

CEREGE

Cemagref Lyon

CNRS UMR 5600

ENTPE

Université Lyon2

**Accompagnement scientifique pour la mise en place d'un observatoire pour la gestion des sédiments du Rhône.**

Etude préliminaire : recherches documentaires sur les sédiments du Rhône et premiers éléments de réflexion.

Carolyne Vassas

Anne Citterio

avec la participation de

Julie Calenzo, stagiaire au CEREGE

## SOMMAIRE

I - CONTEXTE DE L'ETUDE.....	3
II - METHODOLOGIE.....	4
II.1 - Recensement de la documentation disponible en fonction du temps imparti.....	4
II.2 - Présentation des thèmes.....	4
III - RESULTATS.....	7
III.1 - Organisation des résultats.....	7
III.2 - Résultats par thème et sous thème.....	7
THEME 1. - DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE.....	7
1.1 - Contexte sédimentaire.....	7
1.2 - Les aménagements du Rhône depuis le 19 <sup>e</sup> siècle.....	8
THEME 2. - L'HYDROSYSTEME RHONE – TERMES DU BILAN CONTEMPORAIN.....	9
2.1 - Flux entrant : apport des affluents.....	9
2.2 - Remobilisations sédimentaires.....	10
2.2.1- Remobilisation aux dépens des stocks naturels : dynamique du lit mineur (incision, érosion latérale).....	10
2.2.2- Déstockages assistés : chasses de réservoirs, curages/extractions d'entretien.....	10
2.3 - Stockages.....	10
2.4 - Transit des sédiments.....	11
2.5 - Sorties du système.....	11
THEME 3. - LES PROCESSUS EN ACTION : LES CRUES ET LES SEDIMENTS.....	13
3.1 - Impacts des crues sur les sédiments.....	13
3.2 - Impacts de la dynamique morphologique du lit sur les écoulements de crues et les débordements.....	13
THEME 4. - SEDIMENTS ET DIVERSITE DES MILIEUX D'INTERET ECOLOGIQUE.....	14
THEME 5. - POLLUTION, RELATIONS EAUX-SEDIMENTS.....	14
IV - CONCLUSION.....	16
IV.1 - Bilan de la recherche documentaire.....	16
IV.2 - Propositions.....	16
ANNEXES.....	20
Annexe 1 - Personnes et organismes contactés.....	21
Annexe 2 - Bibliographie citée dans le rapport ne faisant pas l'objet d'une fiche.....	22
Annexe 3 - Liste bibliographique triée par thème et sous-thème.....	24
Annexe 4 - Fiches individuelles des références.....	25
Annexe 5 - Fiches des stations de suivi envisagées.....	26
Annexe 6 - Exemples de rendu cartographique à partir d'une base de données géoréférencée.....	32

## I - CONTEXTE DE L'ETUDE

---

La ZABR (Zone Atelier « Bassin du Rhône ») travaille depuis son origine en étroite concertation avec les acteurs institutionnels de l'eau du bassin du Rhône. Avec ceux-ci, elle est en train de définir son programme d'actions, en termes de recherches finalisées, et d'aide à la décision.

Le nouveau cahier des charges de la CNR invite celle-ci à mettre en place « ***un observatoire sédimentaire permettant de définir les actions à mener dans le domaine du transit des limons, sables et graviers, et du maintien de la capacité morphogène des crues*** ».

**La CNR a souhaité que la ZABR fasse des propositions pour préciser quel type d'observatoire permettrait de répondre à l'objectif fixé.** Le cahier des charges de la CNR étant peu précis, la première question porte sur l'observatoire en tant que tel. Il s'agit alors pour la ZABR d'apporter des propositions concrètes sur :

- les objectifs d'un observatoire pour la gestion sédimentaire du Rhône (notamment en terme de connaissance de flux et de transit),
- le bilan de l'existant et le besoin de données nouvelles,
- le périmètre géographique donné à l'observatoire (fleuve, bassin versant?),
- sa dimension temporelle (notamment les pas de temps de l'observatoire),
- les modalités de sa mise en place (organisation des données, association d'autres acteurs, réflexion sur le cadre juridique de l'utilisation des données),
- les modalités de son insertion dans les processus d'aide à la décision.

Dans sa proposition méthodologique, le comité scientifique réuni au sein de la ZABR a défini des objectifs principaux pour le futur observatoire des sédiments. L'étude préliminaire consiste ainsi à :

- mieux connaître les apports sédimentaires à la Méditerranée,
- préciser les liens entre le dépôt et le stockage des sédiments d'une part et l'écoulement des crues d'autre part,
- préciser les interactions entre le dépôt des sédiments et la diversité des milieux d'intérêt écologique,
- préciser les questions relevant du domaine de la pollution, liées en particulier aux relations eaux-sédiments,
- mettre en place une organisation des connaissances entre les différents observateurs des sédiments du Rhône.

La première étape du travail, objet de ce rapport, a été de recenser la documentation existante et de classer les références en fonction des thèmes prédéfinis. L'analyse de cette base de méta-données permettra d'identifier les thèmes particulièrement riches en informations et les thèmes plus pauvres en données.

## II - METHODOLOGIE

---

Pour mener à bien la mission confiée par la Compagnie Nationale du Rhône, la première phase du travail a consisté à recenser et analyser la bibliographie traitant du sujet des sédiments du Rhône et de sa plaine alluviale. Etant donné le volume de documents pouvant exister sur ce sujet, il a été décidé d'une part, de limiter les recherches au fleuve en excluant ses affluents et d'autre part, de concentrer les efforts sur des questions-clés, les plus à même de répondre aux attentes de la CNR, dans l'objectif d'apporter des éléments pour la mise en place d'un observatoire des sédiments du Rhône.

A cette fin, en concertation avec la CNR, le comité scientifique a déterminé quatre thèmes dans le but i) de cibler nos recherches de documentation et ii) d'organiser les éléments de réponse en fonction de questions précises.

Les quatre thèmes ont été déclinés en sous-thèmes, déterminés tout d'abord à partir de notre connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes et du Rhône en particulier, puis complétés au cours du recensement documentaire. Ce travail a rapidement soulevé des questions quant au plan élaboré *a priori*.

### II.1 - Recensement de la documentation disponible en fonction du temps imparti

La mission a couru sur 3 mois et a été réalisée par deux personnes à mi-temps aidées d'une stagiaire du CEREGE. Les résultats du recensement bibliographique ne peuvent donc être exhaustifs mais là n'était pas le but. L'objectif était de connaître le type de données existantes, les thèmes traités et les questions restant en suspens, les opérations effectuées, leur contexte et leur fréquence lorsqu'elles sont amenées à être reconduites régulièrement, la méthodologie appliquée, leurs effets directs sur le milieu...

La documentation a été consultée dans les organismes de recherche connus pour travailler sur le Rhône, les organismes de gestion de l'eau, le bureau d'étude ayant réalisé l'étude globale sur le Rhône et bien sûr la Compagnie Nationale du Rhône. Une recherche a également été effectuée par Internet (annexe 1). Tous les organismes concernés par le Rhône n'ont pu être consultés, faute de temps.

### II.2 - Présentation des thèmes

#### **Thème 1 : THEORIE DU FONCTIONNEMENT SEDIMENTAIRE DANS LE SYSTEME RHODANIEN**

- Erosion des sols -> apports en MeS
- Erosion des versants et réajustement du lit -> apports en charge de fond
- Stock hérité -> plaines alluviales (périodes glaciaires et Holocène)
- Rythmes de stockage / déstockage naturels. Actuellement, situation déficitaire : réduction du transport en suspension, réduction ou augmentation du charriage (en fonction des secteurs)
- Aménagements : stockage / déstockage en lit mineur / en plaine.

## Thème 2 : – L'HYDROSYSTEME RHONE – TERMES DU BILAN CONTEMPORAIN

### **2.1 - Flux entrant : apport des affluents**

### **2.2 - Remobilisations sédimentaires**

2.2.1 - Remobilisation aux dépens des stocks naturels : dynamique du lit mineur (incision, érosion latérale)

2.2.2 - Déstockages assistés : chasses de réservoirs, curages/extractions d'entretien

### **2.3 – Stockages**

2.3.1 - En lit mineur (exhaussement, remplissage des fosses d'extraction)

2.3.2 - Sur les marges (berges)

2.3.3 - En lit majeur (plaine alluviale, annexes aquatiques)

2.3.4 - Provoqués : retenues, seuils de fond, endiguements, casiers, canaux de dérivation...

### **2.4 – Transit des sédiments**

2.4.1 - MES

2.4.2 - Charge de fond

### **2.5 – Sorties du système**

### **2.6 – Bilan sédimentaire du système Rhodanien**

2.6.1 - Granulométrie

2.6.2 - Volumes charriés

2.6.3 - Apports à la Camargue

2.6.4 - Apports au littoral

2.6.5 - Apports à la plate-forme

2.6.6 - Impacts anthropiques sur le bilan sédimentaire

2.6.7 - Points sensibles ou caractéristique sur le cours du Rhône

## Thème 3 : – LES PROCESSUS EN ACTION : LES CRUES ET LES SEDIMENTS

### **3.1 – Impacts des crues sur les sédiments**

3.1.1 - Mise en mouvement et transit des MeS

3.1.2 - Mise en mouvement et transit de la charge de fond

### **3.2 – Impacts de la dynamique morphologique du lit sur les écoulements de crues et les débordements**

3.2.1 - Impacts sur la hauteur des crues, l'hydrogramme, la vitesse d'écoulement, l'étendue des débordements....

3.2.2 - Impact de l'accumulation sédimentaire dans les aménagements sur l'écrêtement des crues

- dans les retenues des barrages
- dans les canaux d'amenée et de fuite
- dans les vieux-Rhône

## Thème 4 : - SEDIMENTS ET DIVERSITE DES MILIEUX D'INTERETS ECOLOGIQUES

### **4.1. Dans le chenal**

- 4.1.1 - Frayères : granulométrie, colmatage...
- 4.1.2 - Sédiments et macro-invertébrés
- 4.1.3 – Nidification des oiseaux sur les bancs de galets
- 4.1.4 - Sédiments et végétaux aquatiques ou semi-aquatiques
- 4.1.5 - Sédiments et diversité des habitats : survie des individus et des espèces
- 4.1.6 - Turbidité
- 4.1.7 – Milieux interstitiels

### **4.2. Dans la plaine alluviale**

- 4.2.1 – comblement des bras morts et faune
- 4.2.2 - comblement des bras morts et diversité végétale
- 4.2.3 - Stabilité des dépôts sédimentaires (ou dynamique sédimentaire) et diversité des peuplements en plaine alluviale

## Thème 5 :- POLLUTION, RELATIONS EAUX-SEDIMENTS

### **5.1 - Origine de la pollution et contamination des sédiments**

- 5.1.1 - Phénomène de piégeage de la matière organique en phase de dépôt/décantation sédimentaire. La MO est-elle minéralisée ?
- 5.1.2 - Rôle du dépôt (processus de décantation) des sédiments dans le piégeage des polluants associés
- 5.1.3 - Pollutions d'origine agricole (nutriments, engrais, herbicides et pesticides : NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>), industrielle et domestique (métaux : Pb, Cd, Cu, Zn, Al, Ti, Cr et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) dans la phase dissoute
- 5.1.4 - Pollutions issues des installations nucléaires, des accidents et interactions sédiments-radioéléments naturels

### **5.2 - Pollution des sédiments et diffusion**

- 5.2.1 - Contamination de la chaîne alimentaire, bioaccumulation dans les organismes
- 5.2.2 - Sédiments et germes pathogènes
- 5.2.3 - Quelle part représente la pollution émise par les sédiments par phénomène de diffusion ?

### **5.3 - Rôle tampon des sédiments sur la pollution (stockage)**

### **5.4 - Pollution par remobilisation des sédiments (contaminés ?)**

- 5.4.1 - Dans les opérations de dragage ou de chasse
- 5.4.2 - Dans les opérations d'extraction
- 5.4.3 - Lors des déstockages de crue

### **5.5 - Quels sont les risques liés aux milieux anoxiques (Fe et Mn dans les eaux potables)**

### **5.6 - Quel est l'apport en pollution à la Méditerranée ?**

### III - RESULTATS

---

#### III.1 - Organisation des résultats

La consultation des documents nous a amenées à modifier le plan élaboré *a priori* afin de l'adapter aux questions traitées dans la bibliographie et de manière à mieux répondre à la problématique.

Nous avons recensé les documents d'une part dans une liste générale, chaque référence étant répétée autant de fois qu'elle a de thèmes et sous-thèmes. De cette façon, il est possible d'effectuer une recherche par thème et sous-thème aussi bien que par nom d'auteur, année ou localisation... (annexe 3). Chaque référence a également fait l'objet d'une fiche individuelle présentant notamment l'objectif de l'étude et la méthodologie appliquée (annexe 4).

La synthèse thématique de ces méta-données a ensuite été réalisée à partir de cette liste et des fiches individuelles.

#### III.2 - Résultats par thème et sous thème

##### THÈME 1. - DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

#### 1.1 - Contexte sédimentaire

Le bassin versant du Rhône s'est construit au cours de l'histoire géologique. En amont du couloir rhodanien, l'influence des glaciers alpins, notamment lors de la dernière grande période glaciaire (Würm), a été prépondérante dans la formation du modelé des reliefs et des vallées alluviales actuelles ; en aval de Lyon, la structure est déterminante. Le fleuve s'écoule dans une vallée alternant des secteurs de plaine alluviale plus ou moins larges et des défilés étroits. C'est essentiellement pendant les périodes froides et interglaciaires que les stocks sédimentaires se sont constitués : par le remplissage des ombilics glaciaires en amont de Lyon et par le colmatage des cuvettes structurales en aval de Lyon. Depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle (fin du petit Age de Glace), on observe les effets d'une amélioration climatique qui se traduit par une moindre fréquence des très fortes crues (Antonelli, 2002 ; Arnaud Fassetta, 1998), et les impacts d'une pression anthropique forte et interventionniste sur le milieu (reboisement des terrains de montagne, extractions massives dans les lits des cours d'eau, endiguements et aménagements hydroélectriques, urbanisation des plaines alluviales...).

Les apports sédimentaires naturels grossiers aux cours d'eau ont fortement diminué, comme l'atteste l'extinction de nombreux torrents (Peiry *et al.* 1994) et les stocks disponibles ont été réduits par les nombreuses extractions et la réduction de la superficie des zones soumises à la dynamique fluviale (Bravard, 1994). La période actuelle est donc globalement une période déficitaire en apports sédimentaires et la charge de fond actuellement en transit ou potentiellement disponible est issue pour sa plus grande partie du déstockage des héritages glaciaires et fluvio-glaciaires en amont de Lyon,

fluviatiles pléistocènes et holocènes en aval. Le déficit contemporain est cependant une conséquence directe des interventions anthropiques sur les cours d'eau et les bassins versants. Les nombreuses études sur les affluents du Rhône montrent ainsi un enfoncement des lits fluviaux lié à la réduction de la fourniture sédimentaire et aux activités humaines (Peiry *et al.*, 1994 ; Piégay, 1995 ; Arnaud Fassetta, 1998 ; Landon, 1999 ; Antonelli, 2002 ; Liébault, 2004 ; Raccasi, thèse en cours...). Outre le déficit de la recharge, c'est aussi le transit des sédiments qui est interrompu par les barrages avec des conséquences majeures à l'aval sur la géomorphologie et les habitats.

A hauteur d'Arles, commence la plaine deltaïque (1740 km<sup>2</sup>) caractérisée par une pente de l'ordre de 0,2 ‰ et la division du Rhône en deux bras. Le Grand Rhône et le Petit Rhône ont connu des changements géomorphologiques directement liés à la réduction des apports sédimentaires au delta par le fleuve. Le Rhône dans son delta cumule ainsi les effets de l'évolution naturelle de la dynamique fluviale et des actions anthropiques sur l'ensemble du bassin versant (Arnaud-Fassetta, Antonelli, Poyet *et al.*, Volcot...). Or, le Rhône est le principal vecteur d'alimentation du Golfe du Lion. La sédimentation est fortement influencée par la montée du niveau marin holocène et probablement par la reprise actuelle de ce phénomène.

## 1.2 - Les aménagements du Rhône depuis le 19<sup>e</sup> siècle

Cours d'eau impétueux, le Rhône a été aménagé, de manière durable depuis le 19<sup>e</sup> siècle, afin d'améliorer, dans un premier temps, les conditions de navigation (problèmes de la charge de fond, déroctage, digues et casiers dans la 2<sup>e</sup> moitié du 19<sup>e</sup> siècle), puis pour produire de l'électricité (2<sup>e</sup> moitié du 20<sup>e</sup> siècle). Ces aménagements ont fortement contraint la dynamique naturelle du cours d'eau et entraîné des modifications profondes et durables de l'hydrosystème. La construction des barrages a soulevé la question du remplissage des retenues et le besoin d'un suivi régulier. Les aménagements du 20<sup>e</sup> siècle ont touché le fleuve mais aussi la plaine alluviale puisque, outre les canaux de dérivation, ils ont été accompagnés d'un remembrement et de l'irrigation de plusieurs centaines d'hectares de terrains, de la création de chemins ruraux et de la protection contre les inondations. Les conséquences sur le fonctionnement des plaines alluviales ne sont donc pas négligeables, d'autant que les barrages ont pour effet induit l'écroulement des crues de forte récurrence. L'évolution de la morphologie du Rhône durant les deux siècles passés ne peut se départir de l'évolution des techniques, des besoins anthropiques et des préoccupations de la société. Il est cependant nécessaire de garder en mémoire que ces aménagements ont débuté alors que la période de péjoration climatique du Petit Age Glaciaire prenait fin, et que le reboisement naturel ou anthropique des bassins versants limitait l'érosion des terres et, par là, les apports sédimentaires aux cours d'eau. Depuis une vingtaine d'années, des préoccupations écologiques se sont développées qui ont créé un besoin de connaissances dans des domaines divers tels que la qualité de l'eau et des sédiments, le maintien, voire la recréation, de milieux d'intérêt écologique (frayères, îlots forêt alluviale...) et la réduction des impacts des interventions humaines sur le fleuve (débits réservés, normes sur les rejets des dragages, impact du nucléaire...).



## THÈME 2. - L'HYDROSYSTEME RHONE – TERMES DU BILAN CONTEMPORAIN

### 2.1 - Flux entrant : apport des affluents

Bien que l'étendue géographique de cette étude soit limitée au fleuve Rhône, il est utile, voire indispensable, de prendre en compte les affluents, au moins dans leur partie aval. Les affluents sont les pourvoyeurs de sédiments et de nombreuses études portent sur leur fonctionnement sédimentaire ou leur évolution morphologique au cours du siècle dernier.

L'Etude Globale Rhône dresse un bilan sédimentaire des affluents et des principaux sous-affluents du bassin du Rhône. Les méthodes utilisées sont l'étude de profils en travers, de l'évolution du lit, de la bathymétrie et des débits, ceci conduisant à la mise en place de modèles 3D de l'évolution morphologique du fleuve.

Des études universitaires existent sur la plupart des affluents concernant le fonctionnement morpho-sédimentaire ou l'évolution du lit :

Ain (Bravard *et al.* 1990, Piégay 1995, Rollet *et al.* 2005, Rollet en cours), Ardèche (Piégay, 1995 ; Landon, 1999), Arve (Peiry, 1988 ; SOGREAH, 2000-Arve), Buëch (Gautier, 1994), Drôme (Landon, 1999 ; Liébault, 2004), Durance (Allari, 1998 ; Miramont, 1998 ; Ribes, 2005), Gardon (Ribes, 1999), Eygues (Liébault, 2004), Herbasse (Landon, 1999), Isère (travaux de Peiry, EDF-AERMC 1993, thèse de Vautier, 2000), Roubion (Liébault, 2004), Saône (Astrade, 1996), Ubaye (Salvador, 1991 ; Piégay, 1995)... Ces études portent généralement sur l'incision du lit, le transit des sédiments, l'effet des crues sur la morphologie du lit... mais font rarement le bilan des apports sédimentaires au Rhône.

Les **méthodologies** appliquées sont basées sur une analyse de documents d'archives pour retracer un historique du cours d'eau et sur des données récoltées sur le terrain : comparaison de profils topographiques, granulométries des bancs de galets, prélèvements de MES, chaînes à sédiments, marquage des galets, application de formules de transport solide type Meyer-Peter.

Ces études ont porté généralement sur une partie du cours d'eau (basse vallée ou tronçon à enjeu particulier), plus rarement sur la totalité du linéaire. La plupart considèrent une échelle de temps de l'ordre du siècle (de la moitié du 19<sup>e</sup> siècle à nos jours) ; elles s'étendent parfois à la période Holocène.

Notons également que la CNR a développé une procédure de « *surveillance et entretien des lits du Rhône et de ses affluents, et du chenal navigable* » : il existe une liste des « *affluents nécessitant un entretien* ». La surveillance consiste à lever la bathymétrie du lit à intervalles de temps réguliers (non précisé dans la procédure), de comparer la topographie et d'établir une cubature par rapport à l'année précédente et à l'année d'origine. Le bilan ainsi réalisé détermine le besoin d'intervention pour maintenir la ligne d'eau à un niveau déterminé.

## 2.2 - Remobilisations sédimentaires

### 2.2.1- Remobilisation aux dépens des stocks naturels : dynamique du lit mineur (incision, érosion latérale)

Le futur observatoire des sédiments du Rhône portera sur le Rhône actuel aménagé. De ce fait, les données les plus intéressantes pour comprendre le fonctionnement sédimentaire sont celles qui concernent le Rhône aménagé ou qui comparent les dynamiques avant / après aménagement. Les principales études ont été menées, sur le haut Rhône, par J.P. Bravard et D. Poinart des Châtelliers et concernent le Rhône avant aménagement et les Rhône court-circuités après aménagement. Sur le Rhône aval, trois secteurs regroupent la majorité des études : le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon et de Donzère-Mondragon (Poinart), et le delta (Antonelli, Arnaud-Fassetta, Maillet, Quisserne, Sabatier...). Les îles sont un élément particulièrement concerné dans le cadre des opérations de restauration du Rhône. Plusieurs projets ont été élaborés et sont à des phases différentes de réalisation : îles de Pierre-Bénite, île de la Platière à Péage-de-Roussillon, haut Rhône de Chautagne et de Brégnier-Cordon. Pour le Rhône aval, des projets sont en cours de montage pour la île Saxy.

Les techniques d'observation des processus utilisés sont principalement des mesures topographiques et/ou bathymétriques, des études diachroniques de documents iconographiques, des marquages de galets dans le cadre d'études de transport solide par charriage.

### 2.2.2- Déstockages assistés : chasses de réservoirs, curages/extractions d'entretien

Les données ont été acquises par la CNR, VNF, la DRIRE. Elles sont basées sur des campagnes de terrain et sont disponibles à la SOGREAH. Ces données sont rassemblées au sein de l'Etude Globale Rhône (IRS, 2000). Celle-ci établit un diagnostic actuel des remobilisations sédimentaires par comparaison à la situation avant aménagement. L'échelle temporelle varie en fonction des études mais concerne principalement la période pré-aménagement à aujourd'hui. En fonction du type de remobilisations étudiées, l'échelle spatiale varie.

Les études traitent des chasses et de leurs conséquences, des modifications morphologiques du Rhône et enfin caractérisent les aménagements et leurs conséquences (comparaison de profils en travers). Les sédiments sont caractérisés par des analyses granulométriques et de carbone organique total (COT). Des calculs hydrauliques, des évaluations de volume de sédiments dragués sont effectuées.

## 2.3 - Stockages

Les dynamiques de stockage des sédiments sont étudiées dans un objectif soit écologique (relations sédimentation – successions végétales, comblement des îles), soit du fonctionnement des aménagements (remplissage des retenues, dépôts dans les canaux et contre-canaux), soit de

connaissance de la dynamique deltaïque en fonction de l'évolution des milieux sédimentaires. Il s'agit, dans le cadre de recherches universitaires, de décrire les relations entre les dépôts sédimentaires, la granulométrie et le développement des communautés végétales sur les bancs de galets et les marges (Bravard, Pautou), les vitesses de sédimentation dans les lônes (Citterio et Piégay soumis, Rostan 1997, SOGREAH), plus globalement la dynamique sédimentaire dans le chenal, ses marges et en plaine alluviale (Arnaud, Bravard, Quisserne, Roditis, Sabatier L., Salvador) ou dans le delta (Antonelli, Carrio, Hensel, Quisserne) et l'impact des aménagements sur les dépôts de sédiments (Bravard, Klingeman, Poinart, Salvador, Savey et Deléglise). La CNR produit de nombreuses données quant aux stockages provoqués, le suivi des aménagements étant inscrit à sa charge. Elle réalise pour cela des profils topographiques en travers distants de 100 m, environ tous les 3 ans sur le haut-Rhône et tous les ans sur le bas Rhône, pendant et après les crues, avant et après les chasses.

Les études portant sur le bas Rhône sont souvent ponctuelles (quelques mois à deux ans) et basées sur l'observation d'une zone particulière propre à chaque sujet. Elles datent de la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle et ne s'étalent que sur quelques années.

## 2.4 - Transit des sédiments

Le transit sédimentaire est étudié par de nombreuses personnes et de différentes manières. *L'Etude du transport solide* dans l'Etude Globale (IRS, 2000) peut être considérée comme une étude de référence à l'échelle du Rhône.

Les études sont généralement réalisées à proximité de l'embouchure et sont récentes (Antonelli, 2002 ; Mailet, 2005...). Le transit sédimentaire est évalué par diverses méthodes telles que les flux de radioactivité (études IRSN), la chimie des transferts particuliers et dissous (Ollivier, 2001), par l'évaluation de la charge polluante (Pont *et al.*, 1996), par prélèvements de MES (Carrio, 1988 ; Pont, 1992 ; Pont et Bombled, 1995 ; Pont *et al.*, 1996 ; Pont, 1997 ; Antonelli, 1999 ; Antonelli, 2002 ; Antonelli *et al.*, 2004 ; Ollivier, 2005). Certaines études concernent les impacts engendrés par un aménagement hydroélectrique sur le transit (Henry M., Gemaelhing, 1957 ; Klingeman *et al.*, 1999). Les travaux sont généralement basés sur le transport solide par suspension (Antonelli, 2002 ; Roditis, 1993 ; Ollivier, 2005) et peu d'études se focalisent sur le charriage et la charge de fond (Ramet, 1962 ; CNR, 1995). Une comparaison entre les évaluations théoriques et expérimentales du débit solide dans le tiers central du Rhône a été effectuée en 1957 par Gemaelhing, CNR.

## 2.5 - Sorties du système

Les sorties du système (hors littoral) sont liées aux extractions de granulats. On pourrait également se poser la question de savoir si les sédiments stockés dans la plaine alluviale, à l'arrière des digues, dans le fond des retenues... sont mobilisables ou non. S'ils ne sont plus mobilisables, en l'état actuel de l'hydrologie et de la dynamique fluviale, doivent-ils être considérés comme sortis définitivement du

système ou stockés temporairement ? D'autre part, des données anciennes, avant aménagement, doivent exister aux archives départementales mais ont peu d'intérêt pour la question posée ici.

Si l'on considère uniquement les extractions, la CNR est la principale source de données. Les extractions sont effectuées dans le cadre de l'entretien des aménagements (retenues, canaux, contre-canaux, RCC...) avec pour objectif de conserver une certaine géométrie pour assurer l'écoulement sans débordement, la hauteur de la chute et la production d'électricité... Des mesures et des bilans récapitulatifs annuels sont réalisés sur tous les aménagements du Rhône. Des données ponctuelles ont été recueillies dans le cas d'extractions pour la construction d'autoroutes, dans le cas de problèmes d'envasement des vannes de fond ou d'un turbidimètre...

Les volumes à extraire sont calculés à partir de la comparaison de profils topographiques / bathymétriques en travers et de la caractérisation granulométrique des sédiments.

L'Etude Globale Rhône (SOGREAH 2000) présente une estimation de l'ensemble des volumes extraits sur l'ensemble du bassin du Rhône.

## **2.6 – Bilan sédimentaire du système Rhodanien**

Le bilan sédimentaire du système rhodanien est régulièrement relié aux études de transit réalisées à proximité de l'embouchure. Ce sont des études généralement effectuées par des universitaires sur des durées limitées. A partir de ces travaux, l'Etude Globale Rhône fait une synthèse du bilan sédimentaire pour les MES et la charge de fond. Les caractéristiques granulométriques des sédiments dans le Rhône et la plateforme sont étudiées par Santiago *et al.*, 1992 ; Antonelli, 1999, 2002 ; Carrio, 1988 ; Arnaud et Manino, 2002. Les polluants et les nutriments sont souvent utilisés pour quantifier l'apport du Rhône à la Méditerranée (El Habr et Goltherman, 1987 ; Pont, 1996 ; Pont *et al.*, 1996 ; Ollivier, 2001 et 2005 ; Eyrolle et Duffa, 2002). De nombreuses études estiment les volumes de MES transitant au niveau de l'embouchure. Les apports au littoral et les redistributions sont étudiées entre autres par Arnaud-Fassetta, 1999 ; Suanez, 2003 ; Sabatier, 2003 ; Maillet, 2005...

Les données utilisées pour ce sous thème proviennent de la CNR et de mesures de terrain dans le cadre d'études universitaires. Les travaux se focalisent sur les modalités de transferts fluviaux-marins ainsi que les processus régissant la sédimentation deltaïque. Certaines études ont pour objectif d'évaluer l'impact d'un aménagement hydroélectrique sur le cours d'eau. Pour cela, les méthodes suivantes ont été utilisées : analyse de température, de salinité, de granulométrie, calculs des rapports MES/COP, étude de profils en travers et des lignes d'eau.

## THÈME 3. - LES PROCESSUS EN ACTION : LES CRUES ET LES SEDIMENTS

### 3.1 - Impacts des crues sur les sédiments

Les études réalisées par les universitaires, sur une échelle annuelle ou pluriannuelle (maîtrise, DEA, thèse), intègrent très souvent des épisodes de crue. Selon l'objectif de l'étude, les prélèvements sont multipliés en phase de crue et des analyses sont effectuées pour connaître l'impact de la crue sur les sédiments (granulométrie, volume, composition, nature, texture...). Des mesures de transport solide par charriage et de MES ont été réalisées sur le haut Rhône et le Rhône moyen dans les RCC (Bravard 1981, 1985, des Châtelliers 1995, Klingeman 1994) et dans les îlons (CNR – Epteau). La CNR possède des études de modélisation du transport solide, notamment dans la retenue de Chautagne. Plus simplement, elle réalise aussi des profils de vitesses, des mesures de MEST et des courbes granulométriques associées. Pour le bas Rhône, des mesures de transport solide (MES et charge de fond) ont été opérés dans le Petit Rhône et le Grand Rhône, en association avec des profils de vitesse et de granulométrie.

### 3.2 - Impacts de la dynamique morphologique du lit sur les écoulements de crues et les débordements

Ce sous thème est généralement peu étudié mais apparaît dans l'Etude Globale (IRS, 2000 ; Territoire Rhône, 2002), dans Maillot (2005) et Arnaud-Fassetta (1998) pour le bas Rhône et Bravard (1981) et CNR pour la Chautagne.

La CNR a mis en place une procédure de « *surveillance et entretien des lits du Rhône et de ses affluents, et du chenal navigable* » : « *les cahiers des charges spéciaux pour chaque aménagement des chutes imposent explicitement que les niveaux des crues ne soient pas surélevés par rapport à ce qu'ils étaient avant aménagement dans les parties non endiguées des retenues et dans les tronçons court-circuités, pour le même débit total du Rhône. Dans les parties endiguées, les cahiers des charges spéciaux fixent la revanche minimale des crêtes des digues par rapport aux lignes d'eau de la crue exceptionnelle et de l'étiage conventionnel pour le niveau normal de retenue* ».

Cette procédure s'applique à l'ensemble des tronçons du Rhône, aménagés ou naturels, appartenant à la concession CNR y compris les tronçons d'affluents incorporés à la concession : PK185 (frontière suisse) à PK 59 et seuil et écluse entre PK 5,5 et 9,2 du haut-Rhône ; du PK 5,6 du haut Rhône au PK 300 du bas Rhône pour les obligations relatives à l'écoulement des eaux ; du PK 5,6 du haut Rhône au PK 325 du bas Rhône ainsi que la liaison entre le Rhône et le bassin maritime de Port St Louis du Rhône.

Elle consiste à suivre l'évolution des fonds par des levés bathymétriques (ou topographiques en plaine inondable), d'intégrer ces données à la modélisation hydraulique des niveaux d'eau afin d'en évaluer les effets sur les lignes d'eau.

#### THÈME 4. - SEDIMENTS ET DIVERSITE DES MILIEUX D'INTERET ECOLOGIQUE

Ces études sont généralement le produit d'une demande de la DIREN, Agence de l'eau RMC, VNF ou Syndicat intercommunal de protection des berges et bordures du Rhône en Savoie. Ce sont souvent des études à long terme (de plusieurs années au siècle) et locales (lône, RCC,...) parfois reliées aux influences anthropiques.

Les études correspondant à ce thème répondent à des objectifs divers, tels que (1) l'analyse de l'état initial d'un site et de son environnement, (2) l'analyse des effets d'un projet sur l'environnement terrestre et aquatique, (3) l'étude des effets d'un programme de réhabilitation des tronçons des RCC e des milieux annexes, du rétablissement des communications piscicoles et de l'axe de migration qu'était le fleuve. Les méthodes utilisées sont l'étude de transects, de la végétation, des invertébrés, des poissons et de MES.

Sur le haut Rhône, les travaux du PIREN Rhône (écologues et géographes de Lyon et Grenoble : Roux, Amoros, Bravard, Pautou, Girel, ...), menés depuis la décennie 1980, portent sur le fonctionnement géodynamique et écologique des tronçons à plaine alluviale. Les changements écologiques sont mis en relation avec la dynamique fluviale et l'ensemble est observé dans un contexte anthropique particulier et en évolution. L'approche géo-historique est ici fondamentale dans l'explication des processus et des changements. Ces travaux sont basés sur l'analyse de données de terrain et des documents historiques. Ils apportent peu d'informations quantitatives en termes d'impact ou de changement des processus mais permettent de comprendre le fonctionnement globale d'un tronçon de cours d'eau, de ses différents compartiments (physiques et biologiques) et ce, à différentes échelles de temps.

De nombreux travaux ont été réalisés par les écologues de Lyon1 – cnrs, sur le fonctionnement des lônes du Rhône à partir d'un diagnostic basé sur l'étude des végétaux aquatiques (Amoros, Bornette, Henry C...) ou d'autres éléments biologiques (cladocères, invertébrés...), physico-chimiques (nutriments, Cs, Pb... Rostan 1997). Les autres compartiments (chenal, casiers, berges, canal...) sont également explorés : milieux interstitiels (Dole-Olivier, 1983 ; Claret *et al.* ,1999 et 2001 ; Creuzé des Châtelliers, 1991), poissons (Carrel, 1986 ; DESMID), macro-invertébrés (Fruget J.F., 1989 et 2003),

#### THÈME 5. - POLLUTION, RELATIONS EAUX-SEDIMENTS

La pollution par les sédiments peut être abordée selon deux points de vue : le sédiment en tant que polluant et le sédiment en tant que vecteur des polluants.

##### Le sédiment - polluant

Le sédiment est un polluant direct lorsqu'il affecte l'équilibre des milieux aquatiques : colmatage du substrat, augmentation de la turbidité... Cet élément est étudié sur le haut Rhône lors des chasses. Des

mesures sont effectuées avant, pendant et après les opérations de vidange. Les consignes établissent des concentrations limites en MES pour ne pas affecter outre mesure les RCC.

La CNR a aussi mis en place une « *consigne qualité des eaux pour les rejets en continu lors de dragages du Rhône et de ses affluents* » qui fixe les limites concernant les teneurs en ammoniacque NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et MEST dans les rejets de dragage sur l'ensemble de la concession CNR.

#### Le sédiment - vecteur des polluants

Les études concernant les pollutions d'origine radioactive (naturelle et artificielle) sont réalisées principalement à l'IRSN (ex-IPSN) par Eyrolle, Duffa, Rolland, Charmasson, Lambrechts et Descamps. Les polluants d'origine agricole, industrielle et domestique sont étudiés au CEREGE (Radakovitch, Ollivier, 2001 et 2005; Elbaz-Poulichet, Garnier *et al.*, 1996) et par l'équipe dirigée par D. Pont (1996) dans le cadre de l'évaluation des charges polluantes du Rhône à la Méditerranée. Ces études sont localisées en aval de Marcoule et dans le Grand Rhône. Les méthodes utilisées sont la mesure des concentrations en polluants, des analyses granulométriques, de COT, de NOT, de matière calcinable, de dérivés azotés et phosphorés.

Une synthèse un peu ancienne des connaissances sur la qualité du fleuve Rhône est proposée par l'Agence de l'eau RMC et le Ministère de l'Environnement (1988).

Les colloïdes peuvent être d'importants vecteurs de polluants de par leur forte capacité d'adsorption. Peu de travaux pourtant ont concerné ces colloïdes excepté pour leur rôle dans le transport de radionucléides artificiels (Dai *et al.*, 1995 ; Eyrolle et Charmasson, 2004 ; Rolland 2005). La pollution engendrée par la remobilisation de sédiments contaminés et l'impact des crues a été abordée par Antonelli *et al.* (soumis) et Rolland (2005) pour les flux de radioéléments artificiels. Ces études sont effectuées sur plusieurs années dans le Grand Rhône.

Aucune étude ne s'occupe de la pollution par diffusion depuis les sédiments et du rôle tampon des sédiments dans le stockage de la pollution ni des risques liés aux milieux anoxiques. Un travail sur ces sous-thèmes est à envisager car la diffusion pourrait être un apport conséquent pour certains métaux, par exemple, 30 % du cuivre dissous dans le Lot viendrait de la diffusion du sédiment. Des précisions sont à donner sur les compartiments concernés par les risques liés aux milieux anoxiques.

Les polluants ne sont pas étudiés sur le haut Rhône, à l'exception des radionucléides utilisés comme marqueurs pour la datation des sédiments fins et l'estimation des vitesses de sédimentation dans les lînes (Rostan 1997). Des suivis de l'incidence des centrales nucléaires ou des rejets de polluants sont réalisés par le Cemagref mais portent sur la faune piscicole et non sur les sédiments.

## IV - CONCLUSION

---

### IV.1 - Bilan de la recherche documentaire

Ce travail a mis en évidence une masse documentaire plus importante pour le Rhône amont et aval que pour le Rhône moyen. Les objectifs des études diffèrent d'un secteur géographique à l'autre.

Sur le haut Rhône, les questions sont de deux ordres :

- l'organisation et les impacts des chasses, l'entretien des aménagements,
- les milieux d'intérêt écologique, sur les RCC ou le Rhône total et les plaines alluviales.

Ceci implique des mesures de volumes des stocks sédimentaires, le suivi des MES, l'évolution des formes fluviales, les dynamiques sédimentaires (transport solide par charriage dans les RCC et les canaux, vitesses de sédimentation en plaine alluviale et dans les lônes...) et des approches pluridisciplinaires géomorphologiques, biologiques (végétation aquatique et terrestre, physico-chimie, faune, ...) et hydrauliques.

Sur le Rhône aval, au sud de Pont-St-Espirit, outre les cahiers des charges spéciaux des aménagements de la CNR, les études portent principalement sur :

- le transit et le bilan sédimentaire dans les deux bras du Rhône, sur le delta et à l'embouchure du Rhône,
- les polluants avec notamment les rejets de l'usine de Marcoule.

Le Rhône moyen est moins présent dans les études recensées. Deux secteurs concentrent la majorité des études : Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon.

Les milieux d'intérêt écologique font l'objet d'études nombreuses depuis les années 1980. Tous les compartiments de l'hydrosystème sont concernés : chenal actif, milieux interstitiels, lônes, casiers, plaine alluviale... Mais rares sont les travaux qui considèrent le sédiment comme élément majeur et qui mettent en relation les dynamiques sédimentaires et les communautés vivantes. Ces milieux sont étudiés sur tout le linéaire du Rhône et ses marges.

### IV.2 - Propositions

#### Objectifs

La mise en place d'un observatoire des sédiments nécessite une approche globale, à l'échelle du Rhône et de son bassin versant. Cet observatoire peut être envisagé comme un organisme fédérateur permettant de mutualiser l'instrumentation et les bases de données, d'homogénéiser les protocoles de mesure sur l'ensemble du Rhône et d'assurer une continuité historique des suivis. De cette manière, il sera possible d'atteindre une meilleure compréhension du fonctionnement sédimentaire du Rhône, à l'échelle du système et de ses différents compartiments. La gestion du Rhône pourra être élaborée dans une logique de bassin avec une cohérence globale et une application locale.



L'objectif principal de l'observatoire est de mesurer la sensibilité des tronçons du Rhône aux changements morfo-sédimentaires. Cette sensibilité s'exprime à travers les dynamiques d'érosion / dépôts et les effets des changements morphologiques (sur les lignes d'eau, les habitats écologiques...).

Dans le cadre ses obligations, la CNR répond à cet objectif à travers

- le suivi de la géométrie du lit du Rhône
- et le suivi du transit des sédiments.

L'intérêt d'un observatoire est aussi d'élargir le champ des investigations afin de constituer une base de données aussi complète que possible sur le sujet des sédiments et des problématiques relatives. Cette base de données mutualisée permettra de mener une réflexion en concertation avec les partenaires impliqués. Dans ce cadre, nous proposons de mettre en place

- un suivi des habitats écologiques,
- un suivi de la qualité de l'eau,

le substrat déterminant d'une part l'habitabilité des milieux et constituant d'autre part le support de la fixation et de la diffusion des polluants.

### Stations et mesures

Pour apporter une réponse adéquate à la question de la gestion des sédiments, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement du système Rhône. Or, le fleuve est compartimenté par une série d'aménagements qui introduit une discontinuité spatiale, tant longitudinale que latérale. De ce fait, deux étapes sont proposées pour instaurer des stations de suivi :

- 1) une étude détaillée de l'ensemble des données disponibles sur les sédiments du Rhône par aménagement, de manière à décrire la structuration amont-aval du Rhône, de déterminer les sources sédimentaires et les points de rupture du transit sédimentaire. A partir de ces éléments, il sera possible de localiser des stations de suivi représentatives d'un tronçon déterminé ;
- 2) à partir de l'analyse du point 1) ou à partir d'un choix d'expert, des stations de suivi seront mises en place. Elles peuvent correspondre à des stations de mesure déjà existantes de manière à intégrer les chroniques et suivis historiques.

### *Mesure des MES et des polluants*

Le long du Rhône et dans les affluents, de nombreuses stations de mesures et de prélèvements de MES sont exploitées par les Agences de l'Eau/Diren. Ces mesures sont généralement reliées aux paramètres physico-chimiques depuis plusieurs années. Il existe par ailleurs, une station observatoire « Rhône aval » localisée à Arles dont l'IRSN est maître d'oeuvre du projet. De nombreuses mesures sont réalisées, telles que le flux particulaire, le flux de polluants, le flux de matières organiques et de nutriments. Des mesures plus ponctuelles sont effectuées à l'occasion d'études particulières ou par des organismes de gestion locale de sites particuliers (Réserves Naturelles de France par exemple).

Des mesures en stratification sont à prévoir dès lors que le débit est supérieur à une répartition homogène des MES dans la colonne d'eau (3000 m<sup>3</sup>/s dans le delta), de même que des mesures de

MES dans la couche limite. En période de crue, un suivi fiable est à mettre en place au niveau des stations existantes, avec des échantillonnages plus nombreux.

La continuité des données historiques est à établir. Pour cela, il sera nécessaire tout d'abord de rassembler les données anciennes, d'identifier les protocoles de mesure utilisés puis de recalibrer et recalculer les résultats.

Trois stations sont proposées à titre d'expert pour assurer le suivi des MES et des polluants :

- Jons, située à l'aval du Rhône amont (les données disponibles depuis 1970),
- Chasse-sur-Rhône, à l'aval de Lyon (les données disponibles depuis 1970),
- Arles (les données disponibles depuis 1987).

Ces stations permettraient de représenter les trois tronçons du Rhône amont, moyen, aval, et de mesurer la charge qui arrive au delta. Le Rhône recevant des apports importants de la Saône et de la Durance, il est envisagé de suivre également deux stations du Réseau National de Bassin (RNB), l'une sur la Saône aval à Saint Bernard (suivi depuis 1987) et l'autre dans la Durance aval (Caumont-sur-Durance, suivi régulier depuis 1997).

#### *Mesure de la charge de fond*

Le suivi de la géométrie du lit est en partie déjà réalisé par la CNR *via* les profils en travers levers tous les 100 m. Ces profils concernent le Rhône dans la limite du domaine concédé et seront à étendre sur les marges. Ils permettent de calculer les volumes stockés et déstockés après un évènement ou une série d'évènements hydrologiques. Ces mesures pourraient être étendues aux marges du domaine concédé de manière à observer les dynamiques sédimentaires en milieu terrestre inondable. Les mesures consisteront à lever une topographie précise de façon récurrente et après des évènements hydrologiques de type bisannuel ou plus rares, et de réaliser des prélèvements de surface à des fins d'analyses granulométriques, physico-chimiques et toxicologiques.

Afin d'établir un bilan historique de sédimentation et de pollution, des carottages sont envisagés sur les marges pour évaluer les effets d'éventuels déstockages en termes de granulométrie et de qualité des eaux et des sédiments, et les effets du relargage des polluants *via* les échanges physico-chimiques en milieu anaérobie sur la qualité des eaux de nappe et de surface.

Au niveau du transit de la charge de fond, il n'existe pas de mesures en continu. Des dispositifs de mesure existent mais sont coûteux (bouteille Delft : 13500 €, BTMA : 6000 €).

Pour chacune des trois stations, les mesures seront effectuées dans la retenue et dans le RCC. Les stations proposées sont :

- aménagement de Chautagne ou de Brégnier-Cordon, c'est-à-dire une station le plus possible à l'amont à la sortie des gorges,
- aménagement de Montélimar pour le Rhône moyen,
- aménagement de Vallabrègues pour le Rhône aval.

### Gestion de l'observatoire

La CNR a en charge la création d'un observatoire des sédiments du Rhône. Nous proposons de mettre en place un observatoire aux objectifs étendus à des problématiques connexes à celles qui relèvent strictement de la compétence de la CNR (écotoxicologie, milieux d'intérêt écologique). Pour cette raison, l'observatoire devra être géré (politiquement et financièrement) en partenariat avec les organismes concernés par les suivis engagés (Agence de l'Eau, Diren, IRSN, GrandLyon...).

Concrètement, les opérations de suivi et la base de données devront être gérées par un ou des chargés de mission, de même que les relations entre les partenaires, entre les partenaires et les organismes extérieurs (financeurs, entreprises, associations...). La base de données sera géoréférencée et organisée au sein d'un système d'information géographique. Ce SIG permettra de mettre en place une représentation géographique des résultats des mesures, des interventions mises en œuvre, des données existantes. C'est un outil indispensable pour synthétiser le fonctionnement sédimentaire du Rhône à l'échelle du bassin et développer une vision globale à partir d'observations ponctuelles dans l'espace.

## **ANNEXES**

## Annexe 1 - Personnes et organismes contactés

Entreprise/Labo	Adresse	Service	Personnes ressources	Téléphone	Mail
CEMAGREF	3 bis, quai Chauveau - CP220 69336 Lyon Cedex 09	Unité de recherche Hydrologie - Hydraulique	Bernard CHASTAN	04 72 20 87 62	chastan@lyon.cemagref.fr
CEREGE	Europle Méditerranéen de l'Arbois - BP 80 - 13545 AIX EN PROVENCE	Equipe Géomorphologie et Tectonique	Mireille PROVANSAL	04 42 97 15 63	provansal@cerege.fr
			Olivier RADAKOVITCH	04 42 97 15 80	radakovitch@cerege.fr
CNR	rue André Bonin - 69009	Dépt Patrimoine fluvial	Eric DOUTRIAUX	04 72 00 69 14	e.doutriaux@cnr.tm.fr
CNRS UMR 5600	18 rue Chevreul - 69362 Lyon Cedex 07	Equipe hydrologie	Jean Paul BRAVARD	04 78 72 44 58	jean-paul.bravard@wanadoo.fr
			Hervé PIEGAY		piegay@sunlyon3.univ-lyon3.fr
ENTPE	Rue Maurice Audin 69518 Vaulx en Velin cedex	Laboratoire des Sciences de l'Environnement	Yves PERRODIN	04.72.04.70.70	perrodin@entpe.fr
ZABR	Domaine scientifique de la Doua, 66 bd Niels Bohr, BP 2132, 69 603 Villeurbanne cedex		Anne CLEMENS	04 72 43 61 61	zabr@urgc-hu.insa-lyon.fr
A.E.R.M.C - AGENCE DE L'EAU Rhone-Méditerranée-Corse	Les noailles, 62 la Canebière 13001 MARSEILLE - (36 47: secrétariat)	Délégation PACA-CORSE	Sylvie PICQUENOT	04.96.11.36.12	mrs.contact@eaumc.fr
A.E.R.M.C - AGENCE DE L'EAU Rhone-Méditerranée-Corse	2-4 Allée de Lodz - 69363 Lyon Cedex 07	Service Documentation	Anne Laure PETITQUEUX	04 72 71 26 84	annelaure.petitqueux@eaumc.fr
CEMAGREF	Tholonet - Aix en Provence	Unité de recherche Hydrologie - Hydraulique	Georges CARREL	04 42 66 99 33	georges.carrel@aix.cemagref.fr
CEREGE	Europle Méditerranéen de l'Arbois - BP 80 - 13545 AIX EN PROVENCE	Equipe Géomorphologie et Tectonique	Grégoire MAILLET	04 42 97 15 37	maillet@cerege.fr
			Patrick OLLIVIER		ollivier@cerege.fr
			Guillaume RACCASI	04 42 97 17 61	raccasi@cerege.fr
			François SABATIER	04 42 97 15 76	sabatier@cerege.fr
			Carolyne VASSAS	06 09 02 67 05	vassas@cerege.fr
			Claude VELLA		vella@cerege.fr
CNR	Lyon	Archives de la Direction Générale	Mme FOMBONNE		a.fombonne@cnr.tm.fr
CNRS UMR 5600	18 rue Chevreul - 69362 Lyon Cedex 07	Documentation	Chantal GERARD		chantal.gerard@univ-lyon3.fr
			Anne CITTERIO	06 85 02 52 38	anne_citterio@yahoo.fr
CNRS UMR 5023	Bat. Forel - Université Lyon 1 - 43 Bd du 11 novembre 1918 - 69622 Villeurbanne Cedex	Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes fluviaux (LEHF)	Didier PONT - M.J. OLIVIER - J.C. ROSTAN		mjdole@biomserv.univ-lyon1.fr
IFREMER/IRSN la Seyne			Sabine CHARMASSON		sabine.charmasson@irsn.fr
IRSN	IRSN Cadarache - St Paul lez Durance - 13		Mireille ARNAUD		mireille.arnaud@irsn.fr
			Christelle ANTONELLI		christelle.antonelli@irsn.fr
			Frederique EYROLLE	04 42 19 95 12	frederique.eyrolle@irsn.fr
			Olivier MASSON		olivier.masson@irsn.fr
			Benoit ROLLAND		benoit.rolland@irsn.fr
SOGREAH	Agence d'Aix en Provence. Antélios E - Parc d'activité les Milles, 75, rue Marcelin Berthelot, 13858 Aix en provence, Cedex 3	Département Eau et Territoire	Bernard COUVERT	04 42 90 31 02 (direct) - 31 00	bernard.couvert@sogreah.fr
SYMADREM	La grande Sacristane, Rte des saintes Maries de la Mer - Arles 13200		M. ROMAC	Tel : 04 90 49 98 07, Fax : 04 90 49 98 17	
TERRITOIRE RHONE	5 cour St Ruff 26000 Valence	Directeur	Philippe WEBER	04 75 78 16 80 - portable: 06 75 19 02 75	
		Chargé de Mission	André Claude CRUMIERE	04 75 78 16 80 - portable: 06 99 37 58 29	andreclaude.crumiere@eptb-rhone.fr

Annexe 2 - Bibliographie citée dans le rapport ne faisant pas l'objet d'une fiche



### Annexe 3 - Liste bibliographique triée par thème et sous-thème



## Annexe 4 - Fiches individuelles des références

## Annexe 5 - Fiches des stations de suivi envisagées

<b>Station Bregnier Cordon + RCC ou Chautagne</b>	
Localisation	Chautagne : PK 137 - 151 Brégnier-Cordon : PK 92 - 115
Mesures faites	<p><b>Universitaires</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ géomorphologie du RCC de Chautagne après la crue de 1990 (Bravard), granulométrie des sédiments fins des bancs de galets à Brégnier-Cordon (Bravard)</li> <li>✓ végétation terrestre (Pautou),</li> <li>✓ végétation aquatique des lônes (Amoros, Bornette...),</li> <li>✓ sédimentation des lônes (Bravard – Piren Rhône, Piégay, Rostan),</li> <li>✓ pollution des aquifères (Landru),</li> <li>✓ milieux interstitiels (Claret, Marmonnier, Dole-Olivier)</li> </ul> <p><b>CNR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Profil en travers tous les 100 m</li> <li>✓ Suivi des chasses</li> <li>✓ Suivi des dragages par des profils</li> </ul> <p><b>Agence de l'Eau RMC / DIREN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Station RNB au PK 136 (Chautagne)</li> <li>✓ PK 104 (Brégnier-Cordon)</li> </ul>
Mesures à réaliser	<p><b>Retenue</b> : Profils topographiques CNR à poursuivre tous les 100 m</p> <p><b>RCC</b> : Profils en travers étendus (prise en compte de la plaine alluviale)</p> <p><b>Lônes</b> : suivis de la sédimentation (à poursuivre et étendre ?)</p> <p>Carottages localisés (granulométrie et polluants), prélèvements ponctuels de surface (granulométrie, évolution après crue, teneur en polluants).</p>
Continuité historique	Voir dans les fiches, à la CNR, et dans les Agences de l'Eau.
Partenaires	CNR, Agence de l'eau/DIREN, Universitaires
Périodicité	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Saisonnier : biologie,</li> <li>✓ Événementiel : chasse, dragage, dynamique sédimentaire . fréquence à déterminer</li> <li>✓ Evolutions physico-chimiques (à voir sur le site de l'agence de l'eau)</li> </ul>

	<b>Station Montélimar + RCC</b>
Localisation	PK 146 - 169
Mesures faites ou en cours	<p><b>CNR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Profil en travers tous les 100 m</li> </ul> <p><b>Agence de l'Eau RMC / DIREN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Station RNB au PK 169</li> <li>✓ Point de mesure étude du RCC au PK 164</li> </ul> <p><b>Bravard et CNR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sédiments fins des marges fluviales (granulométrie et métaux lourds) 2005-2006</li> <li>✓ Définition de scénarios de restauration hydraulique et écologique du Veux-Rhône (en cours).</li> </ul>
Mesures à réaliser	<p><b>Retenue</b> : Profils topographiques CNR à poursuivre tous les 100 m</p> <p><b>RCC</b> : Profils en travers étendus (prise en compte de la plaine alluviale)</p> <p>Carottages localisés (granulométrie et polluants), prélèvements ponctuels de surface (granulométrie, évolution après crue, teneur en polluants).</p>
Continuité historique	Voir dans les fiches, à la CNR, et dans les Agences de l'Eau.
Partenaires	CNR, Agence de l'eau/DIREN, Universitaires
Commentaires	

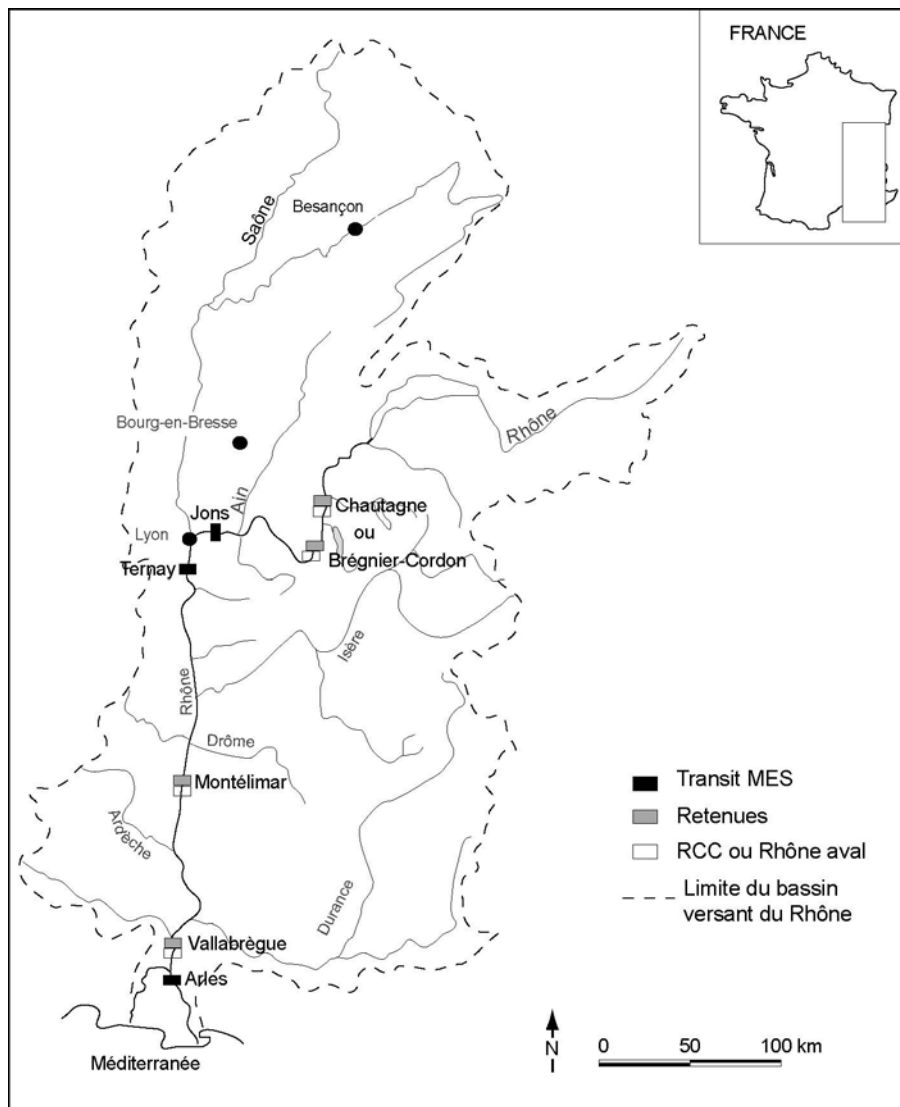
	<b>Station Vallabrègue + Rhône aval (casier Saxy ou Palier d'Arles)</b>
Localisation	
Mesures faites	
Mesures à réaliser	
Continuité historique	
Partenaire	

<b>Station OPERA d'Arles</b>	
Localisation	Sur le site des Voies Navigables de France à Arles
Caractéristiques	Locaux adaptés et étendus par l'IRSN Aménagement d'un local pour l'instrumentation du COM Station équipée d'un dispositif de pompage et de prélèvement automatique
Mesures faites	<p><b>IRSN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Prélèvements d'eau et de MES intégrés sur un mois</li> <li>✓ Echantillonnage haute fréquence en période de crue (tous les ¼ d'heure, discrétisé sur 5 filtres MES consécutifs, ayant une autonomie de 8 heures chacun soit 40 heures de suivi, reconductible)</li> <li>✓ Mesure de turbidité sur l'eau du circuit de pompage</li> <li>✓ Flux de polluants radioactifs</li> <li>✓ Flux de MO et de nutriments ?</li> </ul> <p><b>COM (depuis début 2005)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Prélèvement quotidien d'un échantillon de 2 l d'eau en 18 prises</li> <li>✓ Période de crue : 6 échantillons journaliers</li> <li>✓ Récupération des échantillons tous les 15 j</li> <li>✓ Analyses d'éléments nutritifs : nitrate, nitrite, phosphate, silicate, azote total, phosphore total, charge particulaire, azote particulaire, phosphore particulaire</li> </ul>
Mesures envisagées	<p><b>IRSN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Connaissance des flux contaminants apportés par le Rhône</li> <li>✓ Approfondir la connaissance des mécanismes de transport particulaire dans le panache du Rhône impliqués dans le devenir des radioéléments</li> </ul> <p><b>CEREGE</b> (en relation avec l'Observatoire ORME et l'ORE RESYST)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mesure de MES dans la colonne d'eau dès Q = 3000 m3/s</li> <li>✓ Mesure de la charge de fond</li> <li>✓ Etude des processus régissant les transformations du milieu entre Arles et la mer (échanges particulaire/dissous, sédimentation stockée/déstockée dans le lit...)</li> </ul> <p><b>COM – AERMC</b> (dès janvier 2006)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Analyse de contaminants chimiques par des laboratoires agréés</li> <li>--&gt; turbidimètre immergé dans le lit du fleuve plutôt que dans un circuit de pompage long, ADCP</li> </ul> <p><b>IFREMER</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Modélisation des processus intervenant dans le transport et le transfert de contaminants à l'échelle régionale</li> </ul>
Continuité historique	Depuis la création de la station : date ?
Partenaires	IRSN, Centre Océanologie de Marseille, IFREMER, CEREGE, Laboratoire d'Arles (D. Pont), Station Agence de l'eau/DIREN ?

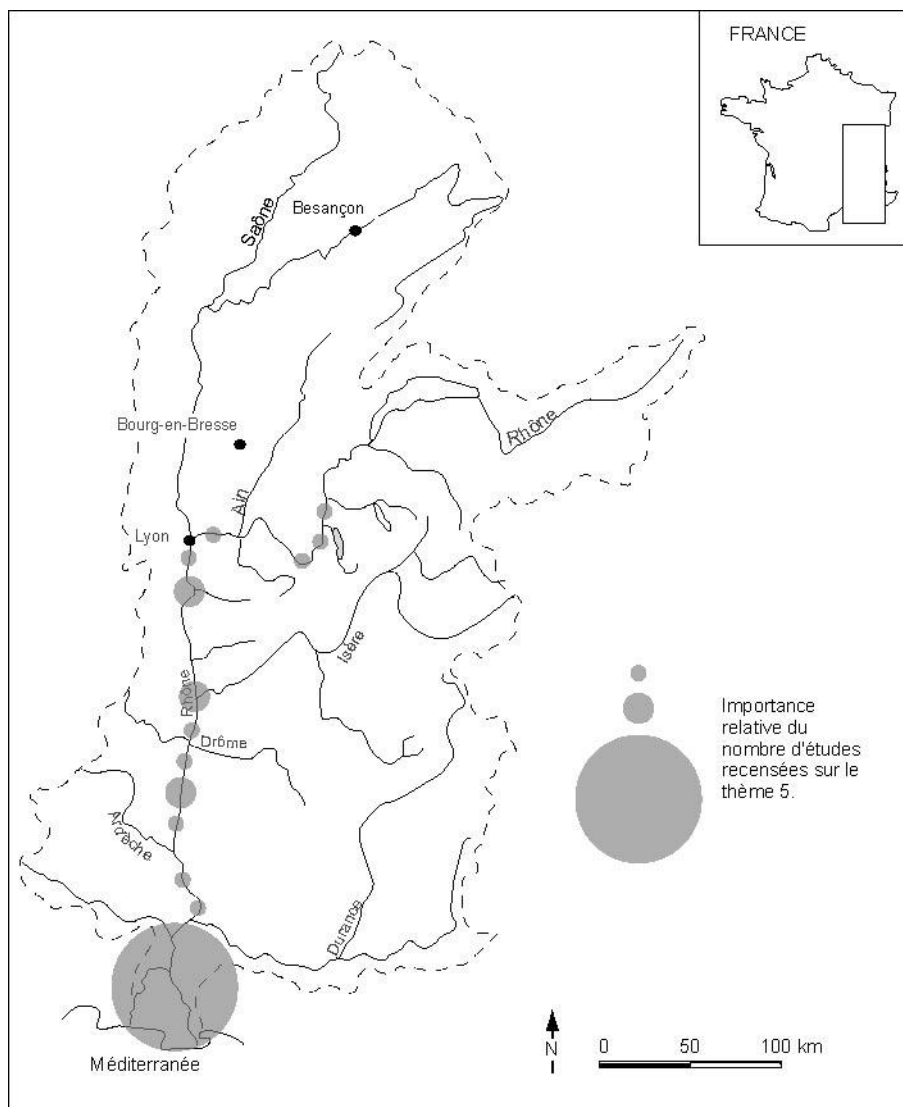
Commentaires	L'IRSN et le COM sont disposés à fournir des échantillons collectés à la station d'Arles à d'autres laboratoires désireux de profiter de cette fréquence d'échantillonnage d'eau du Rhône.
--------------	--

Annexe 6 - Exemples de rendu cartographique à partir d'une base de données géoréférencée.





Localisation des stations d'observation proposées à titre d'expert.



Représentation spatiale de richesse bibliographique sur le thème 5.