF (Durance), CNR (Gard, Cèze, Ouvèze)

Nota : l'Ardèche reçoit les eaux de la Haute-Loire via les aménagements hydroélectriques du complexe de Montpezat.

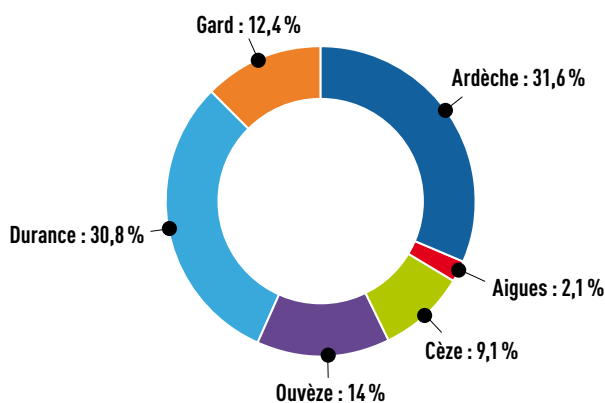


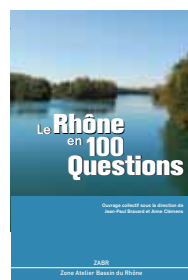


Fig. 2 - Chaîne d'aménagements hydroélectriques Durance-Verdon exploitée par EDF. © EDF

La Durance : un exemple d'affluent aménagé (fig. 2)

Des prélèvements en Durance sont réalisés depuis le XII^e siècle, et dès 1907 la Commission Exécutive de la Durance est créée pour gérer ces prélèvements. Les aménagements multi-usages du bassin de la Durance issus de la loi de 1955 et du Verdon permettent, grâce à une réserve de 450 millions de m³ dans les barrages-réservoirs, de gérer régionalement la ressource en eau pour la production d'énergie hydraulique (électricité de pointe, sécurité du réseau électrique), l'irrigation, l'alimentation en eau potable et industrielle, ainsi que le tourisme et certains loisirs. L'aménagement de la Durance comporte un canal usinier qui suit le tracé du cours d'eau et dérive les eaux du barrage de Serre-Ponçon et les apports du bassin versant vers les prises d'eau pour les prélèvements et les usines aval. Hors crues, ces débits, associés à ceux du Verdon, étaient à l'origine entièrement dérivés à l'aval vers les prises agricoles de Lamanon et l'étang de Berre. Cependant, dans les années 1990, ces rejets d'eau douce (3600 millions de m³/an) et de sédiments fins associés (700000 tonnes/an) ont été mis en évidence comme une source de perturbation écologique pour cet étang saumâtre. Des mesures successives de restriction des apports à l'étang ont été prises par l'État, conduisant EDF à modifier ses installations pour restituer les écoulements vers la Durance. Ces réductions de rejets dans l'étang ont induit des retours en Durance plus élevés.

En bilan annuel sur l'aménagement, aujourd'hui les flux de la Durance qui arrivent au Rhône à la confluence varient selon les années de 500 à 5000 millions de m³ d'eau et sont estimés en moyenne à environ 2 millions de tonnes de sédiments fins. Près de 2000 millions de m³ sont prélevés pour l'alimentation en eau (dont environ 85% pour l'irrigation), et 1200 millions de m³ d'eau et 60000 tonnes de sédiments fins sont potentiellement dérivés vers l'étang de Berre.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 5 : Les crues et inondations du Rhône

À retenir

La contribution des affluents méditerranéens aux flux d'eau du Rhône aval entre Valence et Beaucaire est de l'ordre de 6 à 18%. Les affluents majeurs sont l'Ardèche et la Durance. Les flux de matières en suspension, très variables selon les années, sont peu mesurés au niveau des affluents ; leur contribution en sédiments fins au Rhône aval se fait essentiellement en période de crue. Les écoulements au Rhône aval sont influencés par les prélèvements d'eau et les aménagements hydrauliques (notamment les grands barrages-réservoirs) comme sur la Durance ou sur l'Ardèche.

D'où proviennent et où vont les sédiments du Rhône aval ? Quel est l'impact des ouvrages sur leur transit ?

Mireille Provansal, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Sylvain Reynaud, CNR

Les apports sédimentaires au Rhône aval ont été réduits depuis un siècle. Les ouvrages Girardon en ont stocké une partie importante et les aménagements CNR segmentent partiellement leur transit. L'alimentation du littoral est menacée.

Le cas particulier du Rhône court-circuité d'Avignon

Sur ce bras naturel (fig. 2), l'énergie fluviale importante à la sortie du défilé de Roquemaure favorisait l'érosion et le déplacement de la charge de fond. Celle-ci s'accumulait à proximité d'Avignon, où l'obstacle géologique du Rocher des Doms et les arches du Pont Saint Benézet ralentissent le transit sédimentaire. L'aménagement CNR (RCC) a diminué le transit sédimentaire (y compris lors des fortes crues récentes) : les bancs formés temporairement dans le chenal ne persistent pas car ils sont évacués lors des hautes eaux.

Quelle est l'origine des flux sédimentaires sur le Rhône aval ? Quelles sont leurs modifications récentes ?

Les flux sédimentaires sont issus du Rhône moyen, auxquels s'ajoutent les apports de l'Ardèche, de la Cèze, de la Durance et du Gard et les sédiments issus de l'érosion locale du chenal. La fraction fine aurait diminué de plus de 80% depuis un siècle : elle est piégée par les aménagements Girardon sur le Rhône amont et moyen et par les barrages-réservoirs alpins ; dans les Alpes du sud, l'érosion des «marnes noires» a été réduite par la déprise rurale, le reboisement et des travaux RTM*. La charge de fond grossière (sables, galets) a été fortement réduite, particulièrement par les prélèvements dans le lit des affluents. Sur la Durance, la dérivation du débit naturel dans le canal EDF entrave le transit des galets, et les gravières remises en eau interrompent le transit vers le Rhône.

Quel est l'impact des ouvrages Girardon et CNR sur les flux sédimentaires ?

Les digues édifiées en 1860 puis les ouvrages Girardon ont entraîné un stockage précoce important des sédiments fins dans les marges alluviales proches du fleuve (photo 1). La réduction des apports grossiers et le rétrécissement du chenal ont favorisé une reprise d'érosion du plancher alluvial localement importante (entre -3 et -15 m). Elle apparaît dès le début du xx^e siècle et a conduit à l'apparition d'un pavage* qui immobilise les galets les plus grossiers.

Les ouvrages CNR n'ont induit que des modifications à la marge (fig. 1), car ils permettent la circulation d'une partie de la charge de fond dans les Rhône



Photo 1 - Casier Saxy. L'ouvrage de grande taille, construit vers 1905 en amont d'Arles, n'est colmaté que partiellement, en raison de la réduction des apports au xx^e siècle. Orthophoto 2003[©] IGN – PFAR 2000 CRIGE et photo G. Raccasi, Aix-Marseille Université

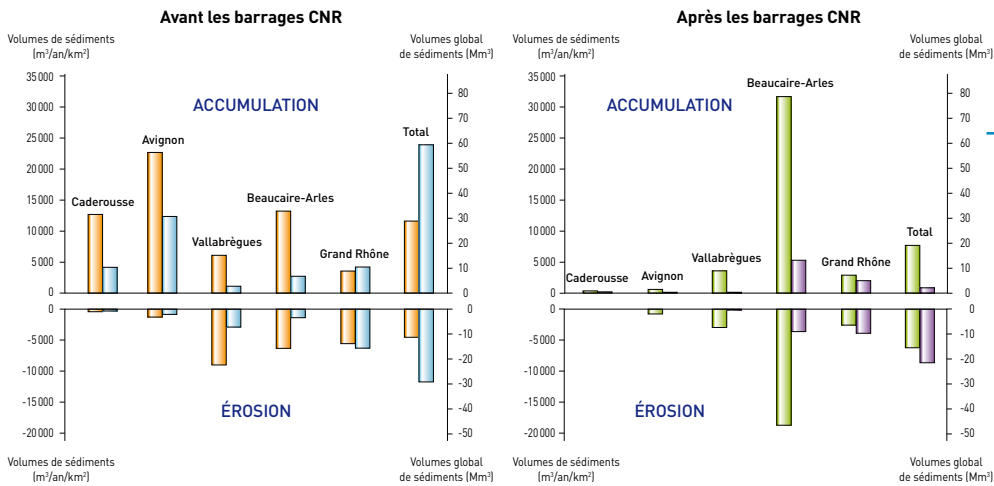
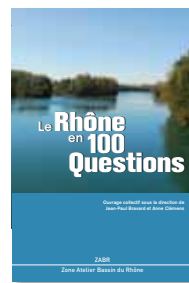


Fig. 1 - Bilan des mouvements sédimentaires en aval d'Orange depuis 150 ans. L'essentiel du stockage est dû aux ouvrages Girardon, avant la construction des barrages CNR, à l'exception du secteur de Beaucaire, en aval du barrage de Vallabrègues. © M. Provansal et P. Pentsch, Aix-Marseille Université

court-circuités (RCC). Les retenues transparentes lors des crues et les RCC tendent globalement vers un état d'équilibre à la fin du xx^e siècle et les lignes d'eau sont maintenues. Localement, les crues importantes peuvent modifier la géométrie du chenal et des RCC, et engraisser les berges (tronçon Beaucaire-Arles).

Quel est le bilan des apports du Rhône à la mer ?

Les fractions grossières de la charge de fond ne dépassent pas le seuil de Terrin en aval d'Arles : aucun galet n'a encore jamais atteint le littoral. À l'embouchure, les limons sont exportés au large, les sables transitent vers les plages proches. Le recul du littoral et de l'embouchure depuis 150 ans n'est lié que partiellement à la réduction des flux sédimentaires (voir question 12 : « Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ? »).



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 2 : Le fonctionnement du fleuve
Chapitre 3 : Les aménagements du Rhône

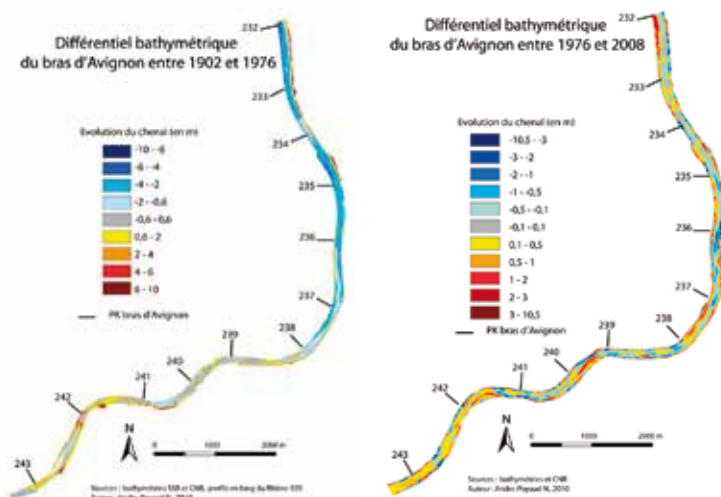


Fig. 2 - Évolution du RCC d'Avignon avant/après le barrage CNR (1976). Avant 1976, le modeste transit sédimentaire vers l'aval alimente un stockage temporaire près d'Avignon ; après 1976, ces déplacements sont fortement ralentis. © N. André-Poyaud, UMR 5600

À retenir

Depuis 150 ans, les transformations du bassin versant et les aménagements sur les affluents et le Rhône ont fortement réduit les flux sédimentaires. Les ouvrages Girardon ont stocké les sédiments fins sur les marges alluviales et contraignent le chenal à s'approfondir. Les ouvrages CNR ont segmenté le transit sédimentaire depuis 40 ans, sans interruption notable du flux. Les retenues CNR sont globalement stables, remobilisant lors des grandes crues (1993, 2002 et 2003) les sédiments déposés pendant les plus petites.

LEXIQUE

RTM : service départemental de la Restauration des Terrains en Montagne.

Pavage : formation d'une couche de surface grossière résistante à l'érosion.

Quels sont les aménagements du Rhône aval et du delta et leur impact sur le fonctionnement naturel ?

Mireille Provansal, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

Les digues de protection contre les inondations et la mer

Des aménagements sont connus à l'époque romaine en Arles et dans le delta, et des digues de terre sur les berges (levées) sont érigées dès le Moyen-Âge. Souvent détruites lors des fortes crues, elles sont connectées, rehaussées



Photo 1 – Digue du Petit Rhône. L'accumulation sédimentaire dans le ségonnal étroit a réduit la revanche de l'ouvrage et accru le risque de débordement (ou de brèche) : ici lors de la crue de novembre 2002. © M. Provansal

et réputées insubmersibles à partir de 1860. Ces digues isolent des ségonnaux*, dont la largeur varie de quelques kilomètres à une dizaine de mètres. Ces espaces, seuls submergés lors des crues, piègent les apports sédimentaires fins. Leur exhaussement induit l'évolution des forêts rivulaires vers des boisements de bois durs et réduit progressivement la revanche* des digues (photo 1) sur les 2 bras deltaïques. Désormais privée d'apports sédimentaires lors des crues, la plaine deltaïque est menacée par l'élévation du niveau marin. Sur les digues, les prises d'eau pour les pompes agricoles, les terriers et les racines favorisent l'apparition de brèches dangereuses lors des fortes crues.

En basse Camargue, la digue à la mer est

édifiée en 1859 pour limiter les entrées d'eau salée. Elle s'est avérée inefficace de ce point de vue. Cet ouvrage est atteint localement par le recul du trait de côte, auquel il n'offre pas de résistance suffisante. Seul le secteur de La Palissade en rive droite de l'embouchure présente aujourd'hui un fonctionnement naturel, sans endiguement fluvial ou marin.

Les aménagements du chenal pour les besoins de la navigation

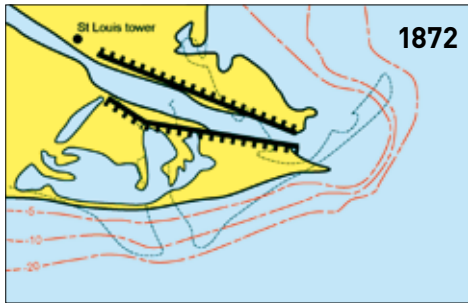
Comme sur le Rhône amont, différents ouvrages sont édiés de 1870 à 1930 afin de concentrer le flux dans un chenal unique et favoriser l'auto-creusement du lit : fermeture des bras secondaires par des seuils et des digues, rectification du tracé par les casiers Girardon, stabilisation des berges par des batteries d'épis, des perrés* ou des digues longitudinales. Ils favorisent l'érosion du plancher alluvial et déstabilisent localement le pied des digues (photo 2). Ils provoquent l'accumulation de sédiments fins dans les



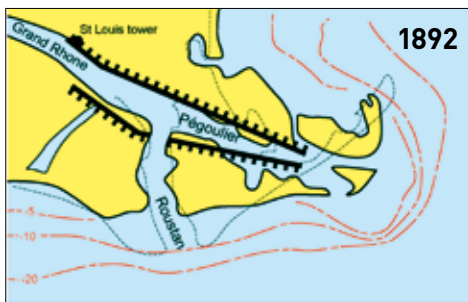
Photo 2 – Enrochement de berge effondré par sapement, crue de Novembre 2002. © M. Provansal



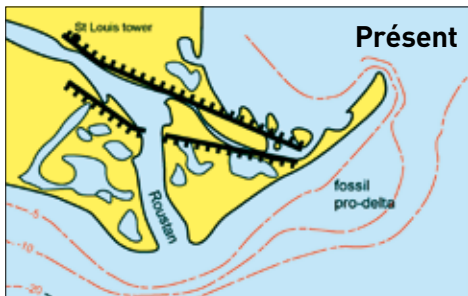
1842



1872



1892



Présent

Fig. 1 – Historique des endiguements successifs de l’embouchure du Grand Rhône.
© G. Maillat, 2005

bras barrés et les casiers : le colmatage des ouvrages est achevé dès le début du xx^e siècle sur le Grand Rhône, formant des marges alluviales, mais plus tardif en amont d’Arles, où les casiers les plus larges (casiers Saxy) ne sont pas encore comblés. Du fait de ces décalages chronologiques, les teneurs en contaminants sont très disparates d’un site à l’autre. L’aménagement des 3 embouchures initiales du Grand Rhône a été rendu nécessaire par les nombreux bancs et hauts fonds qui entravaient la navigation. Avec la fermeture du grau* de Piémanson en 1853, puis du grau de Pégoulie en 1892, toutes les eaux sont concentrées dans le bras de Roustan (fig. 1). Mais la persistance d’une barre et de bancs mobiles a nécessité de creuser le canal de Port Saint-Louis pour l’entrée des navires dans le fleuve.

Le Petit Rhône a été ouvert à la navigation des péniches jusqu’à l’écluse de Saint-Gilles vers 1970. Des panneaux de fond y concentrent le flux et favorisent l’incision naturelle du chenal, mais induisent des colmatages latéraux en pied de berges.

Les aménagements hydroélectriques

Le Rhône aval comporte 4 aménagements hydroélectriques CNR (Pierrelatte, Caderousse, Avignon, Vallabrègues), dans lesquels un canal usinier recoupe un Vieux Rhône ou Rhône court-circuité (RCC). Les longueurs et débits réservés dans ces RCC sont très variables et peuvent favoriser localement des accumulations temporaires sur les marges. Les 100 derniers kilomètres du fleuve ne sont pas équipés.

Entretien et dragage du fleuve

L’aménagement hydroélectrique de la Durance et les prélèvements de granulats dans les lits des affluents méditerranéens (Aygues, Durance et Gardon) ont réduit de façon considérable les apports sédimentaires

au Rhône aval et au delta. La CNR réalise localement les dragages indispensables au maintien de la ligne d’eau pour la navigation, et à la protection des riverains. La généralisation des dragages ne peut cependant pas être un remède contre le risque d’inondation, car elle entraînerait une érosion régressive et un déséquilibre global du chenal, dangereux pour la stabilité des ouvrages (digues, ponts).

LEXIQUE

Ségonnaux : espace entre le fleuve et la digue.

Revanche d’une digue : hauteur de la digue au-dessus du niveau de l’eau en crue.

Perré : mur incliné, en pierres maçonnées ou non.

Grau : passage naturel entre un fleuve ou une lagune et la mer.

À retenir

Le Rhône aval et le delta ont fait l’objet d’aménagements successifs pour se protéger contre les inondations et la mer, pour les besoins de la navigation et de l’hydroélectricité. Ceux-ci ont modifié le transport sédimentaire du fleuve et plus généralement le fonctionnement du Rhône.

Pourquoi gérer les marges alluviales ?

Pauline Gaydou, UMR 5600 – Sylvain Reynaud, CNR – Nicolas Viaud, DREAL Rhône-Alpes – Evelyne Franquet, Aix-Marseille Université, IMBE – Jean-Paul Bravard, UMR 5600

Sur les marges alluviales, correspondant à l'ancienne bande de tressage*, les aménagements (digues, casiers Girardon, voies de communication en remblai) ont modifié les conditions d'inondation et favorisé le stockage des sédiments. Ceux-ci sont principalement sableux jusqu'à la confluence de la Cèze, puis limoneux à l'aval.

La sédimentation des marges alluviales induit plusieurs types d'impacts

Les casiers Girardon limitent les déplacements latéraux des organismes aquatiques. Certaines espèces piscicoles ne peuvent plus accéder à leur site de reproduction et de nurserie. Le nombre de refuges est réduit lors des crues. La sédimentation accélérée y entraîne une homogénéisation des substrats et des faciès, qui réduit la diversité des biocénoses aquatiques en particulier des invertébrés. À plus long terme, la ripisylve*, déconnectée de la nappe phréatique, tend à dépérir.

L'incision du fleuve et l'exhaussement sédimentaire entraînent des inondations moins fréquentes lors des crues moyennes. Mais, lors des événements extrêmes, les lignes d'eau sont exhaussées du fait de la diminution de la section d'écoulement. Cet effet est préjudiciable pour les activités (agriculture, réseaux, industries) et les habitats implantés sur les terres « gagnées » sur le fleuve, où le ressuyage est plus long du fait du piégeage des eaux débordantes.

Pourquoi gérer les marges alluviales ? (fig. 1)

Lors des crues, la plupart des marges alluviales continuent de piéger des sédiments. Les volets « Inondations » et « Qualité des eaux, ressource et biodiversité » du Plan Rhône ont l'objectif d'une meilleure gestion sédimentaire, en redonnant un espace de mobilité plus important au fleuve : une des propositions est de démanteler partiellement ou totalement certains aménagements Girardon. Un schéma directeur global sur l'ensemble des tronçons court-circuités du Rhône encadre ce projet.

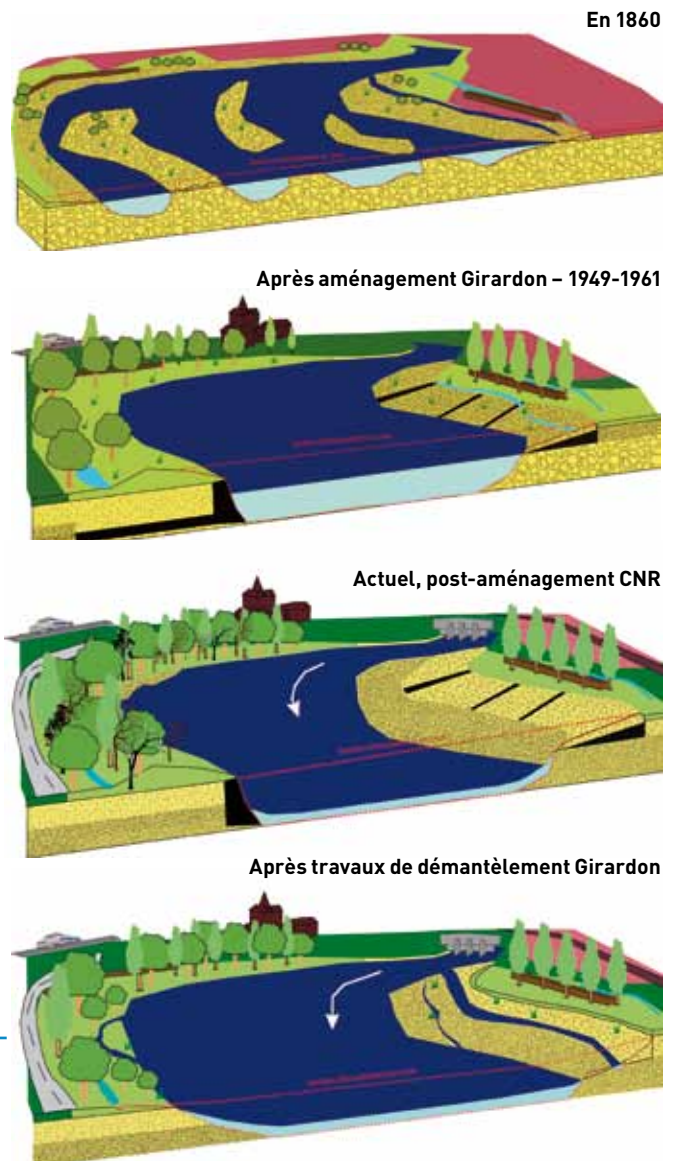


Fig. 1 – Vue en plan des casiers de l'île de Malaubert, du Radelier et du Pin, et de l'île Dion situés respectivement entre les PK 178-179, 180-181, 182-183 en rive gauche montrant le stockage progressif des sédiments dans les marges alluviales entre 1860 et 2009. © P. Gaydou

La redynamisation des marges alluviales en rive gauche du Vieux Rhône de Donzère Mondragon au droit du pont de Pont-Saint-Esprit

Suite aux crues de 2002-2003, une solution durable à la sollicitation récurrente de la berge en rive gauche est recherchée pour favoriser les conditions d'inondation par l'aval et limiter l'érosion des digues, conduire à des déversements vers d'anciennes lônes*, préalablement réhabilitées dans le cadre du projet, et améliorer les écoulements sous le vieux pont de Pont-Saint-Esprit.

L'opération repose sur le démantèlement de 17 épis Girardon, l'arasement de la digue et la création de deux chenaux dans les bancs de galets afin d'amorcer la reprise des sédiments en berge.

Suite au démantèlement des épis, le suivi réalisé par la CNR après 1,5 an de fonctionnement montre que le pied de berge à l'amont du pont s'est localement enfoncé de plusieurs centimètres et que la recolonisation par la végétation aquatique est rapide ; la berge, à l'aval du pont, a reculé de 2 m sur un linéaire de 160 m et une surface de 3200 m², libérant un volume de 5300 m³. Une dynamique sédimentaire réapparaît donc dès le passage d'une crue annuelle (photo 1).



Photo 1 – Dépôt de sédiments formant la marge alluviale. Ces sédiments sont remobilisés progressivement au rythme des crues. © CNR

Les bénéfices potentiels et les risques

Le démantèlement des ouvrages permet un élargissement du lit et une érosion des marges alluviales. L'efficacité de la méthode dépend de l'hydrologie actuelle et future du Rhône et de la force tractrice critique, qui peut être insuffisante dans certains secteurs. Si la concentration de PCB, HAP et métaux lourds dans les sédiments est supérieure aux normes fixées par la réglementation, les sédiments ne peuvent pas être remobilisés. Ces travaux permettront de réduire la sollicitation des ouvrages de protection et les niveaux d'eau lors des crues, de limiter l'enveloppe de la zone inondée et de favoriser le ressuyage post-crue, de redonner aux riverains une culture du fleuve en le faisant réapparaître au quotidien dans le paysage.

D'un point de vue écologique, ils détruiront partiellement la forêt alluviale existante, parfois remarquable, et l'avifaune associée. Mais la réhabilitation des annexes et l'augmentation de la diversité d'habitats dans la plaine alluviale devraient être favorables à la biodiversité des milieux aquatiques.

LEXIQUE

Bande active de tressage : ancien espace de divagation naturelle du fleuve.

Ripisylve : forêt riveraine.

Lônes : anciens bras secondaires recoupés ou déconnectés, correspondant à des écosystèmes d'eaux calmes.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 2 : Le fonctionnement du fleuve
Chapitre 3 : Les aménagements du Rhône
Chapitre 9 : Le patrimoine naturel

À retenir

La gestion des marges alluviales par le démantèlement des aménagements Girardon constitue un levier d'action pour lutter contre l'aggravation des niveaux d'eau en crue, fournir des sédiments au fleuve et favoriser de nouveaux types d'écosystèmes alluviaux.

Quelle gestion des crues dans le territoire du Rhône aval ?

Pascal Billy, DREAL Rhône-Alpes – Thibaut Mallet, SYMADREM

La gestion historique

La protection contre les inondations sur ce territoire s'est faite par des endiguements successifs du lit du Rhône. Suite aux grandes crues du XIX^e siècle, cette politique s'est appliquée prioritairement à la protection des villes et à la gestion des écoulements dans le delta de la Camargue. Les endiguements y ont fixé les lits du Rhône et supprimé les débordements des crues fréquentes, limitant ainsi les apports de sédiments qui ont été à l'origine de la construction du delta (voir question 5 : «Quels sont les aménagements du Rhône aval et du delta et leur impact sur le fonctionnement naturel ?»).

La préoccupation au XIX^e siècle en matière de sédiments était l'abondance excessive du transit sédimentaire lié à l'hydrologie du «Petit Âge Glaciaire» (XIV^e au XIX^e siècle) et au déboisement des versants montagneux. En témoignent les aménagements dits «Girardon» faits pour la navigation avec objectif de fixer le lit, concentrer les débits et inciser le chenal navigable (voir question 6 : «Pourquoi gérer les marges alluviales ?»). Les endiguements proches du chenal ont induit des incisions, qui déstabilisent localement les digues (fig. 1).

Désormais, les apports sédimentaires sont réduits et le transit global sur le Rhône fournit une quantité relativement faible de matériaux au delta.

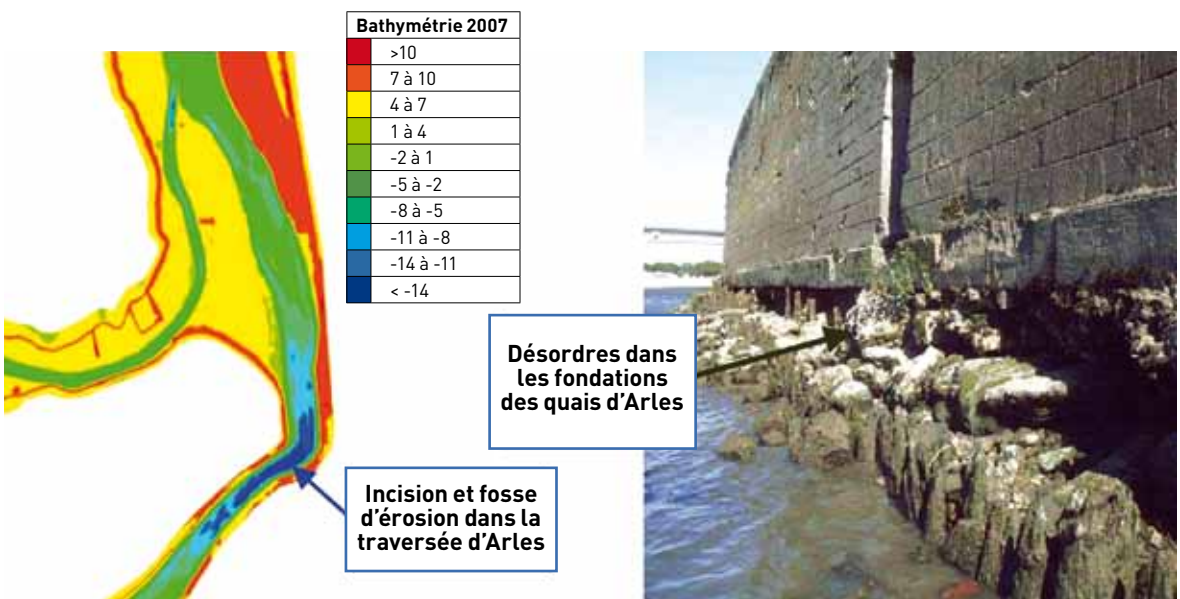
Le schéma de gestion après 2003

Aujourd'hui, le mode d'aménagement et de gestion mis en œuvre dans le Plan Rhône consiste à renforcer la sécurité des ouvrages de protection qui ont montré leurs limites lors des crues récentes.

Sur le linéaire concerné par les aménagements hydroélectriques de la CNR, les opérations sur les dispositifs de protection portent sur des aménagements ponctuels (plaine de Donzère-Mondragon, île de la Barthelasse...).

Le programme de sécurisation des digues conduit par le SYMADREM en aval du barrage de Vallabrègues consiste à reprendre la géométrie et la structure des digues en sécurisant les déversements pour les crues importantes qui ne peuvent pas être contenues à l'intérieur des digues et à décorseter le Petit Rhône. Ce programme opérant uniquement pour les crues fortes ne comporte pas d'objectifs de gestion des sédiments. Les conditions de transit ne sont pas influencées par ces opérations de renforcement des digues.

Fig. 1 – Bathymétrie en traversée d'Arles (sur la gauche) et fondations du quai de la roquette avant intervention (sur la droite).
© SYMADREM : Programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône du barrage de Vallabrègues à la mer.



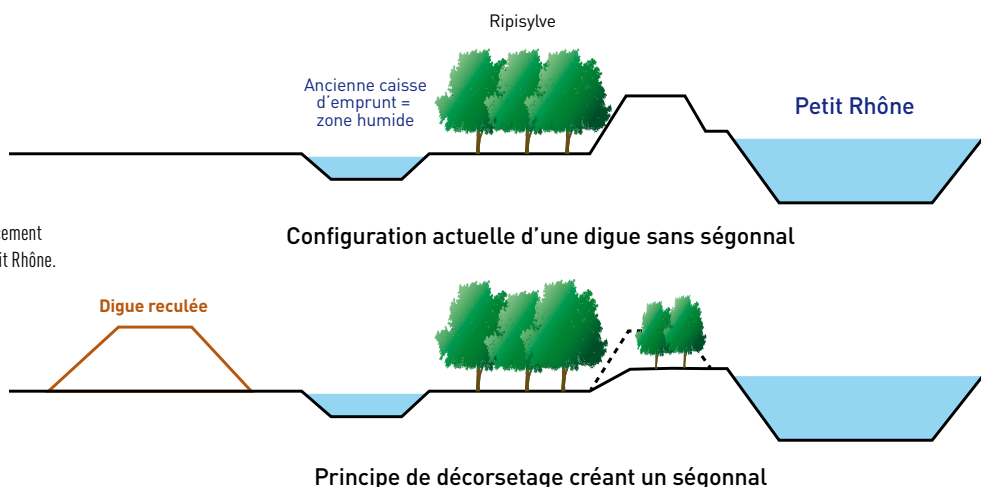


Fig. 2 – Étude de renforcement et de décorsetage du Petit Rhône.
© SYMADREM

Le contexte réglementaire

La gestion sédimentaire du Rhône s'inscrit dans un cadre national qui proscriit les extractions de matériaux de carrière commercialisables dans le lit mineur des cours d'eau (arrêté ministériel du 22 septembre 1994) et encadre fortement les dragages d'entretien pour maintenir l'équilibre des cours d'eau. Sur le Rhône, les dragages ont donc pour but de maintenir le chenal navigable et de contrôler les lignes d'eau de crue, conformément au cahier des charges de la CNR. Quelques opérations d'extractions spécifiques peuvent être réalisées pour annuler des impacts générés par la construction ou la modification d'ouvrages autorisés.

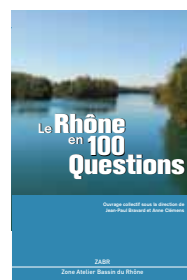
Que doit-on attendre du décorsetage ?

Les digues du Rhône en Camargue ont été construites sur les bourrelets alluviaux plus ou moins éloignés des berges. L'espace de quelques dizaines à plus de 100 m compris entre les berges et les digues est appelé ségonnal.

Le décorsetage envisagé dans le programme de confortement des digues reste contraint par les implantations historiques à proximité du Rhône (exploitations agricoles) et la présence de zones humides sensibles correspondant en majorité aux anciennes caisses d'emprunt. Le décorsetage limité prévu dans le cadre du Plan Rhône consiste à reculer les digues existantes, principalement sur le Petit Rhône, pour reconstituer un ségonnal quand l'érosion a rapproché la berge du pied de la digue (fig. 2). Dans ce cas, la stabilité de la digue ne peut être rétablie qu'avec des travaux très lourds sur la berge et dans le lit. Le décorsetage limité pourrait avoir une incidence sur le transit sédimentaire en augmentant la surface du ségonnal submergé par les crues fréquentes et en stockant une partie des matériaux en mouvement lors des crues.

Les embouchures du Grand Rhône et du Petit Rhône sont des points particuliers où le niveau de la mer freine les écoulements sur une distance de plusieurs kilomètres en amont et y permet un dépôt plus facile des sédiments. Leur reprise interviendra plutôt lors des crues fortes qui apporteront l'énergie nécessaire (voir question 12 : « Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ? »).

Les principes de sécurisation des digues en Camargue prévoient des débordements contrôlés en lit majeur uniquement pour des périodes de retour de crues approximativement de 100 (sur le Rhône) et 50 ans (sur le Petit Rhône). Les apports sédimentaires n'interviendront donc que lors des événements rares de crues débordantes.



Pour plus d'information,
Le Rhône en 100 Questions,
Chapitre 5 : Les crues et
inondations du Rhône

À retenir

Après la forte crue de 2003, le Plan Rhône et le schéma de gestion du Rhône aval ont permis la mise en œuvre d'opérations destinées à limiter les inondations : digues résistantes à la surverse entre Beaucaire et Arles, décorsetage limité du Petit Rhône dans le delta. La politique de gestion mise en place dans les années 1990 vise à limiter les dragages et les extractions de matériaux valorisables afin de restaurer l'équilibre des cours d'eau.

Quelles ont été les causes et conséquences sociétales et réglementaires des ruptures des digues de Camargue en 1993, 1994 et 2003 ?

Bernard Picon, CNRS

Les inondations et les ruptures de digues d'octobre 1993 et de janvier 1994, en précipitant les eaux du Rhône dans l'île de Camargue, ont révélé trois décalages réglementaires, sociaux et symboliques qui peuvent être considérés comme des facteurs aggravants de la crise (photos 1 et 2).

Sur le plan réglementaire, le règlement de gestion des digues datant de 1883 faisait toujours force de loi et était complètement inapplicable dans un contexte socio-économique en mutation rapide. La Camargue n'était plus seulement une île agricole mais un milieu complexe fait d'intérêts agricoles, saliniers, résidentiels, touristiques et de protection de la Nature. Dans ce contexte, le système censitaire privé et agricole de gestion des digues ne fonctionnait plus depuis longtemps et leur état de délabrement, pointé par le rapport Dambre, en résultait.

Sur le plan social, cette inondation a eu pour conséquence de noyer des lotissements habités par des populations modestes qui, mobilisées au sein d'une «association de sinistrés», devenue ultérieurement «association des camarguais», a dénoncé le système de gestion en réactivant une sorte de symbolique de lutte des classes puisqu'ils étaient exclus de l'entretien des digues, qui incombait principalement aux grands propriétaires fonciers. Ils ont alors revendiqué une gestion publique des digues du Rhône via un «syndicat mixte» qui fût acceptée par toutes les parties prenantes comme la bonne solution.

Sur le plan symbolique. De «milieu naturel menacé de risques humains», la Camargue a basculé dans la représentation d'un milieu humain menacé de risques naturels.

La production symbolique d'un espace naturel avait gommé la réalité d'un polder agricole et salinier à risque. Il ne faut pas oublier que le centre du delta est à moins un mètre cinquante au-dessous du niveau de la mer et que les bourrelets alluviaux placent le Rhône au-dessus de la plaine.

La réponse gestionnaire à la double catastrophe de 1993-1994 a été la constitution d'un syndicat mixte de gestion des digues d'abord appelé SIDRHEMER en 1997 puis SYMADREM en 1999, quand la région PACA et le conseil général des Bouches-du-Rhône ont rejoint le syndicat.

La compétence du SYMADREM portait sur la seule protection de l'île de Camargue (rive droite du Grand Rhône, rive gauche du Petit Rhône et digue à la mer). Le mythe territorial conforté par un Parc Naturel Régional restait vivace.



Photo 1 – Petite Argence.
© F. Eyrolle, IRSN



Photo 2 – La brèche de Petite Argence. ©SYMADREM

En décembre 2003, une nouvelle inondation met à mal ce nouveau dispositif de protection par rapport aux crues mais aussi l'exceptionnalité camarguaise.

L'inondation, comme par un fait exprès, contourne très précisément le territoire du Parc Naturel Régional. Elle inonde les 6000 habitants de la plaine du Trebon au nord d'Arles et des milliers d'hectares en Camargue gardoise. Les brèches (dans le remblai SNCF de la voie ferrée Tarascon Arles censée faire digue, et dans la digue

de la rive droite du Rhône) se trouvent hors du périmètre de gestion du SYMADREM. Ce constat fait à nouveau voler en éclats un dispositif pourtant vieux de moins de dix ans.

S'il justifie le rôle du SYMADREM (aucune brèche ne s'est déclarée sur son périmètre de compétence), concernant les risques, il remet en cause définitivement la sanctuarisation de la seule île de Camargue qui avait présidé au périmètre dévolu au SYMADREM. Le delta, sur le plan géomorphologique, est bien plus étendu que le territoire du Parc de Camargue. Il commence au sud d'Avignon et il s'étend à l'ouest et à l'est de l'île.

La réponse gestionnaire a été rapide et les compétences du SYMADREM ont été étendues jusqu'à Beaucaire au nord et à la rive droite du Petit Rhône. Il aura fallu trois catastrophes pour comprendre que le fleuve se désintéresse des segmentations symboliques des territoires.

Sur le plan social, le même constat a finalement émergé et les sinistrés, pour assurer leur défense et pour devenir partie prenante d'une gestion globale des inondations, ont créé une «confédération des riverains du Rhône». Dans la même logique de globalisation, en 2003, est nommé un préfet coordonnateur de bassin qui a pour mission de mettre en place «une stratégie globale de réduction des risques d'inondation du Rhône et de ses affluents».

Pour aller jusqu'au bout de cette tentative de globalisation, un «Plan Rhône», sur le modèle du «Plan Loire» déjà existant, voit le jour en 2005. Ce «Plan Rhône» (photo 3) associe la question des inondations avec celle de la qualité des eaux, des transports, de l'énergie, du tourisme et de la culture.



Photo 3 – Rencontres du Plan Rhône à Avignon le 21 novembre 2011.
© L. Vella

À retenir

Suite aux catastrophes de 1993, 1994 et 2003, les gestionnaires, en négociation avec les acteurs sociaux du Rhône aval, ont répondu, d'inondation en inondation, par des remises en cause symboliques et règlementaires et par des tentatives administratives, techniques, territoriales qui s'imposaient dans le sens d'une plus grande cohésion.

Quelles relations entre la mer, les nappes souterraines et les eaux de surface dans le delta du Rhône ?

Christine Vallet-Coulomb et Olivier Radakovitch, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

L'eau partout présente en Camargue provient soit de la mer, soit des précipitations, soit de son fleuve. Depuis l'endigement du Rhône, ce sont essentiellement les canaux d'irrigation et de drainage qui déterminent la distribution de l'eau du fleuve à travers son delta (photo 1).

Les eaux continentales souterraines et en surface

L'île de Camargue reçoit à la fois des eaux de pluie (470 millions de m³/an en moyenne) et des eaux d'irrigation issues du Rhône (296 et 362 millions de m³/an pour 1996 et 1993, Fondation Sansouire). En surface, le système lagunaire du Vaccarès est le réceptacle principal des flux hydriques de la zone (photo 2).

Dans le sous-sol, on distingue deux types de nappes (fig. 1). Les sédiments récents du Rhône se trouvent sur une épaisseur variant de quelques mètres vers Arles jusqu'à environ 50 m vers le littoral et abritent des nappes plus ou moins connectées et de salinité très variable : douce, salée et même sursalée (jusqu'à 110 g/l, la mer étant à 38 g/l). Au-dessous, une formation de cailloutis grossiers abrite une nappe captive (séparée de la surface par une couche imperméable), dont la salinité augmente progressivement en direction de la mer depuis des eaux presque douces (≈ 2 g/l au nord) à des eaux de composition marine au sud.

Les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Les échanges d'eau entre la surface et le sous-sol sont complexes et se produisent soit par infiltration d'eau, soit par remontées artésiennes (sous pression). En fonction de l'occupation du sol, les eaux qui s'infiltrent proviennent de l'irrigation des rizières ou de la pluie dans les zones naturelles. Les remontées d'eau vers la surface se produisent quand la pression de l'eau souterraine le permet. On observe ce phénomène là où la topographie est légèrement plus basse, par exemple en bordure nord du Vaccarès où se trouve un forage artésien, mais il est le plus souvent invisible et difficile à quantifier. Ainsi, les étangs de Camargue, et de Vaccarès en particulier, reçoivent une quantité importante d'eau souterraine, estimée à environ un quart des apports de surface.

Fig. 1 – Représentation schématique des échanges d'eau entre les différents hydrosystèmes de Camargue et la mer. © O. Radakovitch et C. Vallet-Coulomb

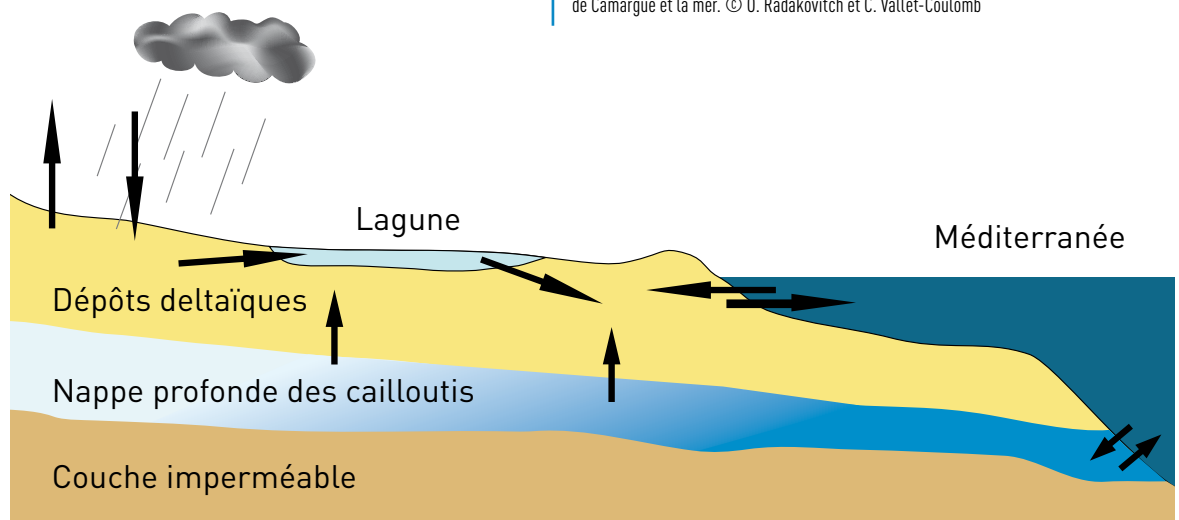




Photo 1 – Canal d'irrigation en Camargue. © C. Vallet-Coulomb

Les relations entre les eaux de surface et la mer

Les échanges d'eau sont contrôlés par un système de vannes et pertuis qui relie les étangs à la mer à travers la « Digue à la mer ». Sur la période 1994-2010, les volumes d'eau moyens échangés au niveau du pertuis de la Fourcade sont d'environ 11 millions de m³/an d'entrée marine et 20 millions de m³/an de sortie vers la mer.

Malgré ce système, de grandes variations

interannuelles se produisent. En effet, les flux restent dépendants des différences de niveau d'eau de part et d'autre, qui eux dépendent des facteurs environnementaux « internes » (apports d'eau par l'irrigation des rizières) et « externes » : les précipitations et le vent qui influencent le niveau d'eau des étangs, ainsi que les variations du niveau de la mer. Ces variations se produisent à court terme en fonction de la marée et des conditions météorologiques, avec notamment les phénomènes de surcotes marines, et à long terme en relation avec la remontée du niveau de la mer (1 à 7,5 mm/an – voir question 17 : « Changement climatique et surcotes marines, quel avenir pour les plages camarguaises? »).



Photo 2 – L'étang de Vaccarès. © C. Vallet-Coulomb

Les relations entre les eaux souterraines et la mer

Il existe une continuité des formations géologiques de part et d'autre du trait de côte permettant des échanges d'eau entre les eaux souterraines et la mer (fig. 1). Les différences de niveau entre la mer et les nappes régissent la direction et l'intensité des flux d'eau. Le bilan de ces flux se produit majoritairement en direction de la mer. Mais il existe néanmoins une intrusion saline, qui explique la salinité plus élevée des eaux de la nappe captive le long de la côte. L'augmentation progressive du niveau de la mer favorise l'intrusion de l'eau de mer dans les terres, ce qui entraînera à plus ou moins long terme une accentuation de la salinisation des eaux.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 8 : Les eaux souterraines

À retenir

Des échanges d'eau entre mer, eau de surface et eau souterraine déterminent les conditions de salinité dans les hydrosystèmes continentaux. Les flux sont très variables, difficiles à estimer, et à maîtriser. Malgré une volonté de contrôle par l'homme, ces échanges d'eau restent dépendants des niveaux d'eau respectifs de différents réservoirs, qui eux-mêmes dépendent de facteurs environnementaux « externes » comme le climat et le niveau de la mer, mais également des activités agricoles pratiquées dans la région.

Les pesticides en Camargue, origine, diffusion et conséquences ?

Hélène Roche, CNRS-Université Paris Sud XI – Eric Coulet, Réserve Naturelle Nationale de Camargue

Les pesticides contrôlent les ravageurs des cultures, les organismes indésirables et les agents vecteurs de maladies.

Qui sont-ils ?

Ce sont des produits chimiques minéraux ou organiques de synthèse et des substances biologiques. Commercialisés, ils peuvent renfermer des molécules actives et des adjuvants permettant d'améliorer leurs propriétés physiques. En Camargue, on estime que plus de 50% des pesticides retrouvés dans les lagunes sont des herbicides utilisés en riziculture. Ils ont généralement une grande spécificité et leurs substances actives agissent rapidement. Leurs résidus, qui peuvent présenter des caractères accrus de persistance et de toxicité, se retrouvent dans le milieu naturel et atteignent des espèces non-cibles.

D'où viennent-ils ?

Le delta du Rhône est l'unique région rizicole de France métropolitaine. Cette activité consommatrice de produits phytosanitaires, nécessite de gros volumes d'eau dont une partie des rejets se déversent dans les zones humides (photo 1). L'irrigation des rizières par l'eau du fleuve, avec sa charge polluante, contribue à l'apport de pesticides en Camargue. À cette contamination peu contrôlable, il faut ajouter les dérives de brouillards de traitements des zones agricoles riveraines (céréaliculture, viticulture, maraîchage), les apports telluriques de substances actives par ruissellement ou lessivage (entretien des voiries, jardinage...) et les dépôts atmosphériques de substances semi-volatiles de sources plus lointaines. Les traitements de démoustication par des bio-pesticides complètent ce constat. Si les pesticides d'aujourd'hui sont conçus de manière à agir vite avec peu de matière active, il n'en a pas été de même dans les pratiques agricoles de la deuxième moitié du xx^e siècle. L'utilisation massive de substances organochlorées chimiquement très stables, comme le lindane et l'endosulfan (insecticides interdits en 1998 et en 2007), a laissé dans les sédiments des lagunes des résidus très persistants, dont certains contaminent encore les écosystèmes.

Les apports extérieurs

Le Rhône draine les rejets et les effluents de zones agricoles, industrielles et urbaines. Des molécules a priori non utilisées dans le delta sont ainsi abondamment retrouvées en Camargue, comme le diuron (interdit depuis 2002), l'atrazine (interdit depuis 2003) et leurs produits de dégradation ainsi que le glyphosate, herbicide dont on retrouve des molécules polluantes dans les zones humides (photos 2 et 3).

Photo 1 – Traitement phytosanitaire par hélicoptère dans les rizières.
© S. Befeld, SNPN Réserve Naturelle Nationale de Camargue



La démoustication

En réponse à une forte demande sociétale, la lutte contre les moustiques a été expérimentée en Camargue pendant 5 ans. L'agent utilisé est un insecticide biologique, le *Bacillus thurengiensis* (Bti). Le Bti est considéré comme très sélectif pour le contrôle des moustiques et d'une moindre toxicité. Les zones de traitement sont limitées (2300 hectares) et l'épandage est rigoureusement contrôlé. Néanmoins, les impacts sur la biodiversité sont suspectés.



Photo 2 – L'étang de Vaccarès est un écosystème protégé, au sein de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue depuis 1975, mais ses étangs servent de réceptacles aux canaux d'irrigation des zones agricoles riveraines. © Y. Chérain, SNPN Réserve Naturelle Nationale de Camargue

Les effets collatéraux

Quand les pesticides touchent des espèces non concernées ou sont épanchés en excès, ils contribuent à la dégradation de l'environnement. Ils passent alors de l'état de substances phytosanitaires à celui de polluants. En agissant sur certaines espèces (larves de diptères, herbiers de zostères), ils provoquent une rupture du réseau trophique et altèrent les habitats. Des études récentes montrent une diminution de populations d'oiseaux insectivores en lien avec la démoustication dans le delta. Certains pesticides s'accumulent dans les organismes, pouvant altérer les activités métaboliques et agir sur des fonctions vitales comme la reproduction. Ils peuvent être bio-amplifiés le long de la chaîne alimentaire (concentration plus élevée dans les tissus du prédateur que dans ceux de sa proie). Ainsi, les pesticides présentent un risque pour l'équilibre et la diversité spécifique de la faune aquatique, même temporaire.



Photo 3 – Des prélèvements sont réalisés pour évaluer la qualité de l'eau de l'étang de Vaccarès et détecter la présence de pesticides dans l'eau et les sédiments. © Y. Chérain, SNPN Réserve Naturelle Nationale de Camargue

LEXIQUE

Biote : ensemble de la faune et de la flore vivant dans une région donnée.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 4 : L'importance économique du fleuve

À retenir

Les pesticides sont des biocides dont le rôle est d'éliminer des organismes réputés dommageables aux activités humaines. Acteurs clés de la production agricole, de l'aménagement des paysages et de l'amélioration des conditions de vie, leur utilisation non raisonnée se traduit par la contamination durable ou temporaire des écosystèmes et du biote* contribuant potentiellement à l'érosion de la biodiversité.

Quel est le statut des eaux du Rhône aval ?

Régis Vianet, PNR de Camargue – Mathias Pibarot, SNRS

À qui appartient le Rhône aval ?

À son embouchure, les eaux du Rhône rencontrent celles de la Méditerranée. Deux domaines publics sont concernés : le domaine public fluvial (DPF) sur la partie continentale, le domaine public maritime (DPM) pour la zone marine. Les domaines publics sont principalement affectés au fond, c'est-à-dire aux berges et au lit du fleuve pour le Rhône, et aux plages et aux sols et sous-sols marins jusqu'à la limite des eaux territoriales des 12 milles pour la zone maritime.

La limite externe du DPF naturel coïncide avec la limite de débordement des eaux. La limite externe du DPM correspond au point où les plus hautes eaux marines peuvent s'étendre en dehors des tempêtes. Les deux domaines sont contigus dans les embouchures.

La frontière entre le DPF et le DPM n'est pas fixée aux débouchés du fleuve. Elle est au PK 324,500 sur le Grand Rhône et au PK 330,600 sur le Petit Rhône.

L'eau, qu'elle soit douce ou salée, fait partie du patrimoine commun de la nation.

Le domaine concédé à la CNR sur le Rhône et le Grand Rhône s'étend jusqu'aux limites du DPF depuis l'amont jusqu'au bac de Barcarin. À l'aval du bac, la concession CNR se limite au chenal navigable et la gestion du DPF est assurée par VNF. Il en est de même dans la traversée d'Arles.

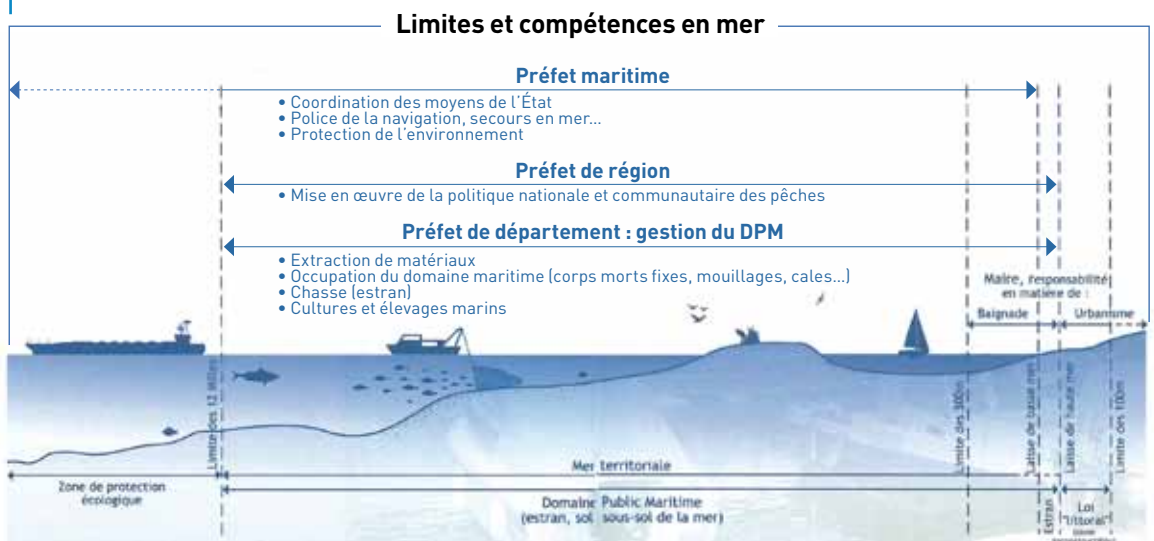
Qui gère les domaines publics fluvial et maritime ?

La gestion de l'occupation du DPF est assurée par la CNR* sur le domaine qui lui est concédé, et par VNF*. La gestion du DPM est sous la tutelle de la Préfecture du département pour la zone estuarienne et littorale du delta.

Quelles sont les compétences et limites des services et établissements sur le Rhône aval ?

La gestion de l'occupation du DPF est assurée par la CNR sur le domaine concédé, ou par VNF en dehors du domaine concédé. Réglementairement, les opérations de dragages relèvent soit de la police de l'eau, mission assurée sur le Rhône par la DREAL* Rhône-Alpes, soit du contrôle de la concession, mission assurée par les DREAL de région. La police de la navigation est assurée par le SNRS*. La police de la pêche est assurée par le SNRS jusqu'à la fin de l'année 2012. En 2013, cette mission sera assurée par les Directions Départementales des Territoires (et de la Mer).

Fig. 1 – © Sibille – *Courrier du Parc* n° 52/53



- * Points de cessation de salure des eaux (décret du 7/12/1912-GR et 19/11/1859-PR)
 - A Réglementation fluviale
 - 2 Domaine public fluvial
 - B Zone mixte pêche d'anguilles
 - C Réglementation maritime
 - 1 Domaine public maritime
- (Source : Sibille 1994)

Fig. 2 - La pêche : délimitations administratives de l'embouchure du Grand Rhône et du Petit Rhône. © Natura 2000 en Mer - Préfecture Maritime de Méditerranée



Sur le domaine public maritime (fig. 1), les compétences sont partagées entre les communes qui ont la responsabilité de la maîtrise de l'urbanisme littoral et de la sécurité des activités de baignade dans la frange côtière des 300 mètres, la Préfecture du département pour les dossiers d'occupation du domaine, d'extraction de matériaux, de chasse sur l'estran (zone située entre haute et basse mer) et de cultures et d'élevages marins, la Préfecture de Région pour la politique générale de la pêche, et la Préfecture maritime pour la coordination des moyens de l'État, les secours, la police de la navigation et la protection de l'environnement marin.

Quelles sont les délimitations administratives des usages ?

Le Rhône est navigable en aval de la diffluence d'Arles jusqu'à Port-Saint-Louis-du-Rhône. Sur le Petit Rhône, le chenal de navigation est entretenu jusqu'à l'écluse de Saint-Gilles située en sa rive droite.

Un permis mer permet de naviguer sur le Grand Rhône, de l'embouchure jusqu'au pont de Trinquetaille, et sur le Petit Rhône, depuis l'embouchure jusqu'au pont de Saint-Gilles. En amont de ces deux limites, le permis de navigation fluviale est nécessaire. Un permis de navigation fluviale permet également de naviguer jusqu'aux embouchures. Pour naviguer sur le Rhône, il est également nécessaire de s'acquitter de la vignette VNF. Pour la pratique de la pêche (fig. 2), les eaux du Rhône sont sous réglementation maritime jusqu'au niveau de l'écluse de Port-Saint-Louis-du-Rhône sur le Grand Rhône et jusqu'au Pont de Sylveréal sur le Petit Rhône, la réglementation fluviale s'appliquant dans le fleuve en amont de ces deux limites. Toutefois, les pêcheurs inscrits maritimes sont autorisés à pratiquer leur activité dans le fleuve jusqu'au Pont de Trinquetaille à Arles pour le Grand Rhône et au Pont de Saint-Gilles sur le Petit Rhône.

Règlement particulier de police du Rhône et de la Saône

Hauteur d'eau minimale garantie dans le chenal de navigation	Localisation
3 m	Rhône : de Lyon au port de commerce d'Arles
2,5 m	Petit Rhône, de la diffluence à l'écluse de Saint-Gilles

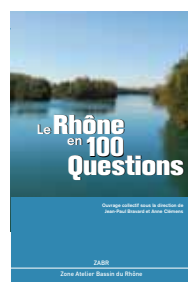
LEXIQUE

CNR : Compagnie Nationale du Rhône

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

SNRS : Service Navigation Rhône-Saône

VNF : Voies Navigables de France



Pour plus d'information, **Le Rhône en 100 Questions**, Chapitre 1 : Les gestionnaires du fleuve

À retenir

Le Rhône aval est à la fois concerné par la réglementation fluviale et maritime dont la limite de compétence territoriale varie entre le Rhône, le Grand et le Petit Rhône.

Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ?

François Sabatier et Mireille Provansal, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

La morphologie de l'embouchure

L'embouchure actuelle du Grand Rhône (embouchure de Roustan) écoule environ 80 à 90% du débit total du fleuve. Depuis 1892, elle est le seul exutoire du fleuve après que des travaux d'ingénierie aient fermé celles de la Palissade et de Pégoulie, situées respectivement à l'ouest et à l'est de l'embouchure actuelle. L'embouchure du Rhône est constituée de 3 ensembles géomorphologiques et sédimentaires (fig. 1).

- L'extrémité aval du chenal fluvial, caractérisé par une mouille* profonde (20 m environ). La pénétration des eaux marines salées denses forme un « coin salé », dont la position vers l'amont et l'épaisseur verticale varient en fonction du débit fluvial, de la hauteur de la mer et de l'action du Mistral sur les eaux de surface. Lors des crues, cette stratification disparaît.
- Au débouché du fleuve en mer, la morphologie sous-marine prend une forme lobée, correspondant à une zone peu profonde (moins de 5 m), où sédimentent les sables charriés à la base de la colonne d'eau. À son extrémité, les houles modèlent une barre (barre d'embouchure), plus ou moins haute et discontinue selon le contexte météorologique marin. Lors des crues, elle est interrompue par des ouvertures permettant l'écoulement des eaux et des sédiments du Rhône.
- La barre d'embouchure se déplace lentement sous l'effet des crues qui la « poussent » vers le large. Ce mouvement provoque un effondrement des sédiments situés sur la marge externe du lobe, qui alimente un talus frontal sous-marin. Ce talus, en pente forte (30 degrés), descend jusqu'à 40 m de profondeur environ. Il

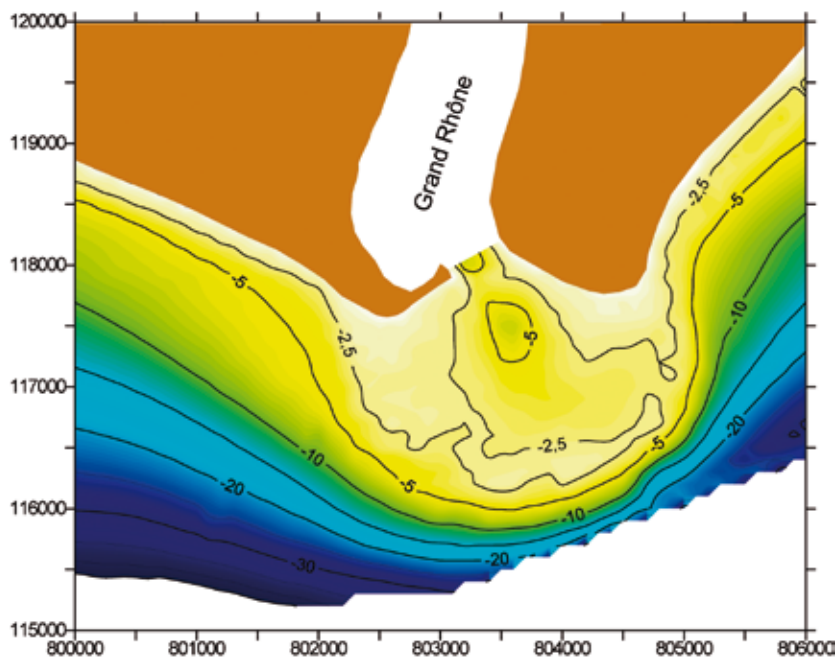


Fig. 1 – Morphologie de l'embouchure du Grand Rhône.
© F. Sabatier

est formé de sédiments plus fins (diamètre moyen inférieur à 63 microns) issus des apports en suspension. Les écroulements depuis la zone haute, lorsque celle-ci avance, et des glissements gravitaires (des traces d'arrachement ont été observées) témoignent de l'instabilité de cette forme, en particulier lors des crues.

Le bilan sédimentaire de l'embouchure et des plages limitrophes

Les dépôts de sédiments à l'embouchure, entre 0 et -20 m de profondeur environ, se réduisent depuis la fin du XIX^e siècle : évalués à 3 millions de m³/an entre 1895 et 1934, ils ne sont plus que de 530 000 m³/an entre 1995 et 2006, soit une diminution d'un facteur 5. Les sables représentent probablement 5 à 30% de ces volumes. Cette réduction est sensible dès la première partie du XX^e siècle, ce qui laisse supposer que les barrages (construits lors des années 1950 à 1970) ne jouent pas un rôle décisif dans l'érosion côtière actuelle ; celle-ci est due à un ensemble de facteurs décrits dans les questions 4 : « D'où proviennent et où vont les sédiments du Rhône aval ? Quel est l'impact des ouvrages sur leur transit ? », 6 : « Pourquoi gérer les marges alluviales ? », et 13 : « Comment se dessine la ligne du rivage ? ».

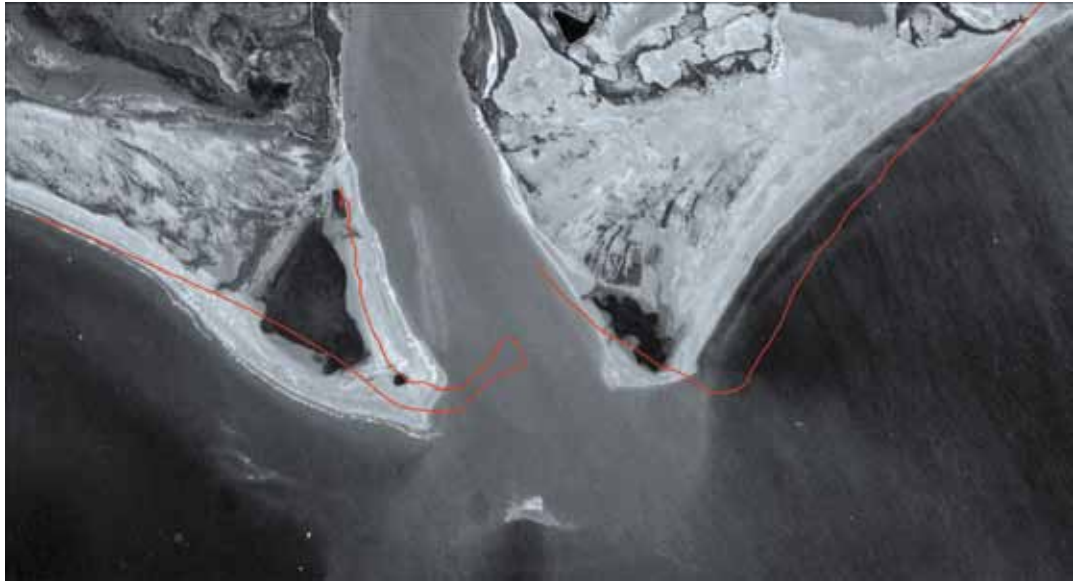


Photo 1 – Évolution de la morphologie de l’embouchure du Grand Rhône (en fond, photographie aérienne des années 1950, et en rouge, trait de côte en 2010 de la position du rivage). L’ouverture en mer se réduit, ce qui augmente la vitesse du courant qui sort du fleuve et expulse les sédiments.
© Fond photographique IGN, réalisation F. Sabatier

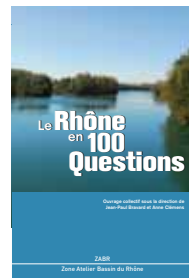
Morphologie et apports de sables de l’embouchure de Roustan (Grand Rhône)

La barre d’embouchure se prolonge latéralement de part et d’autre, pour se transformer en barre d’avant-côte devant les plages de Napoléon et de Piémanson. Ces transferts latéraux des sables restent encore mal connus : ils représenteraient moins de 5% des sédiments accumulés au sommet du lobe deltaïque.

Cette faible redistribution peut être attribuée à la confrontation entre l’énergie marine et l’énergie fluviale.

En effet, le courant longitudinal de dérive littorale, induit par l’obliquité des houles par rapport au rivage, est frontalement diminué, voire « bloqué » par l’énergie du flux rhodanien. L’énergie du « jet » fluvial est renforcée depuis 60 ans par la lente déformation de l’embouchure, dont la largeur est réduite par la progression d’une flèche sableuse en rive droite, sous l’effet de la dérive littorale dominante (photo 1).

Pour une crue identique, ce rétrécissement se traduit directement par une augmentation des vitesses d’écoulement du fleuve, qui « bloquent » les houles sur le prodelta, ce qui réduit la capacité de transport par la dérive littorale. Autrement dit, pour des crues et tempêtes de même force, les transferts latéraux vers les plages deviennent de plus en plus faibles du fait de l’évolution morphologique de l’embouchure.



Pour plus d’information,
Le Rhône en 100 Questions,
Chapitre 2 : Le fonctionnement
du fleuve

À retenir

Les sédiments qui parviennent à l’embouchure du Grand Rhône ont été réduits d’un facteur 5 depuis 100 ans. La redistribution de ces sables vers les plages limitrophes est très faible, car ils restent piégés dans le lobe deltaïque situé au débouché du fleuve et ils ne peuvent donc pas compenser l’érosion des plages du delta du Rhône.

LEXIQUE

Mouille : bas fond du fleuve. Elle s’oppose à un seuil formé par un haut fond.

Comment se dessine la ligne du rivage ?

François Sabatier, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Régis Vianet, PNR de Camargue – Frédéric Pons, CETE Méditerranée

La construction sédimentaire du delta et la mobilité du rivage

Le delta est une construction sédimentaire récente qui s'est manifestée par une avancée du trait de côte, de 10 à 20 km depuis 6000 ans. Cette avancée a pu se produire malgré la montée de la mer (1 à 2 mm/an) du fait des apports massifs en sédiments du Rhône et de leur redistribution le long des plages par les courants littoraux (dérive littorale). Le déplacement et/ou la multiplication des bouches du Rhône ont donc permis plusieurs avancées successives qui ont construit le delta et donné son nom au département.

Le rôle des embouchures dans l'édification des plages

Les mécanismes d'avancée du rivage au niveau des embouchures se résument ainsi. Lorsque les apports sédimentaires sont abondants, l'embouchure et les plages limitrophes avancent sur la mer. Si le cours du Rhône se déplace, à la faveur d'une crue par exemple, l'ancienne embouchure alors dépourvue de sédiments est attaquée par les vagues ; ce fut le cas des Saintes-Maries-de-la-Mer qui, lors de leur construction, se trouvaient à plus d'un kilomètre du rivage.

Le rivage des anciennes embouchures recule et les courants redistribuent les sables sur plusieurs kilomètres pour constituer de nouvelles plages.

Ce mécanisme a permis la construction de la Petite Camargue, des flèches sableuses de Beauduc, de l'Espiguette et de la Gracieuse (fig. 1). Les plages qui s'engraissent ne sont donc pas directement alimentées en sables par le Rhône (voir question 12 : « Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ? »). Elles sont engraisées par l'érosion des anciennes embouchures du fleuve.

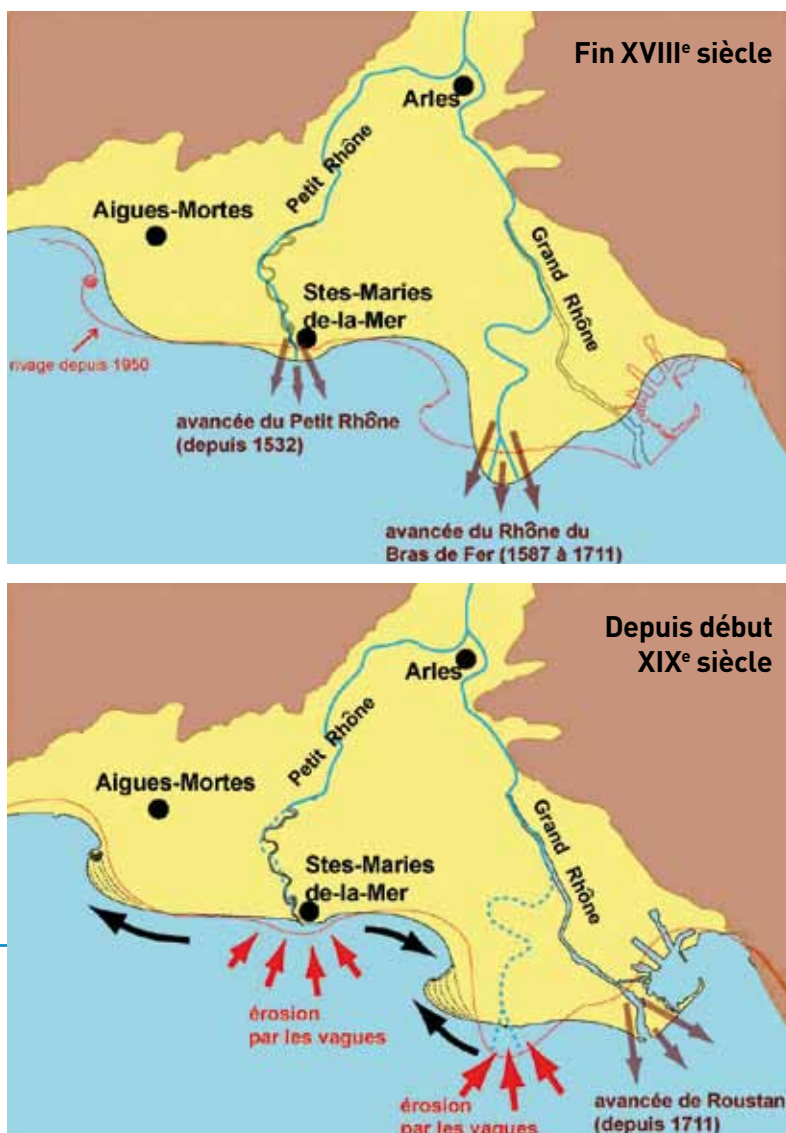


Fig. 1 – Évolution des embouchures et déplacement du rivage. © F. Sabatier et Suanez 2003

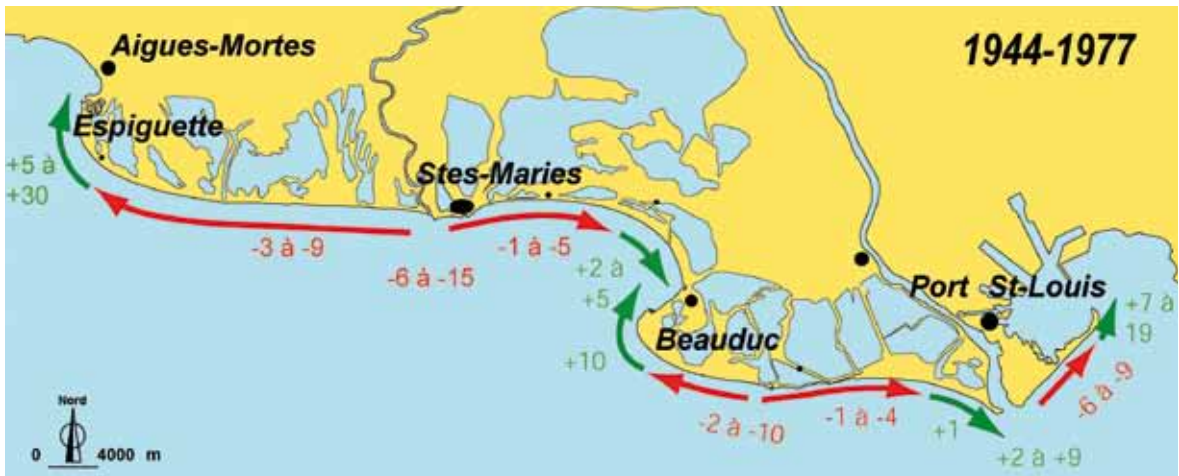


Fig. 2 - Variations du rivage (m/an) avant la construction des ouvrages et organisation en cellules littorales.
© F. Sabatier

L'organisation des zones en reculs et avancées

Les sables des plages en érosion sont déplacés par des courants parallèles au rivage et viennent s'accumuler dans les secteurs où le rivage avance localement. On assiste donc, non pas à un phénomène d'érosion généralisée des plages, mais plutôt à un déplacement latéral de celles-ci.

Cette dynamique, naturelle, témoigne de la grande mobilité des plages de Camargue qui demeure parmi les plus élevées au monde (jusqu'à -10 m/an et +30 m/an selon les secteurs). La connaissance des zones en accrétion et en érosion est utile aux gestionnaires pour leur permettre de prendre en compte les dynamiques naturelles dans les projets d'aménagements (fig. 2).

L'avenir des plages de Camargue

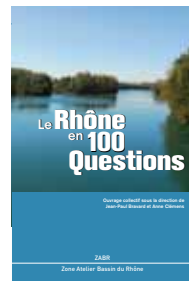
Le déplacement des plages s'effectue par la redistribution de stocks sédimentaires fossiles. Les apports sableux actuels du Rhône aux plages, hormis les secteurs adjacents à l'embouchure, représentent moins de 5% des apports sédimentaires du fleuve (voir question 12 : «Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône?»).

La majeure partie des sédiments apportés par le fleuve est stockée à l'embouchure mais n'alimente pas les plages du littoral. Si l'embouchure se déplaçait, les vagues pourraient attaquer l'ancienne embouchure et redistribuer les sables en direction d'autres plages.

Ce schéma naturel est compromis du fait de l'endiguement des bras du Rhône et de sa difficulté à changer de lit.

À cette situation s'ajoute la présence d'ouvrages côtiers qui modifient les dynamiques naturelles depuis bientôt 40 ans (voir question 16 : «Les ouvrages de protection actuels suffisent-ils à s'adapter à la mobilité du trait de côte?»). Ces éléments rendent difficile la prévision de la position du rivage. On peut cependant penser que les mouvements historiques du rivage vont se poursuivre.

L'accélération attendue de la montée de la mer pourra jouer un rôle d'accélérateur de l'érosion mais son importance n'est pas encore précisément déterminée.



Pour plus d'information,
Le Rhône en 100 Questions,
Chapitre 2 : Le fonctionnement
du fleuve

À retenir

Le littoral du delta du Rhône est naturellement très mobile et une situation d'équilibre de la ligne du rivage n'a jamais existé. Les zones en érosion sont d'anciennes embouchures dont les sables sont transportés le long des plages pour construire des flèches sableuses en accrétion. Compte tenu de la fixation du Rhône, de son embouchure et de la diminution des apports fluviaux, le fleuve ne joue plus son rôle de bâtisseur des plages de Camargue et les zones d'érosion et d'accrétion devraient donc rester identiques à l'avenir.

Quel est le fonctionnement naturel d'une plage du delta du Rhône ?

François Sabatier, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

Les plages de Camargue connaissent des modifications rapides sous l'effet des forçages météo-marins et de la pénurie des apports sableux des bras du Rhône (voir question 13 : « Comment se dessine la ligne du rivage ? »).

Les variations saisonnières et épisodiques de la morphologie des plages

Pendant les périodes de beau temps, lorsque la hauteur de houle est inférieure à 1 m environ, les vagues et les courants remontent des sables depuis les petits fonds (< 3 m) jusqu'au rivage. Ce déplacement sédimentaire se manifeste par l'avancée des barres d'avant-côte* vers le rivage et l'élargissement de la plage du fait de l'accumulation de sables dans la zone du jet de rive*. Généralement ce phénomène se produit pendant la période estivale mais il peut aussi s'établir durant l'hiver entre deux tempêtes.

Pendant les périodes de mauvais temps, la hauteur de houle dépasse largement 3 m (période de retour annuelle) et les vagues déferlent sur une bande de 100 à 400 m de large. Dans cette zone, de puissants courants transportent les sédiments depuis le rivage vers le large, ce qui rétrécit la plage et induit un éloignement des barres d'avant-côte. Sur la plage, le niveau d'eau, supérieur à celui durant les périodes de beau temps, atteint jusqu'à près de 2 m NGF* environ, ce qui induit une érosion ou une destruction des dunes. Entre deux événements tempétueux, la plage se reconstitue et tend à rétablir sa morphologie ante tempête. Cet enchaînement hivernal des phases d'érosion et de gains sédimentaires est spécifique aux plages de Méditerranée du Nord car de longues périodes de calme se produisent durant l'hiver (jusqu'à plusieurs semaines). Sur les secteurs en érosion chronique, la vitesse d'engraissement (<1 m/jour) étant significativement plus lente que celle liée aux processus érosifs de tempêtes (jusqu'à plus de 10 m/jour), le bilan sédimentaire reste négatif.



Photo 1 – Dépôts de débordement lors des tempêtes.
© Google Earth 2008

Comparativement aux plages à marée, le niveau d'eau atteint par la mer durant les tempêtes peut sembler dérisoire. Mais du fait de la pente réduite du profil de plage, de la faiblesse du cordon dunaire dans les zones en érosion (<2,5 m NGF ou inexistant) et des modestes altitudes de la plaine deltaïque, cette élévation subite et temporaire du niveau de la mer se traduit par des inondations marines de plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres lors des tempêtes les plus violentes (1982, 1997). Les sables érodés de la dune sont projetés en arrière (overwash) vers les zones basses, formant des cônes de débordement (photo 1).

Les dépôts varient généralement de 10 à 50 cm d'épaisseur sur quelques dizaines ou centaines de mètres à l'intérieur des terres. Malgré ces faibles volumes sédimentaires, ce processus naturel présente un intérêt majeur et trop souvent ignoré dans le maintien de la position du trait de côte et la lutte contre l'inondation marine à long terme. En projetant du sable dans les zones basses, les tempêtes participent à l'élévation topographique

des dépressions en arrière des plages (marais, lagunes).

À long terme, lorsque la mer s'élèvera, les actuelles zones basses seront comblées et la plage en recul viendra s'appuyer sur ces dépôts (voir question 17 : « Changement climatique et surcotes marines, quel avenir pour les plages camarguaises ? »).

La distribution des vents, peu favorable à la construction des dunes

Les vents susceptibles de construire des dunes sont particulièrement violents, mais opposés entre eux : le Mistral et la Tramontane proviennent du nord, les vents de tempêtes du sud à est. Les premiers sont des vents « secs » dont la capacité de transport sédimentaire est particulièrement élevée. Les vents marins, plus forts,

s'accompagnent souvent de précipitations et d'une submersion de la plage, qui limitent le transport sédimentaire. La distribution des vents n'est donc pas très favorable à la construction de dunes sur les plages perpendiculaires aux deux directions dominantes [qui sont celles en érosion] (photo 2). À l'échelle annuelle, les mouvements du rivage oscillent de 30 à 60 m de large, même si localement ils atteignent 100 m (fig. 1). L'espace de mobilité des plages se définit donc par les déplacements annuels du trait de côte, mais aussi par la limite des dépôts d'overwash (plus rares).

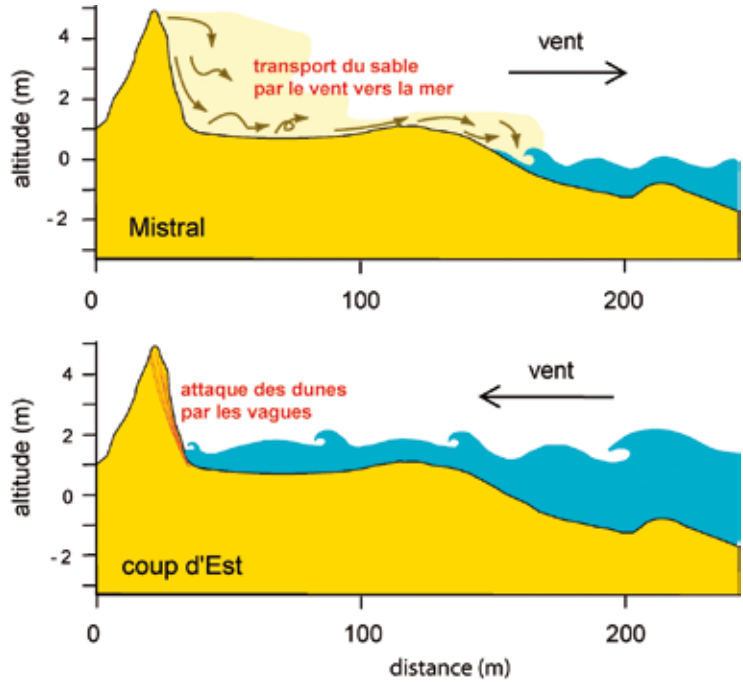


Fig. 1 – Profil de plage montrant le fonctionnement naturel d'une plage. © F. Sabatier, 2012



Photo 2 – Tempête du 21.11.07 - Erosion d'une dune durant une tempête. Les sables attaqués par les vagues sont transportés vers le large par les courants de la zone du déferlement. Les piquets de bois établis sur la dune au moment de leur mise en place démontrent le recul chronique. © P. Romain

LEXIQUE

Barres d'avant-côte : bancs sableux d'accumulation liés aux courants de la zone du déferlement. Elles sont généralement parallèles au rivage en Camargue. On en distingue le plus souvent deux, à 2 et 4 m de profondeur.

Jet de rive : filet d'eau qui monte ou descend sur la plage.

NGF : Niveau Général de France – réseau de repères altimétriques permettant d'identifier le niveau zéro par rapport au niveau de la mer.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 2 : Le fonctionnement du fleuve

À retenir

À l'échelle annuelle, les mouvements du rivage alternent en fonction des tempêtes et périodes de beau temps, définissant un espace de liberté naturel. Sur les plages en érosion chronique, des mécanismes naturels de reconstruction des plages compensent l'érosion, sans arriver à la stopper.

Que deviennent les sédiments et les éléments associés en mer ?

Olivier Radakovitch, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Sabine Charmasson, IRSN, La Seyne sur Mer – Patrick Raimbault, MIO Marseille

La répartition des sédiments du Rhône, lorsqu'ils débouchent en mer, est contrôlée par deux facteurs : la taille des particules et les courants marins.

La barre d'embouchure

La taille des particules régule leur vitesse de chute dans l'eau. Plus le grain est grossier plus il est lourd et sédimente rapidement lorsque la vitesse du courant n'est plus assez importante pour le transporter. Les sables (> à 2 mm) se déposent à proximité immédiate de l'embouchure, parce que la vitesse des courants en mer est plus faible que dans le fleuve.

Par l'effet des vagues et des courants marins, ils forment une petite barre d'embouchure (front deltaïque) qui affleure à 6-8 m sous la surface et se voit sur les cartes bathymétriques. Cette barre évolue continuellement en fonction des apports et des événements extrêmes (crues, tempêtes). Une partie de ces sables va alimenter le littoral (voir question 12 : « Comment fonctionne l'embouchure du Grand Rhône ? »). Le transport moins important dans le Petit Rhône ne permet pas l'édification de cette barre.

Le prodelta

Les sédiments plus fins (silt et argiles) sont transportés sur de plus longues distances. Leur vitesse de chute est plus lente mais ils ont tendance à s'agréger dès le contact avec l'eau salée et à former de gros « flocons » qui vont chuter. L'embouchure du Rhône est un estuaire stratifié où l'eau douce met beaucoup de temps à se mélanger avec l'eau de mer, contrairement à un estuaire classique où les courants de marée favorisent ce mélange. L'eau du Rhône forme un panache en surface avec une stratification très marquée : des eaux peu salées et riches en particules sur 1 à 2 mètres d'épaisseur en surface, des eaux marines au-dessous, très pauvres en particules. La stratification créée par la différence de densité des eaux limite la chute des particules qui peuvent alors être transportées sur plusieurs kilomètres avant de sédimenter. Cet effet de panache est très visible lors des crues (photo 1). Ces particules fines se déposent tout de même au fur et à mesure du transport et forment un édifice sédimentaire particulier : le prodelta, lobe autour de l'embouchure qui s'étend depuis le front deltaïque jusque vers 60 m de profondeur environ (fig. 1). Ce cône d'accumulation, qui s'étend vers le sud-ouest à cause des courants, est constitué de particules fines avec quelques niveaux sableux déposés lors des crues importantes.

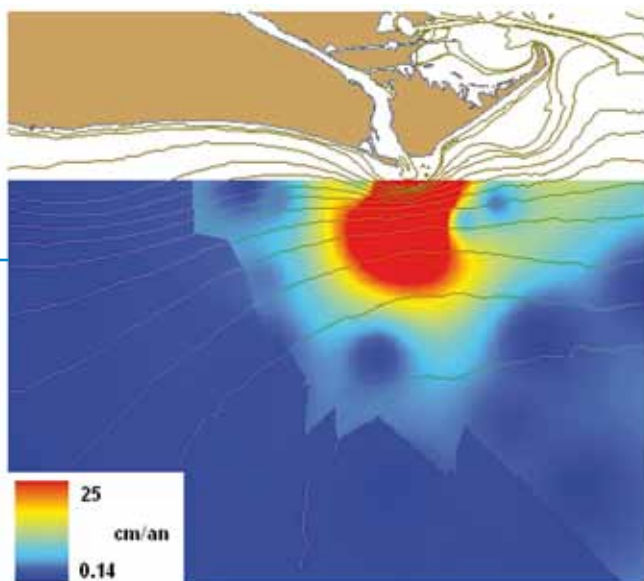
Les vitesses de dépôt de 30-40 cm/an à proximité du fleuve chutent à moins de 1 cm/an vers 60-80 m de fond. Ces vitesses sont très variables à proximité du front deltaïque, les crues pouvant en quelques heures déposer plusieurs dizaines de centimètres.

Une partie de ces particules est remise en suspension par l'effet des houles ou de forts courants, créant juste au-dessus du sédiment un « néphéloïde » de fond, couche d'eau riche en particules qui va d'est en ouest sur le plateau continental du golfe du Lion sous l'influence des courants. Du matériel issu du Rhône peut ainsi être transporté jusque vers les Pyrénées où des canyons sous-marins permettent le débouché vers le milieu profond.



Photo 1 – Crue du Rhône de septembre 2002 dans le golfe du Lion. Image satellite, www.archive.org. © Jacques Desclotres, MODIS Land Rapid Response Team, NASA/GSFC, nasaimages.org

Fig. 1 – Distribution des taux de sédimentation dans le prodelta, reconstitués à partir de mesures de radioéléments dans les sédiments (en cm/an) – courbe bathymétrique, espacement 10 mètres. © IRSN

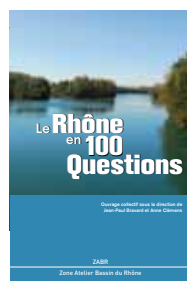


Les éléments associés

Le devenir des éléments associés aux particules répond à ces processus de sédimentation et à leur comportement dans l'eau salée. En effet, certains éléments fixés en surface des particules ont tendance à repasser en phase dissoute dès qu'ils sont en contact avec l'eau de mer (Cadmium), tandis que d'autres restent fixés sur les particules et se déposent avec elles (c'est le cas de nombreux métaux, des radioéléments et de contaminants organiques comme les PCB).

Puisque les particules se déposent prioritairement dans le prodelta, cette zone va accumuler ces contaminants. On les retrouve sur une zone d'environ 500 km², mais un tiers au moins de leur stock est concentré sur une aire de 30 km² proche de l'embouchure. Tout contaminant fortement associé aux particules sera donc à rechercher prioritairement dans cette région.

Le Rhône transporte des contaminants mais aussi et surtout des éléments nécessaires au développement biologique : carbone, azote, phosphore, fer... Il a ainsi un rôle sur la vie dans les eaux du golfe du Lion, depuis les bactéries dans les sédiments jusqu'aux poissons de fond.



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 2 : Le fonctionnement du fleuve

À retenir

L'essentiel des sédiments du Rhône forme un prodelta, un cône d'accumulation d'environ 500 km² autour de l'embouchure. Les vitesses de dépôt y sont très fortes et variables près du fleuve (jusqu'à 30-40 cm/an) et beaucoup plus faibles à la base (< 1 cm/an) vers 60 m de profondeur. La majorité des éléments associés à ces particules se retrouve stockée dans cette zone.

Les ouvrages de protection actuels suffisent-ils à s'adapter à la mobilité du trait de côte ?

Frédéric Pons, CETE Méditerranée – François Sabatier, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

La création d'ouvrages de protection a eu pour objectifs de permettre l'agriculture et l'exploitation du sel. L'objet était la lutte contre la submersion marine et l'entrée des eaux salées (création de la digue à la mer de 1856 à 1859) et la réalisation des prises d'eau pérennes des salins (fin XIX^e au milieu du XX^e siècle).

La recommandation n°5 de la stratégie nationale de gestion du trait de côte indique «*N'envisager les opérations de protection artificialisant fortement le trait de côte que dans des secteurs à très fortes densités ou d'intérêt stratégique national et les concevoir de façon à permettre à plus long terme un déplacement des activités et des biens.*»

Les mouvements naturels du rivage et des plages (voir question 13 : «*Comment se dessine la ligne du rivage ?*» et question 14 : «*Quel est le fonctionnement naturel d'une plage du delta du Rhône ?*») ont ensuite conduit à protéger les enjeux économiques et bâtis qui se situaient au départ loin de la mer (fig. 1). La réponse a été pendant des décennies, et jusqu'à peu, la mise en place d'ouvrages de protection pour chercher à stopper la mobilité du trait de côte. Il est aujourd'hui utile de s'interroger sur leur efficacité.

Une réponse évolutive des ouvrages de protection à la mobilité du trait de côte

Dès les années 1930, l'exposition des biens à proximité du littoral a conduit à réaliser des épis (photo 1) ayant pour but de limiter des déplacements parallèles au rivage. Ensuite, le trait de côte s'approchant trop des enjeux, des brise-lames et des digues frontales sont apparus pour lutter contre l'érosion et les submersions marines. Les tempêtes de la décennie 1970 et celle de 1982 ont poussé les autorités à continuer de lourds programmes. Au total, près de 200 ouvrages ont été édifiés le long des côtes en recul. Aujourd'hui, tous les secteurs en érosion naturelle (voir question 13 : «*Comment se*

dessine la ligne du rivage ?») comportent des enrochements, à l'exception de l'est des Saintes-Maries-de-la-Mer, où un rechargement expérimental en galets a commencé en 2006 sur un faible linéaire.



Fig. 1 – À l'est des Saintes-Maries-de-la-Mer, le cadastre (ligne noire) se situe en mer. Pour protéger les constructions proches du rivage, des ouvrages de défense ont été bâtis.
© FDP IGN site <http://www.geoportail.fr>

Photo 1 – En Petite Camargue, la batterie d'épis induit une érosion importante à l'ouest, liée à la dérive littorale est-ouest sur ce secteur.
© FDP IGN site <http://www.geoportail.fr>



Le ralentissement en plan du recul du rivage par des batteries d'épis

Des batteries d'épis avec des digues frontales apparaissent aujourd'hui le long des plages de Petite Camargue (environ 20 km) et de Salins de Giraud (environ 8 km). Même si cela a permis de réduire les vitesses de recul entre les périodes dites naturelles et équipées (d'environ - 4 m/an à 2 m/an), l'érosion sous-marine continue. Ces ouvrages déplacent l'érosion au-delà du dernier épi dans le sens de la dérive littorale dominante (photo 1). Le recul du rivage a localement déstabilisé des ouvrages dont l'entretien coûteux n'est plus assuré (photo 2).

La fixation en plan du rivage par des ouvrages frontaux

Aux Saintes-Maries-de-la-Mer, la stabilisation du rivage ne s'est faite qu'au prix d'un enrochement massif devant le village (fig. 1). Les brise-lames ont d'ailleurs permis des petites accrétions locales, mais cette situation de stabilité visuelle en surface ne doit pas occulter l'érosion sous-marine. En effet, au droit du village, une incision du fond de 2 m environ a eu lieu depuis 1974. Les pentes sous-marines augmentent, ce qui renforce la puissance des vagues qui déferleront plus près des ouvrages. La stabilité des ouvrages en est menacée à long terme. D'ailleurs la digue de Véran, particulièrement exposée à la houle, n'aura tenu qu'une dizaine d'années sous l'effet des courants qui charrient le sable à sa base. Ces structures, qui figent visuellement le littoral, augmentent la réflexion des vagues entraînant un approfondissement à leur base les mettant ainsi en péril.



Photo 2 – Une plage de Petite Camargue (Grand Radeau). Les épis (arrière-plan), et l'ancienne digue de fond de plage se sont progressivement enfoncés. L'entretien a été abandonné au regard des enjeux et du coût de protection du site. © F. Sabatier

À retenir

Les ouvrages ont ralenti et/ou stabilisé le recul du trait de côte en plan. Cependant l'érosion devient sous-marine, mettant en péril leur stabilité et celle des biens protégés. Les dynamiques naturelles et le changement climatique laissent penser que ces ouvrages, encore efficaces à court terme, seraient insuffisants à moyen terme. Des reculs brutaux sont probables lors de tempêtes majeures, avec un rétablissement difficile du milieu sans structure naturelle (lidos, dunes...), contrairement aux secteurs sans ouvrage.

Changement climatique et surcotes marines, quel avenir pour les plages camarguaises ?

Albin Ullmann, CRC, Université de Bourgogne – François Sabatier, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Philippe Chauvelon, Tour du Valat

Le delta du Rhône est une des zones littorales françaises les plus fragiles face aux aléas liés au climat. La topographie basse et sableuse rend cet espace vulnérable face au risque d'érosion et de submersion marine.

Ces phénomènes se manifestent généralement en hiver, lorsque le niveau marin littoral local s'élève brutalement sous l'effet des tempêtes qui attaquent le cordon littoral, arrachant le matériel sédimentaire pour le transporter vers le large. Sur ce secteur, le trait de côte a reculé en moyenne de plus de 100 mètres au cours du xx^e siècle (voir question 13 : « Comment se dessine la ligne du rivage ? »). Les pics de niveaux marins rehaussent, pour un même débit, la ligne d'eau à l'embouchure et dans les bras du fleuve sur plusieurs kilomètres, augmentant le risque d'inondation lors des fortes crues du Rhône.

Comment se forment les pics de niveau marin extrême ?

Lorsqu'un pic de niveau marin est atteint, il est important de considérer deux éléments distincts dans la hauteur du plan d'eau.

Le niveau marin moyen, dont les variations quotidiennes suivent la marée astronomique. Au xx^e siècle, ce niveau en Méditerranée n'a cessé de s'élever, sous l'effet de la dilatation de la masse d'eau liée au réchauffement progressif de la mer, associé en partie au réchauffement climatique d'origine anthropique.

La surcote marine (fig. 1) ou la marée de tempête, c'est-à-dire la hausse brutale et transitoire du niveau marin sous l'effet des forts vents de mer de secteur sud à sud-est, qui poussent et accumulent la masse d'eau vers le littoral du delta du Rhône. Ces conditions météo-marines sont associées au passage d'une dépression atmosphérique particulièrement creusée dont la durée de vie est de 2 à 6 jours. On parle de surcote quand la hauteur du niveau marin observée à un moment donné est supérieure à celle normalement atteinte par la marée astronomique au même moment.

Un pic de niveau marin observé correspond ainsi à la superposition d'une surcote marine, brève et transitoire, sur un niveau marin moyen observé au même moment. Sur la plage, le niveau d'eau s'élève encore sous l'impulsion du déferlement et de la vitesse atteinte par le filet d'eau qui monte et qui descend en pied de dune. Au total, durant une tempête extrême, le niveau d'eau sur la plage peut monter jusqu'à près de 2 m NGF*.

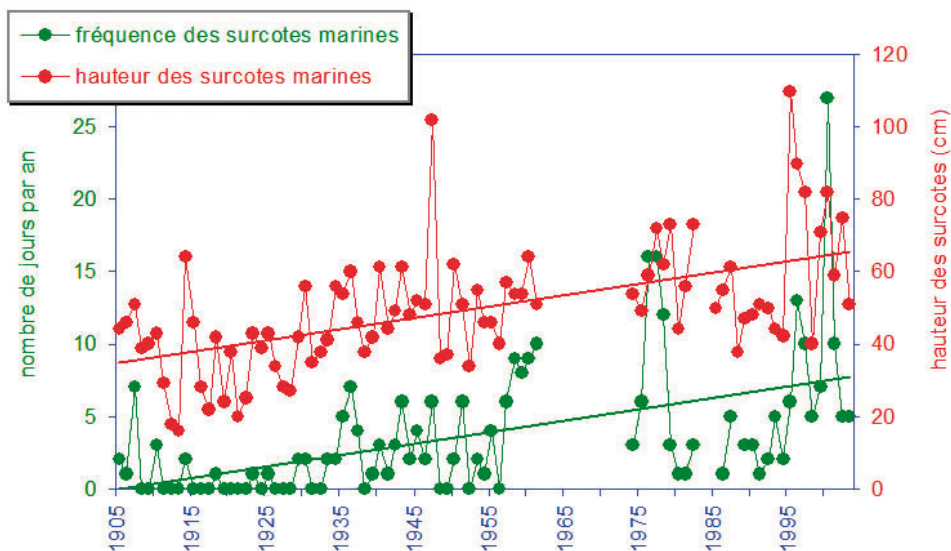


Fig. 1 – Évolution de la hauteur et de la fréquence des surcotes marines en Camargue au cours du xx^e siècle.
© A. Ullmann, P.A. Pirazzoli, A. Tomasin, 2007

Photo 1 – Plage de Grau Vendres Est.
© P. Gauffrès, CETMEF, Aix-en-Provence



L'évolution à venir dans un contexte de changement climatique global

Pour évaluer l'impact du changement climatique sur la fréquence et la hauteur des niveaux marins extrêmes dans le delta du Rhône, et donc sur l'évolution du littoral, il faut prendre en compte la variabilité future des surcotes marines associées aux tempêtes et la hausse du niveau marin moyen. Cette dernière est inéluctable compte tenu de la hausse des températures et de la fonte des glaciers. La somme de ces deux facteurs devrait induire une hausse entre +1 mm/an à +7,5 mm/an selon les scénarii du changement climatique envisagés.

En ce qui concerne les surcotes marines, leur fréquence et hauteur devraient rester stationnaires au **xxi^e** siècle dans le golfe du Lion.

Dans une perspective d'impact, c'est le niveau extrême réellement atteint qui est à prendre en compte dans les mécanismes d'érosion et de submersion du littoral au cours du **xxi^e** siècle. Les surcotes vont se produire sur un niveau marin moyen de plus en plus haut augmentant le niveau extrême atteint durant les tempêtes.

Dans le delta du Rhône, le seuil observé de début d'érosion correspond à un niveau marin situé à plus de 40 cm NGF* (photo 1). Cette hauteur, actuellement atteinte pendant 1% de jours par hiver, pourrait être atteinte de 20 à 80% de jours par hiver d'ici à 2100 selon les seuils de projection choisis.

L'évolution future du littoral du delta du Rhône va donc essentiellement dépendre de la vitesse à laquelle va s'élever le niveau marin moyen sous l'effet du réchauffement climatique global. Ce phénomène étant inéluctable, le littoral du delta du Rhône sera de plus en plus vulnérable aux attaques venant de la mer.

À retenir

En Camargue, la fréquence et l'intensité des surcotes marines n'augmenteront vraisemblablement pas durant le **xxi^e** siècle par rapport à la situation actuelle. Cependant, la montée de la mer élèvera sensiblement la hauteur du plan d'eau et donc celle du niveau d'attaque des vagues sur les dunes (ou digues). Les niveaux marins extrêmes se produiront entre 20 et 80% du temps alors qu'ils ne se manifestent que pour 1% aujourd'hui. Par conséquent, l'impact des surcotes marines pourrait se ressentir plus durement durant le **xxi^e** siècle.

LEXIQUE

NGF : Niveau Général de France – réseau de repères altimétriques permettant d'identifier le niveau zéro par rapport au niveau de la mer.

Quel est l'impact de la mobilité du trait de côte sur les usages ?

Régis Vianet, PNR de Camargue – François Fouchier, Conservatoire du littoral et des rivages lacustres – Bernard Picon, CNRS

Mobilité du trait de côte et aménagements littoraux dans le Delta du Rhône

La ligne de rivage de Camargue est très mobile et se déplace vers l'intérieur des terres ou en direction de la mer de plusieurs mètres par an selon les secteurs (voir question 13 : « Comment se dessine la ligne du rivage ? »). Sur 70 km de littoral, 40 km sont en recul et seulement 20 km s'engraissent et avancent pour former d'ouest en est les flèches sableuses de l'Espiguette, de Beauduc et de la Gracieuse.

Des épis, digues frontales, et structures de fixation des dunes (ganivelles) s'étendent sur les 2/3 du littoral, témoignant du besoin de fixer la ligne de rivage pour garantir la pérennité des usages et des activités, et la protection des personnes et des biens situés en arrière littoral.

À l'échelle européenne, la Camargue a été classée au niveau 3 (territoire très exposé au phénomène d'érosion) sur une échelle de 4 par le programme européen Eurosion.

Mobilité du trait de côte et dynamique des milieux naturels

Au fil des millénaires, le rivage s'est déplacé par étapes successives en direction de la mer. Les différentes lignes de rivage sont par endroits encore identifiables. Les dunes fossiles boisées aujourd'hui recouvertes de pins pignons en témoignent. Entre ces lignes de rivage, des dépressions constituées des étangs, lagunes et baisses salées* forment un ensemble de milieux naturels disposés en mosaïques, riches sur le plan biologique avec la présence de 30 espèces d'intérêt patrimonial.

Sur certains secteurs où le littoral recule, ces milieux naturels originels ont tendance à disparaître. L'exemple des dunes boisées du littoral ouest des Saintes-Maries-de-la-Mer illustre parfaitement cette évolution (photo 1).



Mobilité du trait de côte et activités humaines

En Camargue, les plages de sable fin sont très appréciées des touristes qui, depuis les années après-guerre, viennent en nombre. Une ligne de chemin de fer partant d'Arles les amenait jusque sur la plage des Saintes-Maries-de-la-Mer. C'est encore le cas pour la station littorale du Grau-du-Roi, desservie par la ligne venant de Nîmes. L'activité salinière utilise les lagunes littorales pour y évaporer l'eau de mer pompée dans la Méditerranée. Des communautés de pêcheurs se sont installées sur certains points du littoral (Beauduc, Les Saintes-Maries-de-la-Mer, le Grau-du-Roi...) riches en ressources halieutiques. Certains de ces lieux ont aujourd'hui évolué en station touristique du littoral.

Photo 1 – Dunes boisées de Pins parasols, 2006.
© A. Lagrave, PNRC

Photo 2 – La croix de Jérusalem vers 1920 prise en photo par Carle Naudot.
© Collection Parc naturel régional de Camargue, Musée de la Camargue – David Huguenin



Mobilité souvent facteur de contraintes

Dans les zones où le trait de côte recule, les propriétaires et les collectivités ont perdu de l'espace foncier. Les exemples du littoral au droit du phare de Faraman et du village des Saintes-Maries-de-la-Mer sont très démonstratifs. Dans le premier cas, le phare comme la croix de Jérusalem ont dû être déplacés de plusieurs centaines de mètres (photo 2).

L'activité salinière a dépensé plusieurs millions d'euros pour essayer de fixer le rivage et ainsi éviter la perte en surface des bassins d'évaporation d'eau de mer (digue de Veran).



Photo 3 – Rechargement en sable, plage de Carnon.
© R. Vianet, PNR de Camargue

Appréhender la mobilité du littoral dans sa globalité

Dans le delta du Rhône, la mobilité du littoral engendre une nécessaire adaptation permanente des modes de gestion du trait de côte. Il s'agit de l'aborder sous l'angle de ce qu'elle peut apporter sur le plan des avantages et des inconvénients, en croisant ce phénomène naturel avec l'approche économique et sociale.

Dorénavant des solutions techniques « multi-usages » sont proposées, car si des choix d'aménagements côtiers ont permis de fixer temporairement le trait de côte (Saintes-Maries-de-la-Mer), d'autres combinent défense côtière avec des attentes sociales, économiques et écologiques.

L'exemple de l'important rechargement en sable du littoral entre les stations balnéaires de Carnon et de la Grande Motte, illustre bien ce croisement d'intérêt (photo 3).

LEXIQUE

Baisse salée : petite dépression à inondation temporaire et à forte salinité du sol.

À retenir

La mobilité du littoral du delta du Rhône révèle qu'environ 2/3 du linéaire est en recul. Cette dynamique modifie les écosystèmes, est contraignante pour les personnes, les biens et les activités économiques et impacte l'espace foncier.

Quels contaminants le Rhône apporte-t-il à la mer Méditerranée ?

Eve Sivade, Agence de l'Eau RM&C – Patrick Raimbault, MIO Marseille – Frédérique Eyrolle, IRSN

Avec un débit moyen de 1 720 m³/s à Beaucaire et un bassin versant d'une superficie de 96 500 km² fortement anthropisé, l'influence du Rhône sur la mer Méditerranée ne provient pas seulement des volumes d'eau apportés, mais aussi de la composition chimique de la matière transportée en phase dissoute et particulaire.

En moyenne, les apports du Rhône en matières en suspension (MeS) à la mer représentent 85% des apports totaux des fleuves côtiers méditerranéens français. La description des teneurs en substances potentiellement fertilisantes de l'activité biologique marine (azote, phosphore, silice), mais aussi en contaminants chimiques (substances organiques rémanentes, métaux traces, radionucléides...) est donc essentielle.

Comment sont suivis les flux de polluants vers la mer ?

La Station Observatoire du Rhône à Arles (SORA), gérée par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) avec le soutien technique de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO, Marseille), est installée dans les locaux des Voies Navigables de France (Grand Rhône à Arles, rive droite). Elle est pourvue d'équipements permettant la mesure des concentrations dissoutes et particulaires en radionucléides, nutriments et contaminants chimiques. Ces suivis très fins permettent la quantification des flux dissous, des flux particulaires et des polluants associés vers la mer (photo 1).

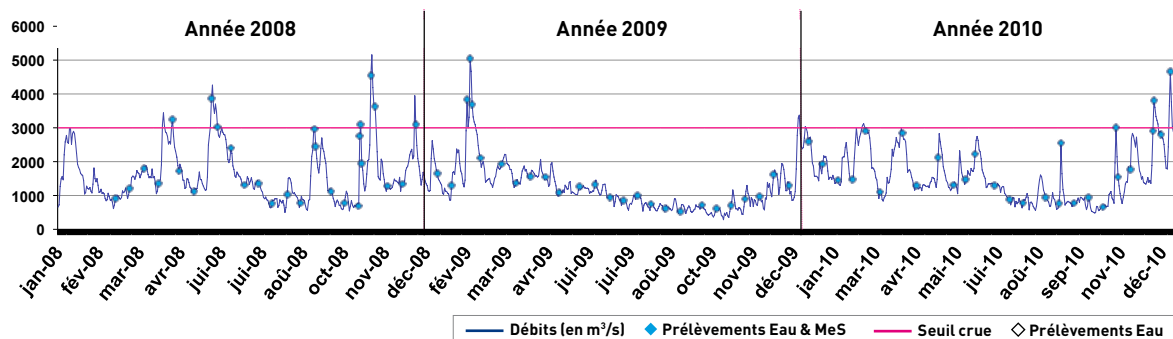


Photo 1 – Station Observatoire du Rhône en Arles.
© Agence de l'Eau RM&C

Les crues, des épisodes à ne pas manquer

L'essentiel des flux solides (jusqu'à 80%) transite vers la mer lors des crues. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage est accrue lors de ces événements (fig. 1). La stratégie de suivi mise en place par le MIO et l'IRSN a permis d'échantillonner une quinzaine de crues entre 2005 et 2010.

Fig. 1 – Évolution du débit moyen journalier à Arles et positionnement des opérations de prélèvement d'Eau & MeS (années 2008, 2009 et 2010 – données CNR)
© Agence de l'Eau RM&C



Quels contaminants chimiques et quelles quantités sont apportés par le Rhône à la mer Méditerranée ? (fig. 2a et 2b)

Le suivi « fin » des contaminants chimiques a débuté en 2008. Les flux de matières en suspension véhiculés par le Rhône en 2008 (9 millions de tonnes) sont nettement plus élevés qu'en 2009 et 2010 (3 millions de tonnes). Ces flux élevés en 2008 sont dus à de nombreuses crues parfois importantes (débit > 5000 m³/s) et à un épisode hydrologique atypique lié à la gestion des ouvrages sur les bassins versants de l'Isère et de la Durance.

Plus de 90% des flux dissous et particulaires sont des éléments métalliques traces

Les éléments métalliques traces les plus fréquemment quantifiés sur les années 2008-2010 sont le zinc, le cuivre, le plomb, l'arsenic, le chrome et le nickel. Par exemple, les quantités de zinc en solution qui ont transité par le Rhône s'élèvent à près de 2000 tonnes. Leur présence dans les milieux aquatiques peut être liée aux activités humaines, mais surtout aux apports naturels du fait de leur présence dans la croûte terrestre.

Les flux de pesticides représentent plusieurs dizaines de tonnes chaque année

Seules quelques substances sont à l'origine de ces flux, en particulier : le foséthyl aluminium mesuré à de multiples reprises et l'AMPA (métabolite de désherbants à base de glyphosate) quantifié dans 50% des échantillons.

Les flux de PCBs représentent entre 100 et 200 kg chaque année

Ils étaient utilisés dans les transformateurs électriques comme isolants et entraient dans la composition de vernis, encres, peintures, solvants... Ce sont des composés faiblement biodégradables, c'est pourquoi ils sont encore présents dans l'environnement, malgré leur interdiction en France depuis 1987.

30 tonnes de HAPs ont transité au niveau du Rhône à Arles depuis 2008

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) résultent de la combustion incomplète des produits pétroliers ou du charbon : activités urbaines (chauffage), industrielles et de transports (pots d'échappement des véhicules).

Le flux de radioactivité d'origine naturelle est de l'ordre de 20 TBq/an.

Les flux annuels de tritium d'origine artificielle, très majoritairement transférés en phase dissoute, sont quant à eux estimés à environ 300 TBq/an dont plus des deux tiers proviennent des rejets des installations nucléaires.

Fig. 2a – Flux annuels de pollution dissoute (en tonnes) par grandes familles chimiques – années 2008, 2009 et 2010. © Agence de l'Eau RM&C

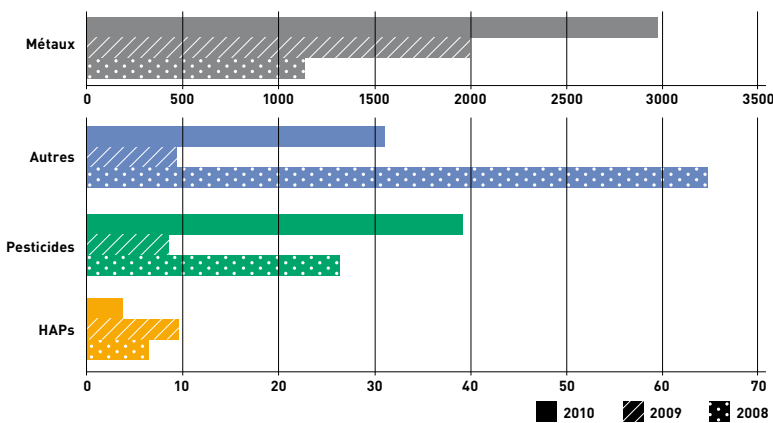
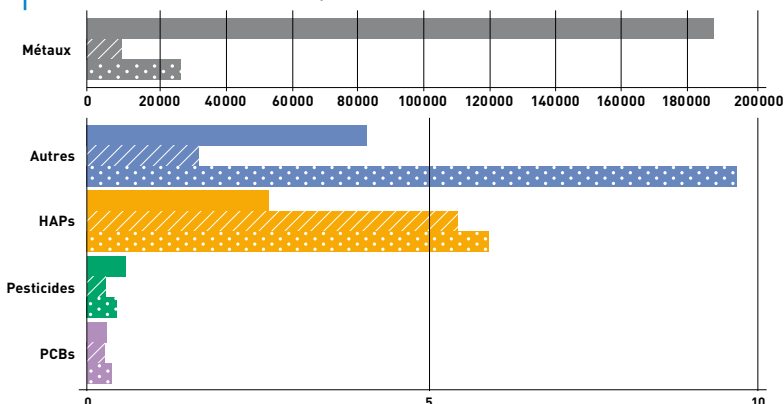


Fig. 2b – Flux annuels de pollution particulaire (en tonnes) par grandes familles chimiques – années 2008, 2009 et 2010. © Agence de l'Eau RM&C



Pour plus d'information,
Le Rhône en 100 Questions,
Chapitre 6 : La qualité de l'eau
du Rhône

À retenir

Des suivis très fins, notamment en période de crues, permettent la quantification des flux dissous et particulaires au niveau de la Station Observatoire du Rhône à Arles depuis 2008. Les ordres de grandeur des principaux flux à la mer Méditerranée quantifiés sur les années 2008-2010 sont de plusieurs milliers de tonnes de métaux, de quelques centaines de tonnes de pesticides, de quelques dizaines de tonnes de HAP et de quelques centaines de kilogrammes de PCB.

Que mesure-t-on comme pollution sur les eaux côtières, quel lien avec le Rhône ?

Pierre Boissery, Agence de l'Eau RM&C – Bruno Andral, Ifremer

La mer Méditerranée est l'ultime milieu récepteur des apports du bassin versant du Rhône et des cours d'eau côtiers. Elle reçoit de fait les contaminants qu'ils véhiculent. Parmi ces apports, le Rhône constitue 70 % de tous les apports en principaux métaux (arsenic, cadmium, mercure, plomb, nickel, chrome et zinc), 85 % des apports à la mer en matières en suspension, 75 % des apports à la mer en azote et composés azotés et 52 % des apports à la mer en phosphore et composés phosphorés des cours d'eau méditerranéens français.

Le Rhône, élément important de la vie marine

Le fleuve transporte des éléments naturels dont certains ont un fort impact sur la vie marine (photo 1). C'est le cas des matières en suspension qui conditionnent la variété des habitats en fonction de leur granulométrie. C'est aussi le cas des apports nutritifs qui contribuent de façon très significative à la richesse de la chaîne trophique du golfe du Lion.

Le Rhône, vecteur de contaminants à la mer

La synthèse des données acquises par les réseaux de surveillance permet de constater que les points de surveillance localisés en Camargue dans l'étang de Vaccarès et dans l'étang de la Palissade présentent des concentrations élevées au regard des normes de qualité environnementale utilisées pour une seule molécule, un insecticide organochloré, le lindane. Ce produit est utilisé en agriculture et dans l'industrie pharmaceutique. Il reste toutefois difficile d'affirmer que l'eau du Rhône est seule responsable de cette contamination et que les activités agricoles locales n'ont pas une part de responsabilité.



Photo 1 – Les apports du Rhône structurent la vie marine du golfe du Lion (peuplement de gorgones blanches). © P. Boissery

Dès que l'on quitte la Camargue pour s'intéresser à la mer (photo 2), les réseaux de surveillance actuels ne mettent en évidence aucune contamination significative en élément métallique. Les concentrations mesurées dans l'eau, la matière vivante et le sédiment, restent peu élevées. Est-ce que cela signifie que les apports disparaissent et qu'ils sont assimilés sans contrainte par le milieu marin ? Non, ces apports se déversent dans un volume d'eau de mer très important et sont donc énormément dilués.

Le Rhône véhicule des radioéléments d'origine naturelle (Beryllium-7 et Plomb-210), accidentelle (Cesium 137) et anthropique liée à l'exploitation des installations nucléaires riveraines (Cobalt-60). Des traces de ces radioéléments sont mesurées en mer au droit du Rhône et dans la zone marine sous son influence. Elles restent toutefois à des niveaux très faibles voire en limite de détection analytique.

Le fleuve transporte des quantités importantes de sacs plastiques, débris végétaux et autres cartons. Ces macrodéchets finissent par arriver en mer. Ils sont portés par les courants de surface, coulent et se déposent au fond. Là, ils sont souvent repris par d'autres courants et viennent s'accumuler dans les canyons profonds du golfe du Lion pour un très long moment.

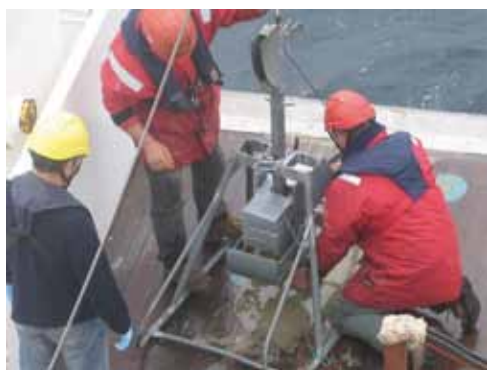


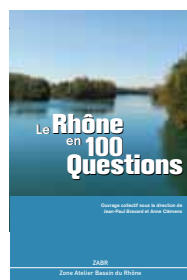
Photo 2 – Prélèvement de sédiments marins au large du Rhône pour la caractérisation de la contamination chimique. © P. Boissery

Les conséquences sur la chaîne trophique

Quand on étudie le devenir de ces contaminants dans la chaîne trophique marine (à savoir dans un système biologique qui les concentre naturellement), comme c'est le cas pour les polychlorobiphényles (PCB) recherchés dans le merlu, poisson « commun » présent dans le golfe du Lion, on se trouve alors confronté à la présence de concentrations importantes caractérisant une pollution.

Les apports du Rhône en éléments nutritifs induisent pour certains spécialistes un risque d'eutrophisation* de la Méditerranée. Si l'on mesure bien un gradient de concentration décroissant de l'embouchure du Rhône vers le large avec des concentrations que l'on peut juger faibles, l'analyse des séries à long terme laisse apparaître que ces faibles concentrations sont en légère hausse.

Les scientifiques se préoccupent de cette question même s'il convient de rappeler que l'on est loin des marées vertes bretonnes dans une mer qui reste pauvre en matières nutritives.



Pour plus d'information,
Le Rhône en 100 Questions,
Chapitre 2 : Le fonctionnement
du fleuve

À retenir

Le Rhône est la source d'apports en « contaminants » la plus importante de la façade méditerranéenne française.

Si la caractérisation de ces apports s'améliore au cours des années, celle de leur devenir en mer et de leurs impacts sur le milieu marin reste limitée et insuffisante. La complexité des phénomènes chimiques et biologiques mis en œuvre et la dilution inhérente au milieu marin nécessitent un travail scientifique et technique de longue haleine.

LEXIQUE

Eutrophisation : modification d'un milieu aquatique liée en général à un apport excessif de substances nutritives.

Peut-on s'appuyer sur l'histoire du Rhône aval pour le gérer aujourd'hui ?

Mireille Provansal, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330

Le paysage et le fonctionnement du Rhône aval ont été formés par l'histoire du climat, de la gestion des sols dans le bassin versant et par l'aménagement récent du chenal. La gestion des risques doit intégrer ces héritages.

Le fonctionnement du fleuve et les risques ont varié au cours du temps

Il n'y a pas une « nature » rhodanienne, mais un équilibre dynamique variable du fleuve avec son environnement naturel et social.

Au début de la période romaine puis au Moyen-Âge, le fleuve a eu un chenal unique, sinueux et profond, qui limitait les risques d'inondation. Les levées* fossiles du bras romain de Saint-Ferréol dans le delta et l'ancien méandre de Vallabrègues décrivent un paysage fluvial paisible. À la fin de l'Empire romain, puis du ^{XIV} au ^{XIX} siècle (Petit Âge Glaciaire), de multiples chenaux en « tresses »*, peu profonds et très chargés en sédiments grossiers, ont favorisé des inondations récurrentes.

À l'aval d'Arles, les périodes de fortes crues et d'abondance sédimentaire ont provoqué l'apparition du delta il y a 6 000 ans, puis ses avancées successives, associées aux divagations du fleuve. Le Petit Âge Glaciaire correspond à une avancée très importante du littoral (fig. 1).

Les paysages du Rhône actuel sont dus à la réduction des fortes crues, à la reforestation des bassins montagnards et aux travaux d'aménagement et de rectification du chenal réalisés depuis 150 ans (fig. 2).

Les héritages géomorphologiques influencent le fonctionnement actuel du fleuve

Le chenal actuel est situé au sommet d'un bourrelet alluvial édifié par les apports d'alluvions au Petit Âge Glaciaire. Cette position surélevée favorise les brèches lors des crues, l'expansion des eaux sur des espaces très vastes et ralentit l'évacuation des eaux d'inondation.

Les anciens bras, colmatés par des sédiments fins, correspondent à des zones humides sinueuses. Dans le delta, les levées et les cordons littoraux abandonnés délimitent des « casiers » (fig. 3), souvent marécageux. Ils conditionnent l'expansion des eaux d'inondation et peuvent gêner le ressuyage naturel des sols. Les lobes deltaïques* abandonnés aux anciennes embouchures modifient les courants côtiers et alimentent en sédiments le littoral actuel.



Fig. 1 – Malgré son dessin approximatif, cette carte du ^{XVII} siècle montre les embouchures multiples d'un fleuve très chargé en sédiments, qui forment les « tignes » (lobe du Petit Âge Glaciaire).

© Carte Provincia/La Provence, par l'éditeur Joannis Janssonius, d'Amsterdam, 1621 (Copie redessinée d'après le modèle original dû à Pierre-Jean Bompar, 1591).

Quels sont les enseignements de l'histoire du Rhône pour la gestion actuelle du fleuve ?

L'histoire du fleuve est contrôlée par des facteurs climatiques et sociétaux sur de longues échelles temporelles. Les travaux locaux d'ingénierie ont accéléré et amplifié depuis 150 ans les tendances spontanées à la disparition du tressage et au retour vers un chenal unique. L'endiguement et les ouvrages implantés sur les

bords du fleuve ont pu donner l'illusion d'une maîtrise globale du Rhône aval. Les dernières crues majeures ont rappelé que la plaine était le lit d'inondation naturel du Rhône, auquel les terres agricoles doivent leur fertilité.

Dans le delta, les inondations avaient toujours apporté les sédiments, pour faire reculer la mer, et l'eau douce, pour dessaler les terres. L'endiguement actuel du fleuve ne permet plus de lutter contre l'inexorable montée du niveau marin. La fixation artificielle de l'embouchure actuelle limite les apports de sables aux plages les plus proches.

Est-ce que l'accroissement du nombre des embouchures permettrait de mieux évacuer les eaux de crues? L'histoire montre que la multiplication naturelle des exutoires n'est pas efficace; ils se colmatent rapidement, en raison de la dispersion de l'énergie hydraulique entre plusieurs bras.

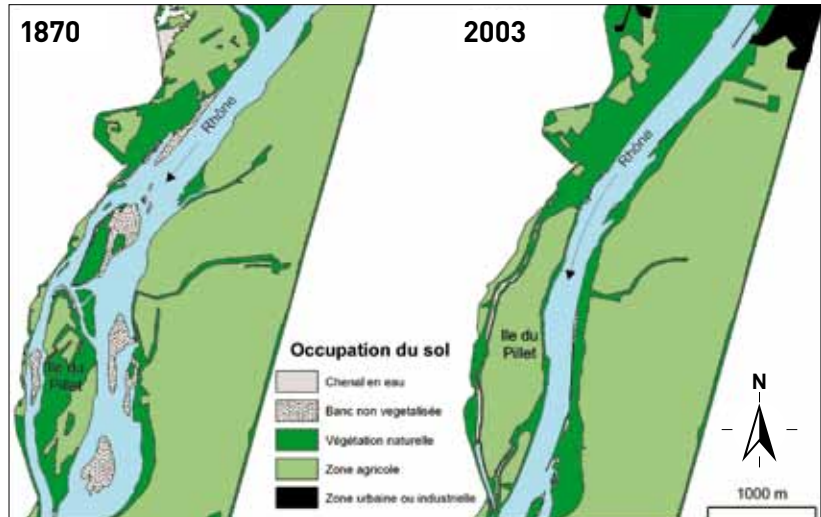
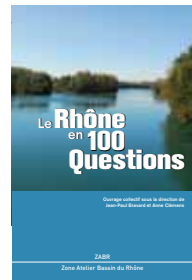


Fig. 2 – La réduction des apports sédimentaires et les travaux d'ingénierie ont transformé le paysage fluvial, qui est passé d'un style « tressé » en 1876 au chenal actuel, unique sinuieux. © G. Raccasi, Aix-Marseille Université



Pour plus d'information, *Le Rhône en 100 Questions*, Chapitre 5 : Les crues et inondations du Rhône, Chapitre 9 : Le patrimoine naturel

Carte géomorphologique du delta du Rhône (D'après Lhomer, 1975, 1987 et 1993)



Fig. 3 – Les bourrelets alluviaux et les cordons littoraux fossiles dessinent un quadrillage de points hauts dans le delta. © G. Arnaud-Fassetta, Université Paris 7

À retenir

Les paysages et le fonctionnement du fleuve ont varié selon les contextes climatiques et les choix de gestion du bassin versant et du chenal. Les formes et les sédiments hérités conditionnent l'écoulement des eaux d'inondation. Les plaines aval et le delta, naturellement inondables, ont été construits par les crues, dont les apports sédimentaires sont actuellement la seule réponse durable à la montée du niveau marin.

LEXIQUE

Levés : accumulations sédimentaires sur les berges.

Tresses : chenaux divagants multiples séparés par des bancs de sables ou de galets.

Lobes : dépôts sédimentaires sous-marins en avant de l'embouchure.



Remerciements

Le Rhône aval en 21 questions a été l'occasion de fédérer 30 professionnels de l'eau qui ont accepté de mettre en commun leurs connaissances sur le Rhône aval en fonction de leur discipline et de leur rôle dans sa gestion, et de partager leur savoir avec les habitants du bassin, intéressés par la vie du fleuve et ses multiples fonctions.

Nous remercions chaleureusement les membres du comité de rédaction pour leur implication dans le suivi de la rédaction des différentes questions de l'ouvrage : Christelle Antonelli, IRSN – Philippe Bauchet, Région Languedoc-Roussillon – Laurent Garnier, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur – Julie Mosseri, EDF – Mireille Provansal, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Olivier Radakovitch, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Sylvain Reynaud, CNR – François Sabatier, Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Eve Sivade, Agence de l'Eau RM&C – Régis Vianet, PNR de Camargue – Sylvie Vigneron, DREAL, et le GRAIE pour la coordination de l'ouvrage : Anne Clémens et Sarah Scarrott.

Nous adressons nos remerciements à tous les rédacteurs qui ont accepté de se prêter au jeu des 21 questions sur le Rhône aval et ont consacré du temps à leur écriture dans leurs différentes versions.

Enfin, la réalisation de ce livre a été possible grâce au soutien de l'Union Européenne au travers du fond FEDER, de l'Agence de l'Eau RM&C, de la CNR, d'EDF, de la Région Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

La ZABR – Zone Atelier Bassin du Rhône

Labellisée par le CNRS en 2001, structurée en Groupement d'intérêt Scientifique depuis 2005, la ZABR rassemble 14 établissements de recherche qui abordent par différentes disciplines, les interactions entre le milieu fluvial et périfluvial rhodanien et les sociétés qui se développent sur le bassin versant. Elle est le support de programmes de recherche pluridisciplinaires destinés à apporter des éléments pour l'aide à la décision publique en matière de gestion durable des cours d'eau et de leurs bassins versants.

Dans ce cadre, elle a trois finalités :

- élaborer et conduire des programmes de recherches pluridisciplinaires avec mise en commun des données acquises ;
- organiser des séminaires d'échanges visant à favoriser le dialogue et la construction des programmes de recherches communs et interdisciplinaires ;
- développer des moyens adéquats permettant la diffusion des résultats et la prise en compte des attentes des utilisateurs potentiels des produits de la recherche.

L'animation de la ZABR est assurée par le GRAIE, Groupe de recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau.

La coordination de l'ouvrage a été réalisée par la ZABR avec l'appui de toute l'équipe du GRAIE.

L'OSR – Observatoire des Sédiments du Rhône

L'Observatoire des Sédiments du Rhône a été créé en 2009 grâce à l'impulsion de la ZABR, par des équipes de recherche réparties sur l'ensemble du linéaire du fleuve. C'est une plate-forme de recherche pluri-partenariale, qui s'inscrit dans une démarche de co-construction entre scientifiques et gestionnaires dans le cadre du Plan Rhône. Cet observatoire de la ZABR a pour mission de produire, rassembler et gérer des données visant à caractériser les stocks et les flux sédimentaires, ainsi que les pollutions associées à ces sédiments. Il a également pour mission d'éclairer, par l'analyse des ces données, les gestionnaires et les élus. *Le Rhône aval en 21 questions* permet une mise en lumière d'une partie des travaux de cet observatoire.

