



HAL
open science

Rapport annuel 2009/2010. Synthèse des actions.

Mireille Provansal, Marc Desmet

► To cite this version:

Mireille Provansal, Marc Desmet. Rapport annuel 2009/2010. Synthèse des actions.. [Rapport de recherche] Cnrs; ENTPE; Cemagref; CEREGE; IRSN; Ifremer. 2011. <hal-03750171>

HAL Id: hal-03750171

<https://hal.science/hal-03750171v1>

Submitted on 24 Aug 2022

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.



HAL Authorization

Rapport annuel 2009/2010

Synthèse des actions

Version du 01 mars 2011

Coordination : Mireille Provansal et
Marc Desmet



2
0
1
0
S
E
M
E
S
T
R
E
2



Sommaire

Sommaire	3
Introduction Générale	3
Contexte et objectifs de l'Observatoire des Sédiments du Rhône	3
Résultats des travaux engagés par l'Observatoire des Sédiments du Rhône	7
A. Axe I : Réhabilitation des marges alluviales	7
1. Analyse des évolutions morphologique du secteur de Caderousse	9
2. Définition de la méthodologie pour l'élaboration du Schéma Directeur de la réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône.....	21
B. Axe II : Métrologie des flux.....	43
3. Recensement du dispositif de mesure turbidimétrique	45
4. Consolidation du système d'observation	49
5. Synthèse du séminaire de travail : Métrologie des flux sur le Rhône : Calcul de flux, modèle, traçage	63
C. AXE III : Retenues et barrages	75
D. Axe IV : Outils communs et communication	91
6. Mise en place d'un espace d'échange des informations au sein de l'OSR.....	91
Références bibliographiques	103
Liste des tableaux	107
Liste des figures	107
Table des matières	111

Introduction Générale

Contexte et objectifs de l'Observatoire des Sédiments du Rhône

Le Rhône est le quatrième fleuve européen et son bassin versant correspond au quart du territoire français (69 500 km²). De sa source dans les Alpes suisses à la mer Méditerranée, ce fleuve se déploie sur 765 km, dont près de 550 km sur le territoire français où son module passe de 250 m³/s (à Genève) à près de 1 700 m³/s (à l'embouchure). La vallée du Rhône a toujours été une voie de communication majeure à l'échelle européenne, mais le fleuve lui-même est une infrastructure de transport. Afin d'optimiser la navigation, mais également dans la perspective d'exploiter la puissance de ses flots, le Rhône a été aménagé très tôt, dès la première moitié du XIXe siècle. En 1933, est créée la Compagnie Nationale du Rhône qui a pour mission, en plus d'assurer la navigabilité du fleuve et l'utilisation de ses eaux pour l'irrigation, de développer l'hydro-électricité. Aujourd'hui, le Rhône compte 20 centrales hydro-électriques et 13 écluses permettant une navigation fluviale au gabarit européen sur près de 300 km. Outre ces aménagements, c'est l'ensemble des transformations du bassin versant et de la vallée qui ont modifié radicalement la production, le transfert et les conditions de dépôt de la charge sédimentaire du fleuve. L'aménagement du fleuve, les modifications de l'occupation du sol du bassin versant, les évolutions climatiques, les extractions de granulats sont autant de paramètres qui ont modifié les dynamiques sédimentaires du fleuve. Face aux enjeux actuels, inondations, recul du trait de côte, pollution des sédiments dans le chenal et sur les marges alluviales, il est devenu urgent de mieux comprendre comment fonctionne ce système, quels sont les flux qui transitent, comment évoluent les stocks, comment flux et stocks interagissent.

Dans le cadre du Plan Rhône, le constat d'un besoin de connaissances sur les dynamiques sédimentaires du fleuve s'est donc imposé. De par la taille et la complexité du fleuve, ces dernières étaient restées jusqu'à présent assez générales, théoriques et parcellaires. Partant du constat qu'il n'est pas possible de comprendre les phénomènes sans les mesurer, les observer et les quantifier, la volonté de créer un observatoire des ces dynamiques a alors émergé et a pris peu à peu forme. L'amélioration des connaissances scientifiques permettra à terme de mettre en place des outils pour gérer durablement le fleuve et ses sédiments. Beaucoup d'éléments sont aujourd'hui manquants pour quantifier les différents types de charge sédimentaire, connaître leurs perturbations et pour définir les modalités d'action à mettre en œuvre pour remédier aux impacts négatifs des aménagements et des pollutions.

Les actions de recherche actuelles sont la base des préconisations de gestion de demain. L'OSR a été construit dans cette perspective avec les partenaires du Plan Rhône. Il s'agit donc d'un observatoire de recherche pluri-disciplinaire, dont les travaux relèvent de la recherche dite « fondamentale », même si certaines actions ont été, dès le départ, conçues avec une finalité opérationnelle. La

démarche scientifique, élaborée en consensus avec l'ensemble des chercheurs impliqués est basée sur des perspectives de recherche à 5-10 ans. Il s'est constitué comme un véritable laboratoire de sciences intégrées (integrated river sciences) dont la vocation est de produire sur le long terme des connaissances scientifiques permettant de mieux comprendre la dynamique d'un tel système et d'éclairer les opérateurs publics.

L'OSR a été monté grâce à la collaboration de deux Zones Ateliers du CNRS : la Zone Atelier du Bassin du Rhône (ZABR) et la Zone Atelier de l'Observatoire Régional Méditerranéen sur l'Environnement (ORME) et s'inscrit dans une co-construction scientifiques – acteurs de l'eau. Les principaux gestionnaires du fleuve, les services d'Etat et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, la Compagnie Nationale du Rhône, ainsi que les régions riveraines du fleuve : Rhône Alpes, Provence Alpes Côte d'Azur et Languedoc Roussillon, sont associés à l'OSR. L'OSR est un projet financé au titre du volet inondation du Plan Rhône et bénéficie à ce titre de l'appui financier du Fond Européen de Développement Régional (FEDER). Côté scientifique, plusieurs équipes du CNRS collaborent étroitement avec le Cemagref, l'Ecole Nationale des Travaux Publics d'Etat et l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. Dans le cadre de sa prochaine programmation, EDF participera au soutien financier et technique de l'OSR et l'IFREMER viendra appuyer la réflexion scientifique des équipes déjà en place.



La première année d'action de l'OSR a été bâtie sur un programme action annuel (sept 2009/sept 2010). Les travaux de recherche engagés portent sur les stocks et les flux sédimentaires dans le but de comprendre la variabilité spatiale et temporelle de la dynamique sédimentaire et de raisonner en terme de budget sédimentaire dans une perspective comparative et multiscale (variation amont/aval, inter-comparaison des sections court-circuitées ou des retenues, contribution

événementielle, fluctuation saisonnière, évolution interannuelle et à long terme) afin de bien mesurer l'importance respective des facteurs de contrôle et caractériser les tendances évolutives. Pour aborder ce vaste champ thématique, l'OSR regroupe un large panel de disciplines scientifiques (géomorphologie fluviale et littorale, hydraulique, hydrologie, sédimentologie, géochimie et chimie des contaminants, écotoxicologie). Pour favoriser les démarches inter-équipes et inter-disciplinaires, l'OSR a structuré, pour l'année 2009-2010, ces actions de recherche en quatre axes thématiques (Tableau 1) qui sont :

Axe I. Réhabilitation des marges alluviales

Axe II. Métrologie des flux

Axe III. Barrages et retenues

Axe IV. Communication – Outils

Pour chacun de ces axes, une ou plusieurs actions ont été définies.

<u>Axe I : Réhabilitation des marges alluviales :</u>
<i>Action A : Analyse des évolutions morphologique du secteur de Caderousse</i>
<i>Action B : Définition de la méthodologie pour l'élaboration du Schéma Directeur de la réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône</i>
<u>Axe II : Métrologie des flux</u>
<i>Action C : Recensement du dispositif de mesure turbidimétrique</i>
<i>Action D : Consolidation du système d'observation</i>
<i>Action E : Séminaire de travail : Métrologie des flux sur le Rhône – calcul des flux, modèle, traçage</i>
<u>Axe III : Barrages et retenues</u>
<i>Action F : Retenue et barrage</i>
<u>Axe IV : Communication – Outils</u>
<i>Action G : Mise en place d'un espace d'échange des informations au sein de l'OSR</i>

Tableau 1 : Liste des actions du 1er programme OSR

Résultats des travaux engagés par l'Observatoire des Sédiments du Rhône

A. Axe I : Réhabilitation des marges alluviales

En 2000, l'étude SOGREAH montre l'importance des stockages sédimentaires dans les marges alluviales du Rhône, en lien avec les aménagements Girardon depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Elle pose la question des impacts éventuels des aménagements CNR. Sur la base de SIG historiques et de carottages sédimentaires, les travaux universitaires ont confirmé les mutations séculaires du système fluvial (rétraction et enfoncement du chenal, exhaussement des marges par dépôt de sédiments fins lors des crues) sur les sites de Montélimar, Péage-de-Roussillon et sur le Rhône aval, entre Beaucaire et la mer. Ces transformations ont pour conséquence la modification des conditions d'écoulement des crues et l'aggravation des niveaux d'eau, constatés depuis plusieurs années sur le fleuve. Elles induisent également l'interruption du continuum fluvial et la réduction des apports au littoral méditerranéen, la fermeture des milieux et réduction de la biodiversité avec la dégénérescence des boisements alluviaux rhodaniens du fait de la déconnexion de la nappe alluviale et de la perte de mobilité latérale du fleuve ; enfin elles favorisent le stockage de polluants. A l'initiative de la CNR des études ont été engagées et des opérations de remobilisation sédimentaire des marges alluviales sont prévues. Leur poursuite ou leur extension nécessite de compléter la connaissance de ces milieux.

Dans ce contexte, il apparaît indispensable de quantifier précisément les changements morphologiques des lits fluviaux en relation avec les différents types d'aménagements (casiers Girardon, Rhône court-circuités), afin d'en proposer un bilan sédimentaire. L'axe 1 devra compléter les travaux antérieurs sur ce thème par l'étude détaillée d'un site sur le Rhône moyen, dans le secteur de Caderousse. D'autre part, le projet de réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône doit redonner un espace de mobilité au fleuve qui lui permette de remobiliser les sédiments stockés par démantèlement des digues anciennes. Après l'étude méthodologique de plusieurs sites pilotes, les gestionnaires ont eu la volonté d'appliquer cette démarche à l'ensemble du Rhône afin de connaître les potentialités de mise en œuvre du projet. C'est l'objet du Schéma Directeur.

1. Analyse des évolutions morphologique du secteur de Caderousse

1. Contexte et objectifs

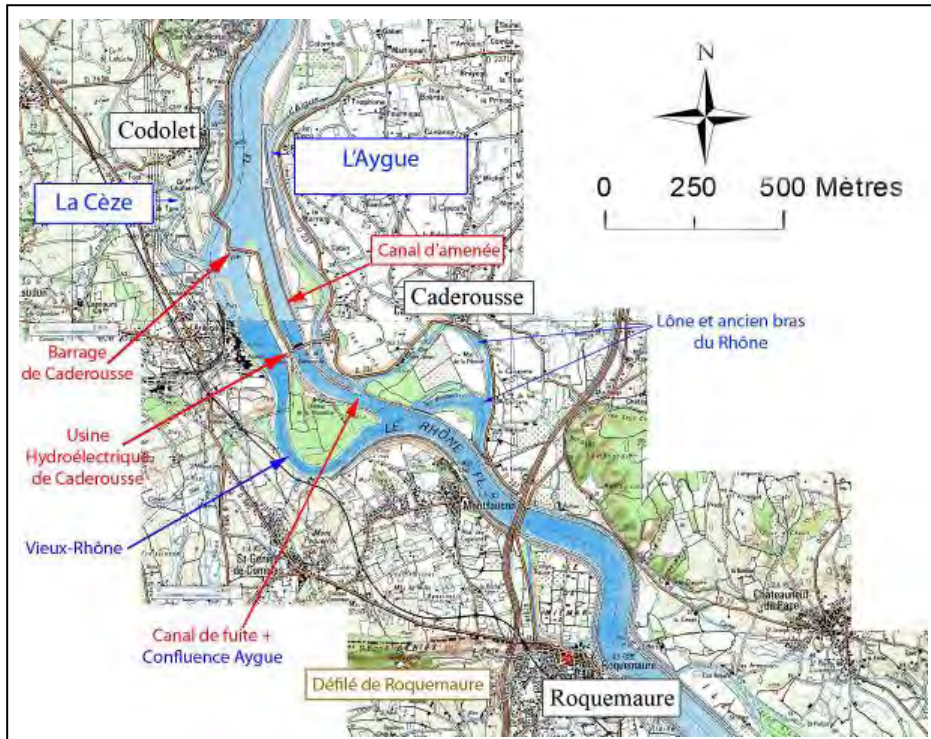


Figure 1 : Localisation du site de Caderousse – Source : IGN, SCAN 25®

Les recherches antérieures ont montré l'importance des stockages sédimentaires dans les marges alluviales du Rhône depuis le milieu du XIX^{ème} siècle. Les conséquences sont la modification des conditions d'écoulement des crues, l'interruption du continuum fluvial et la réduction des apports au littoral méditerranéen, la fermeture des milieux et réduction de la biodiversité, le stockage de polluants. A l'initiative de la CNR des études ont été engagées et des opérations de remobilisation sédimentaire des marges alluviales sont prévues. Leur poursuite ou leur extension nécessite de compléter la connaissance de ces milieux. Le site étudié correspond au chenal du Vieux-Rhône de Caderousse (figure 1), entre les PK 213 (barrage) et 218.

Ce choix se justifie par la présence d'un tressage historique important, resté actif jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, soutenu par les apports de la Cèze et de l'Aygues. Ce secteur se situe à l'aval proche du centre de retraitement du combustible irradié de Marcoule, soit à l'aval du dernier point de rejets d'effluents liquides de faible radioactivité émis par l'industrie nucléaire rhodanienne.

L'objectif est d'analyser les stockages sédimentaires sur les marges alluviales et les modifications et dans le chenal afin de :

- caractériser l'évolution topo-bathymétrique du système fluvial,
- caractériser la granulométrie et l'épaisseur des sédiments pour évaluer la remobilisation potentielle des berges,
- calculer les taux de sédimentation et la teneur en ETPC (Eléments Traces Potentiellement Contaminants), tels que les radionucléides artificiels.

2. Méthodologie

a) Réalisation d'un SIG topo-bathymétrique de l'évolution du secteur

Type de documents	Dates	Echelle	Couleurs/Noir et Blanc	Source
Carte topographique	1860	1: 10 000	Noir et Blanc	Atlas des Ponts et Chaussées
Plans Branciard	1910	1: 5 000	Noir et Blanc	
Photographies aériennes	1955	1: 25 000	Noir et Blanc	IGN
Photographies aériennes	1973	1:15 000	Noir et Blanc	IGN
Photographies aériennes	1985	1:30 000	Noir et Blanc	IGN
Photographies aériennes	1991	1: 20 000	Noir et Blanc	IGN
Orthophotographies	2006	1:25 000	Couleurs	CNR

Type de documents	Dates	Echelle	Couleurs/Noir et Blanc	Source
Carte topographique	1860	1: 10 000	Noir et Blanc	Atlas des Ponts et Chaussées
Plans Branciard	1910	1: 5 000	Noir et Blanc	
Photographies aériennes	1955	1: 25 000	Noir et Blanc	IGN
Photographies aériennes	1973	1:15 000	Noir et Blanc	IGN
Photographies aériennes	1985	1:30 000	Noir et Blanc	IGN
Photographies aériennes	1991	1: 20 000	Noir et Blanc	IGN
Orthophotographies	2006	1:25 000	Couleurs	CNR

Tableau 2 : Recensement des données cartographiques

La mesure de l'évolution planimétrique est réalisée à partir de cartes et plans (tableau 2) qui ont été géoréférencées en Lambert II étendu à partir des ortho-photographies 2006. Pour un recalage précis (RMS < 5 m), 10 à 15 points d'amers ont été définis. Les limites des chenaux du Rhône ont été vectorisés à chaque date. La marge d'erreur est estimée à 5 mètres (erreur de géoréférencement + digitalisation).

L'étude bathymétrique est réalisée à partir des campagnes bathymétriques de 1902 (Service Spécial du Rhône), 1976, 1985, 1993, 2000, 2002, 2004, 2009 (CNR). Les campagnes de 1976 et 2009 sont incomplètes. Le MNT est réalisé sous ArcGis (ET Geowizards et DSAS 4.1) pour chaque campagne bathymétrique. L'évolution diachronique est ensuite quantifiée par soustraction de deux MNT. La marge d'erreur des bathymétries CNR est comprise entre -0.6 et +0.6m.

b) Carottage et traitement sédimentaire

Deux carottages ont été effectués sur les berges du Vieux-Rhône : Carotte CA1 (PK 217, L : 3.47m) sur une berge sableuse ennoyée à partir de $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ dans le bras ; Carotte CA2 (PK 214.5, L : 2.77m) dans une zone de casiers colmatés, noyés à partir de $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ dans le bras. Les carottages ont été effectués grâce à un carottier semi automatique à percussion manuelle avec des tubes PVC de 80

mm de diamètre. L'échantillonnage des carottes est effectué en fonction des séquences stratigraphiques observées lors de l'ouverture (Provansal *et al.*, 2010). 77 échantillons ont été analysés par diffractométrie laser pour l'analyse granulométrique.

c) Analyse isotopique et radionucléides d'origine anthropique pour déterminer les taux de sédimentation sur les berges

Douze échantillons ont été analysés par spectrométrie gamma, afin de déterminer les concentrations en radionucléides des émetteurs gamma (5 sur CA 1, 7 sur CA 2). L'échantillonnage a été réparti sur l'ensemble du profil, au sein des séquences prépondérantes, en privilégiant les textures les plus fines afin de favoriser la détection. D'autres échantillons ont été archivés, pour analyses complémentaires en fonction des premiers résultats (3 sur la carotte CA 1, 17 sur la carotte CA 2).

3. Résultats scientifiques

a) Évolution morphologique du chenal du Rhône

i. Évolution en plan (Figure 2 et Tableau 3)

De 1860 à 1955, la rétraction totale est de 0,67 km² en 95 ans, soit environ -0,65 m/an.

En 1860, le Rhône et l'Aygues ont un « style » tressé, le fleuve se séparant en deux bras en aval de Codolet. La surface en eau est de 3,17 km² et l'indice de tressage de 1,51. En 1910 (Plans Branciard), le tressage persiste, malgré la rétraction des bras secondaires de l'Aygues, et un début de colmatage du bras de Caderousse, dont la déconnexion s'amorce. Sur le chenal principal, la rétraction en largeur est sensible (- 0,54 km² en 50 ans, soit -1 m/an). L'indice de tressage passe de 1,51 à 1,36. On note la multiplication des aménagements : casiers Girardon, qui ferment le bras de Caderousse à l'aval, épis, notamment sur le chenal du futur Vieux-Rhône. En 1955 (photographie aérienne IGN), la tendance au colmatage, latéral se poursuit (réduction de la largeur du chenal : -0,13 km² en 45 ans, soit - 0,2 m/an). L'indice de tressage passe de 1,36 à 1,26. La plupart des casiers Girardon notamment ceux sur le Vieux-Rhône sont intégrés à la berge.

Date	Surface (km ²)	Evolution (km ²)	Rétraction m/an	Indice de tressage
1860	3.17	-	-	1.51
1910	2.63	-0.54	-1.00	1.37
1955	2.5	-0.13	-0.27	1.27
Vieux-Rhône 1973	1.22	-1.28	-	-
Vieux-Rhône 1985	1.25	0.03	1.00	-
Vieux-Rhône 1991	1.24	-0.01	-0.33	-
Vieux-Rhône 2006	1.24	0.00	0.00	-

Tableau 3 : Rétraction des chenaux de 1860 à 2006

De 1973 à 2006, les calculs ne sont effectués que sur le Vieux-Rhône, sur 5 km, du PK 213 au 218. Entre 1955 et 1985, le chenal se ré-élargit (+ 0,02 km² en 30 ans, soit une faible érosion des berges de 0,07 m/an). Mais, une brève rétraction des surfaces en eau se manifeste entre 1985 et 2006, (- 0,01 km², soit - 0,3 m/an).

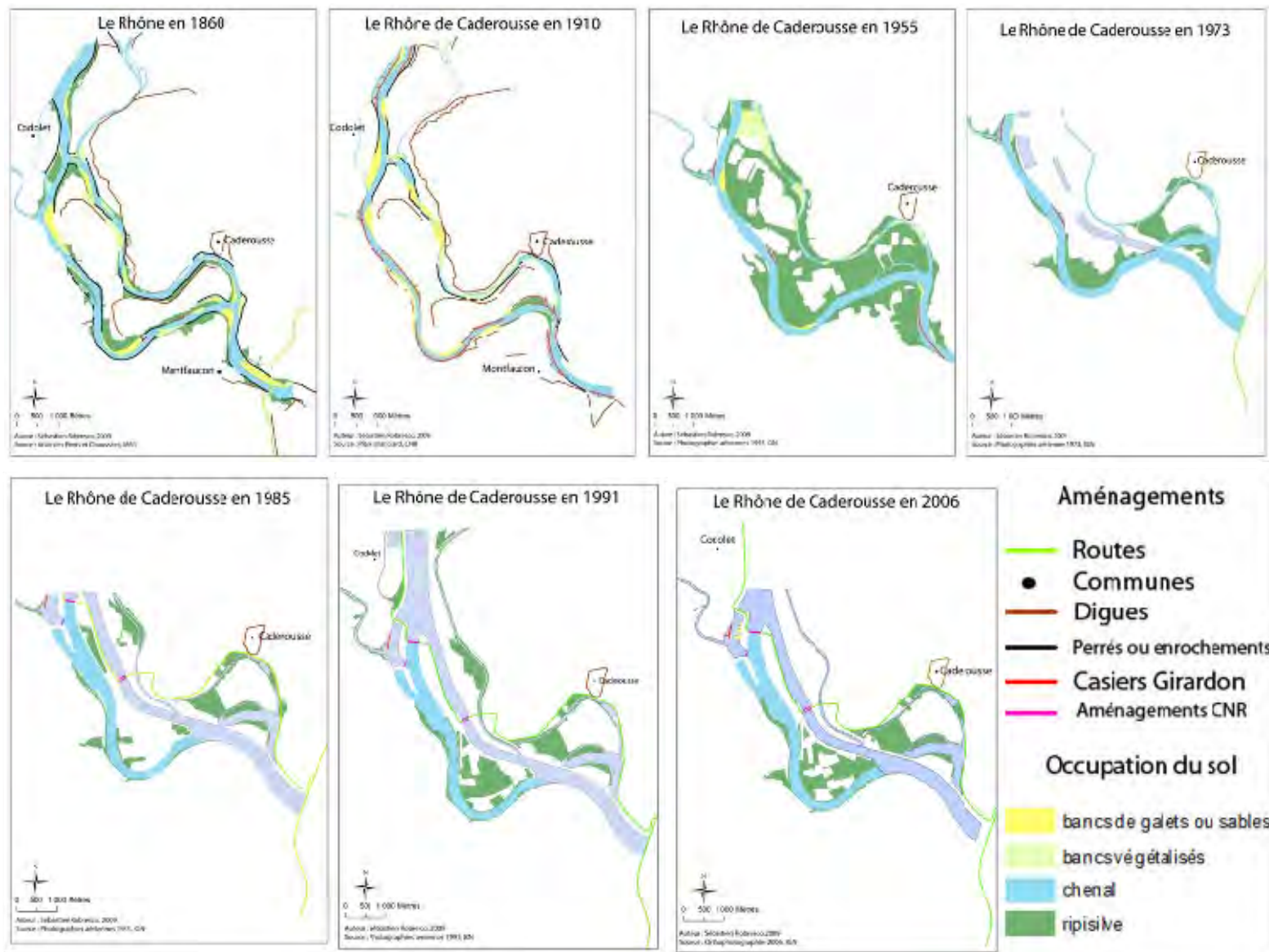


Figure 2 : Évolution en plan du chenal du Rhône de Caderousse entre 1860 et 2006

ii. Évolution bathymétrique du Rhône entre 1902 et 2009 (figure 3)

Les limites du chenal sont définies par l'enveloppe commune de chaque MNT. A partir de 1976, les bathymétries réalisées par la CNR permettent d'affiner l'approche chronologique. Les marges d'erreur sont représentées en gris sur la figure 3 (classes [-0.6 ; 0.6]). Entre 1976 et 2009, les données sont comparables, car elles concernent une superficie équivalente du chenal entre les 2 dates. Mais ces résultats doivent être comparés avec précaution à ceux de 1902, en raison de la taille réduite des superficies communes entre 1902 et 1976.

L'incision du chenal est importante, notamment dans l'extrados du méandre. Entre les PK 214 et 215, l'accumulation sur la berge de rive droite correspond au colmatage des casiers du Vieux-Rhône.

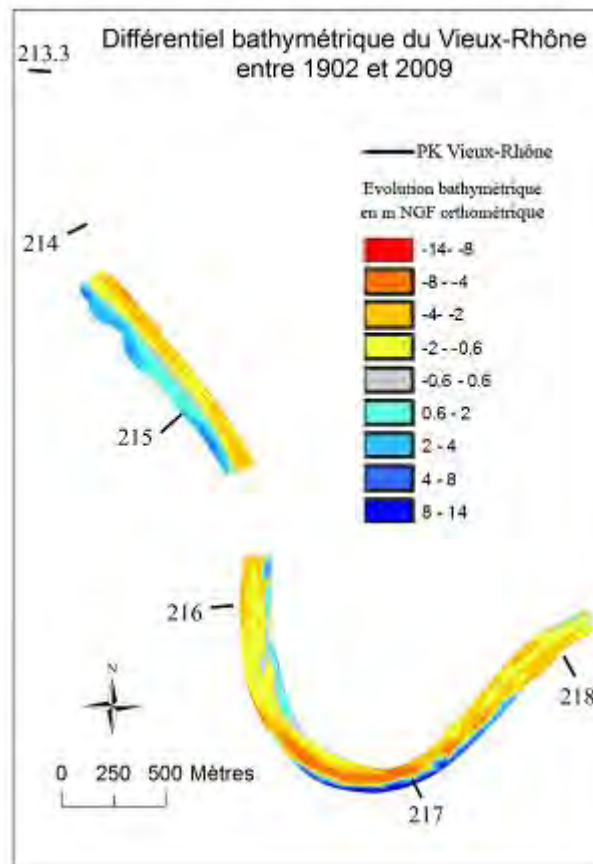


Figure 3 : Différence bathymétrique du Vieux Rhône entre 1902 et 2009 – Source : CNR

Tableau 4: Volumes sédimentaires du chenal du Vieux Rhône de Caderousse exprimés en m³/an

Pour la période 1902-1976, le bilan sédimentaire est négatif (-5 000 m³/an), influencé par l'érosion

Périodes	Bilan global m ³ /an	Volumes érodés m ³ /an	Volumes accumulés m ³ /an	Surface en m ² /an	Nombre de crues Q moyens journaliers à Beaucaire
1902-1976	-5 000 ± 600	8 500 ± 1000	3 500 ± 400	470 000	255 Q ₂ / 5 Q ₁₀
1976-1985	30 000 ± 3 500	30 000 ± 3 000	60 000 ± 6 500	930 000	49 Q ₂
1985-1993	-65 000 ± 8 000	80 000 ± 10 000	10 000 ± 1 000	960 000	17 Q ₂
1993-2000	-15 000 ± 1 500	30 000 ± 3 500	15 000 ± 1 500	840 000	40 Q ₂ / 4 Q ₁₀ / 2 Q ₅₀
2000-2002	45 000 ± 5 000	75 000 ± 10 000	120 000 ± 15 000	860 000	21 Q ₂
2002-2004	-185 000 ± 20 000	250 000 ± 30 000	65 000 ± 7 500	940 000	23 Q ₂ / 5 Q ₁₀ / 1 Q ₁₀₀
2004-2009	25 000 ± 3000	25 000 ± 3 000	50 000 ± 6 000	900 000	1 Q ₂ (jusqu'en sept 2007)
1976-2009	300 ± 30	12 700 ± 1 500	13 000 ± 1 500	850 000	151 Q ₂ / 14 Q ₁₀ / 2 Q ₅₀ / 1 Q ₁₀₀
1902-2009	4 500 ± 550	8 500 ± 1 000	4 000 ± 500	600 000	406 Q ₂ / 19 Q ₁₀ / 2 Q ₅₀ / 1 Q ₁₀₀

dans le chenal. Entre 1976-2009, le bilan sédimentaire global est stable puisque le chenal stocke 300 m³/an. Cependant, les bilans détaillés (Tableau 4) sont hétérogènes entre les différentes périodes. Ils traduisent probablement le transfert progressif de la charge de fond par les crues

iii. Synthèse et Interprétation de l'évolution topo-bathymétrique.

Entre 1902-2009, le bilan sédimentaire global est positif (+ 4 500 m³/an) : l'accumulation dans les casiers compense l'incision dominante dans le chenal. La réduction globale de la surface en eau doit être mise en relation avec l'incision du fleuve. Cette évolution correspond à un ré-ajustement, désormais classiquement observé sur le bassin rhodanien, en réponse (1) aux changements hydro-climatiques à la fin du Petit Age Glaciaire (réduction des flux liquides), (2) aux mutations de l'occupation du sol dans le bassin-versant (réduction des flux solides) et (3) aux équipements implantés dans le chenal (digues submersibles, casiers et les épis). Ces ouvrages ont eu pour conséquence une accélération des flux liquides dans une section plus petite du chenal ce qui a engendré une incision importante du plancher alluvial.

b) Sédimentologie des dépôts sur les berges

Les 2 carottages ont atteint à leur base les galets hérités de la bande de tressage actif du Petit Age Glaciaire, mentionnés sur la carte des Ponts et Chaussées (1860). Les 2 carottes présentent des faciès, qui reflètent des milieux de sédimentation différents. Les lits sableux traduisent des écoulements énergiques souvent associés aux pics de crues ; les lits limoneux sont liés à des

écoulements moins rapides, éventuellement de petites crues, voire des dépôts par décantation en fin de crue. Les indices granulométriques D50 (grain moyen) et D99 (percentile le plus grossier de la distribution granulométrique) permettent de caractériser les sédiments. L'indice Skewness (Sk coefficient de dissymétrie) permet d'identifier le mécanisme de dépôt.

-Carotte CA 1 (Figure 4) : 11 séquences de crues ont été identifiées au-dessus des galets : on fait l'hypothèse qu'elles ont été déposées après 1860 au plus tôt. Les sables constituent le faciès quasi exclusif, caractéristique de la position en intrados du prélèvement. Par leur altitude, ces dépôts correspondent aux apports des crues élevées, à forte énergie (> 6 000 m³.s⁻¹ à Beaucaire , soit > Q₂, qui a été dépassé 255 jours entre 1920 et 2007). Au sommet, la séquence 11 pourrait correspondre à la crue de décembre 2003, pendant laquelle le site a été submergé sous 4.6 m d'eau en 2003.

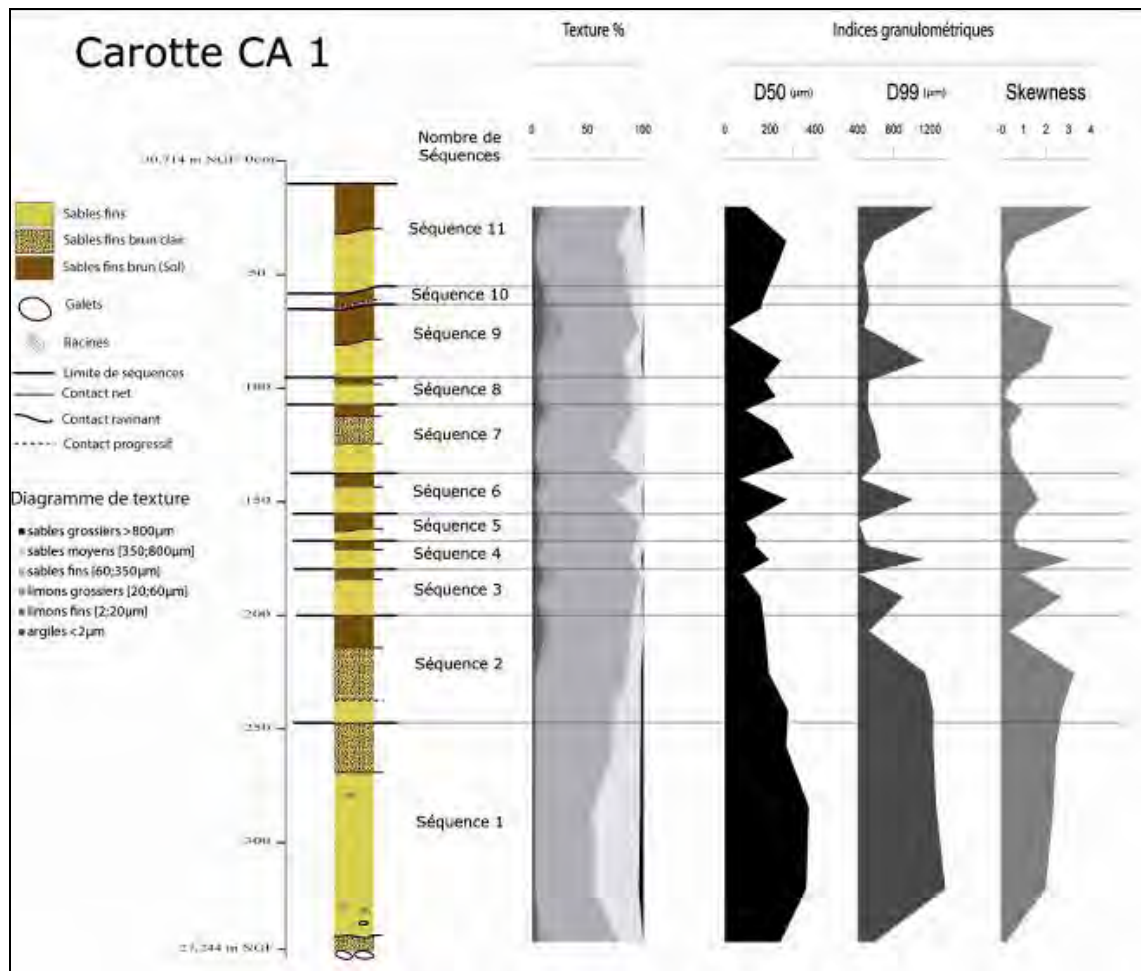


Figure 4 : Description de la carotte CA 1

- Carotte CA 2 (Figure 5) : 14 séquences de crues ont été identifiées. La présence du casier explique la prédominance des sédiments limoneux fins, apportés par des crues modestes. Ces dépôts se sont accumulés depuis la mise en place des casiers entre 1876 et 1905. Le SIG montre qu'ils émergent entre 1973 et 1985. Les dernières séquences correspondent aux crues énergiques de 2002 et de décembre 2003.

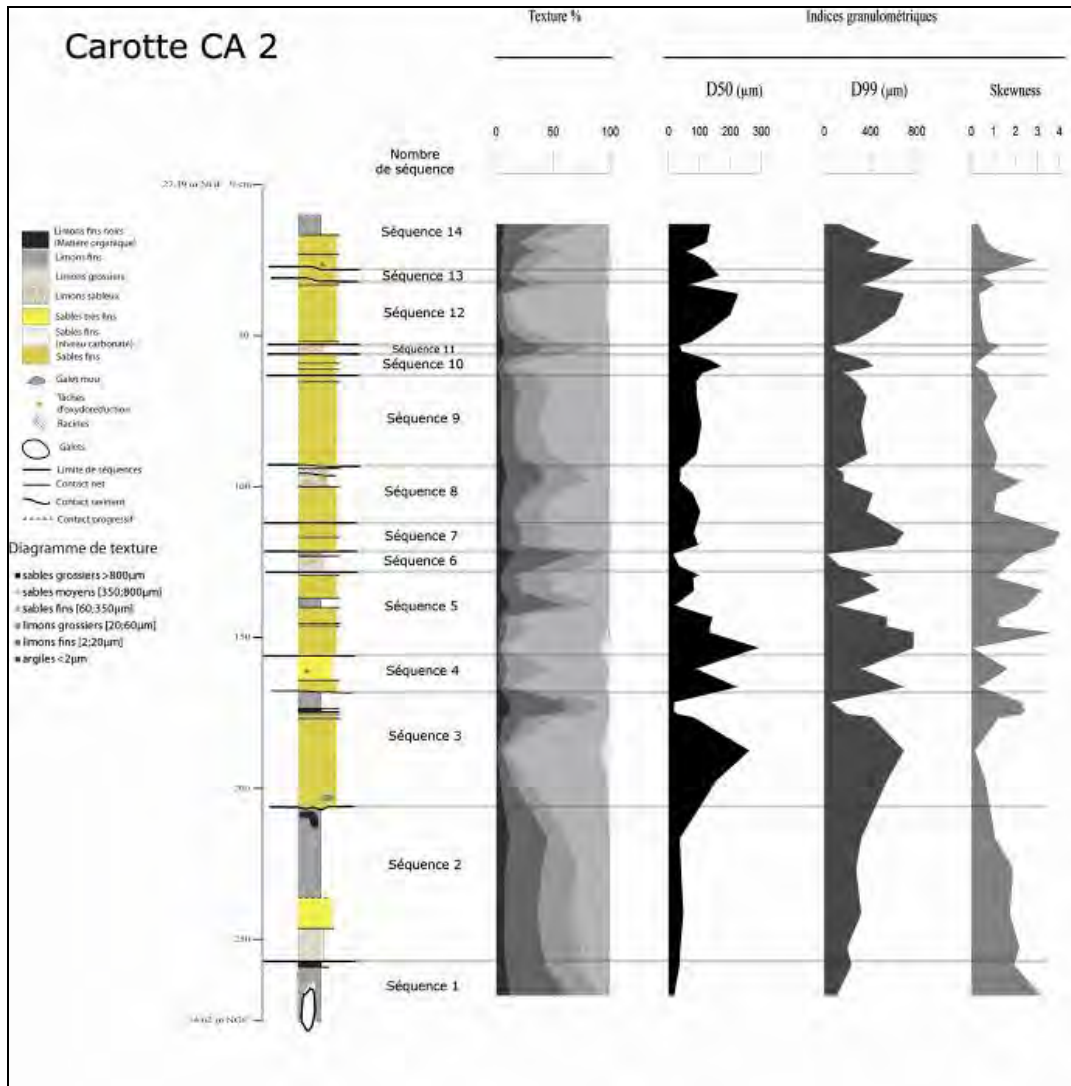


Figure 5 : Description de la carotte CA 2

c) Calculs des forces tractrices et des forces tractrices critiques

Les équations de force tractrice et de force tractrice critique permettent de calculer le potentiel de remobilisation des sédiments des marges alluviales. Les calculs ont porté sur le premier mètre des 2 carottes en fonction des hauteurs d'eau atteintes à ces niveaux. L'application de ces équations, calibrées initialement pour des mesures au fond du lit du chenal, comporte une marge d'erreur pour leur application aux berges alluviales, car elles ne tiennent pas compte de la micro ou méso-topographie, de la rugosité de la végétation ainsi que de la cohésion de sédiments.

Carotte CA1 : remobilisation théorique à partir de 6 500 m³.s⁻¹

Carotte CA2 : remobilisation théorique à partir de 3 500 m³.s⁻¹

Un transport sédimentaire est théoriquement possible dès que les sites de carottages sont immergés : à partir d'un débit de 6 000 m³.s⁻¹ en CA1, de 3 500 m³.s⁻¹ en CA 2.

d) Estimation des taux de sédimentation (210Pbsx et 137Cs) et marquage des stocks sédimentaires par des Eléments Traces Potentiellement contaminants.

i. Taux de sédimentation (Figures 6 et 7)

Les profils de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ permet d'estimer des vitesses de sédimentation apparentes globales, variant de 1 à 3 cm par an pour CA1 (partie supérieure, soit séquences 7 à 11) et de 3 à 9 cm par an pour CA2.

Carotte CA1 (Figure 6):

- Au-dessous de 1,4 m de profondeur, l'absence de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ indique que ces sédiments sont âgés à minima de 50 ans, donc antérieurs à 1960. Il est donc impossible de calculer les taux de sédimentation. L'absence de ^{137}Cs dans ces niveaux (< 1,4 m) confirme que la partie inférieure de la carotte a été déposée avant l'introduction du ^{137}Cs dans l'environnement (soit par les retombées atmosphériques globales (pic en 1963), soit par les effluents de l'activité nucléaire implantée sur le fleuve (1961). Les 2 m inférieurs du dépôt seraient donc accumulés avant 1960.

- Le ^{137}Cs n'a pas été analysé dans les séquences 7 et 8. Les niveaux de ^{137}Cs observés au sein des dépôts les plus fins des séquences 9 et 11 sont modérés, respectivement 12 et 5 Bq kg⁻¹. Ils témoignent de la diminution des quantités introduites dans les eaux du Rhône par les effluents liquides de l'industrie nucléaire à partir de 1990. Ces concentrations en ^{137}Cs sont toutefois relativement faibles si l'on se réfère aux chroniques de mesures réalisées sur les matières en suspensions (Eyrolle et al., 2008) ou à d'autres enregistrements sédimentaires (Eyrolle et al., 2008 ; Eyrolle et al., 2009 ; Provansal et al., 2010 ; Provansal et al., soumis). Cette observation pourrait souligner l'existence de migration verticale et/ou latérale de cet élément, facilitée par les inondations successives et les battements de la nappe alluviale.

Dans l'attente des analyses complémentaires, on constate que les dépôts cumulés depuis 1960 sont moins épais que sur les berges analysées plus à l'aval (Provansal et al, 2010). Deux hypothèses sont possibles : soit des taux de sédimentation moins élevés, soit des hiatus de sédimentation. Ces 2 facteurs ont pu agir simultanément.

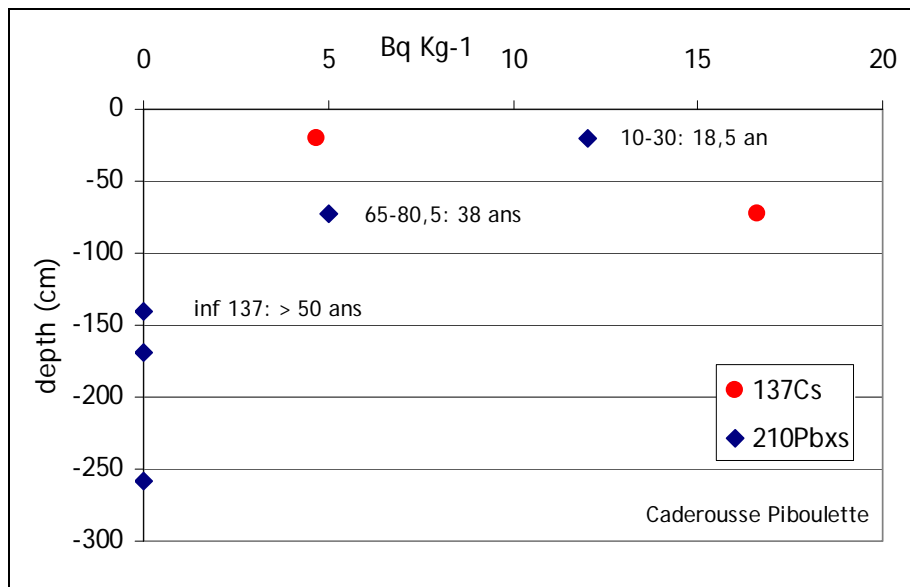


Figure 6 : Activités en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ et ^{137}Cs au sein de la carotte CA 1

Carotte CA2 (Figure 7):

Le profil de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ a été normalisé au 40K afin de s'affranchir des variations granulométriques marquées au sein des échantillons analysés. Les deux échantillons analysés au sein de la strate sableuse de la séquence 3 (- 179 cm à -198 cm), soulignent en effet des teneurs en 40K, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ et ^{137}Cs relativement faibles expliquées par la texture grossière de la phase porteuse.

- Le profil de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ normalisé indique une vitesse de sédimentation apparente globalement décroissante de la base vers le sommet de la carotte (>10 cm/an dans la partie inférieure). L'âge de la base de la carotte est estimé entre 30 et 100 ans, soit entre 1910 et 1980 au plus tard. Elle pourrait être plus récente, de quelques années, en considérant une vitesse de sédimentation accrue sur la partie inférieure du profil. Ces résultats sont en accord avec les observations de l'approche historique et topo-bathymétrique. La sédimentation est rapide dans le casier, milieu protégé, où dominant des sédiments fins. La diminution des taux de sédimentation vers le haut reflète le colmatage progressif de l'espace disponible.

- Le ^{137}Cs est présent sur l'ensemble du profil, suggérant que le dépôt est postérieur à 1963. On ne peut toutefois pas exclure des migrations. Les concentrations en ^{137}Cs sont modérées (de 3,4 à 8,5 Bq kg⁻¹) et ne sont pas significativement différentes sur l'ensemble du profil. Elles ne témoignent ni du pic de ^{137}Cs lié aux rejets de Marcoule dans les années 1960-70, ni de la décroissance des rejets liquides enregistrée post 1990. Ces résultats pourraient suggérer que des processus de désorption puis de diffusion et/ou de migration ont conduit à une certaine homogénéisation du profil d'activité en ^{137}Cs . Cette hypothèse rejoint les observations réalisées sur la lône de Ranchier en aval (Provansal et al., soumis).

L'utilisation de ce traceur dans la partie terminale du Rhône, influencée par les rejets liquides de l'industrie nucléaire rhodanienne, au sein de ces milieux de sédimentation fortement soumis aux forçages hydriques, semble donc être limitée. Des analyses complémentaires sont attendues pour soutenir ces premières interprétations.

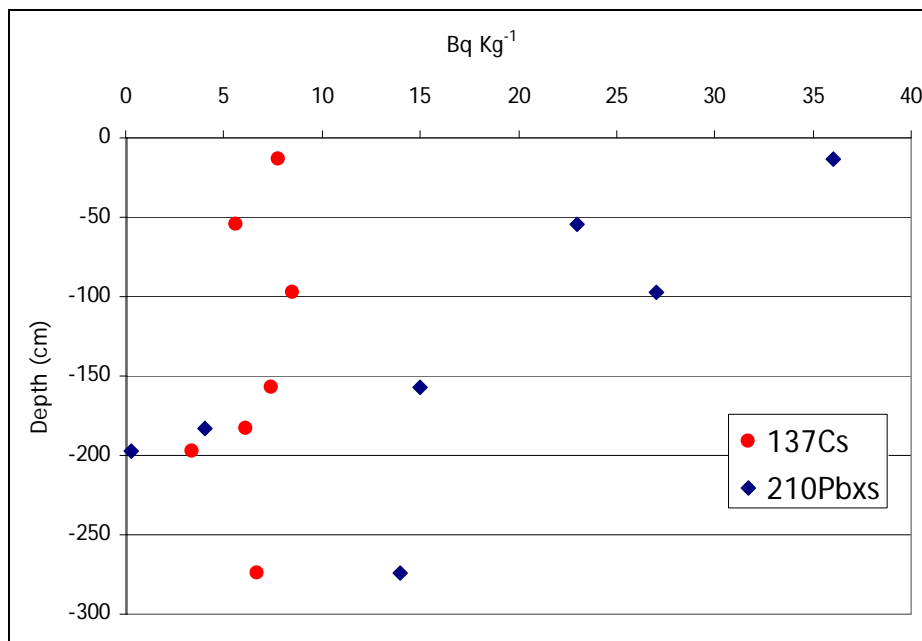


Figure 7 : Activités en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ et ^{137}Cs au sein de la carotte CA 2

ii. Teneurs en radionucléides artificiels au sein des stockages sédimentaires

Le seul radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle détecté au sein de ces stockages sédimentaires est le ¹³⁷Cs. Des analyses complémentaires par spectrométrie alpha sont en cours afin de détecter en particulier les isotopes du plutonium, éléments radioactifs à vie longue.

Les milieux de sédimentation n'indiquent pas un stockage conséquent de radioactivité artificielle et soulignent des processus de désorption/migration depuis la surface de la phase porteuse vers le milieu hydrique conduisant à un 'lessivage' des contaminants accumulés dans ces zones. Ces résultats s'appliquent à ce jour au ¹³⁷Cs uniquement mais pourraient concerner d'autres contaminants traces inorganiques ou organiques.

4. Synthèse et conclusions pratiques.

La rétraction en largeur du chenal est importante depuis 1860. L'essentiel de cette mutation est acquise avant 1955 (3.17 km² en 1860, 2.5 km² en 1955), soit avant la construction de l'équipement CNR. Le colmatage des casiers joue un rôle important. A l'exception d'un bref ré-élagissement entre 1955 et 1985 (sans doute associé aux travaux de construction du barrage dans les années 1970), cette tendance se prolonge jusqu'en 2006, mais à faible vitesse. Il semble, par conséquent, que le tronçon de RCC étudié ait trouvé actuellement une position d'équilibre. La rétraction du chenal s'est accompagnée d'une forte accumulation sur la plaine alluviale : 9.8 millions de m³ entre 1860 et 1960.

L'évolution bathymétrique (1902- 2009) montre un chenal globalement en incision jusqu'en 1976 (- 5000 m³/an). Mais l'incision naturelle est peut-être aggravée par les dragages liés à la construction de l'ouvrage CNR dans la décennie 1970. Le chenal du RCC est ensuite quasi stable entre 1976 et 2009 (stockage moyen 300 m³/an).

Les analyses granulométriques ont mis en évidence des milieux de dépôts différents (berge d'intrados, casier). Les débits de remobilisation potentielle varient entre 6 500 et 3 500 m³.s⁻¹.

Le calcul des taux de sédimentation par les radionucléides donne des résultats très différents entre les 2 carottes. Ils sont plus élevés dans le casier (CA2) que sur la berge d'intrados (CA1). Ces valeurs peuvent être mises en relation avec l'approfondissement/colmatage du chenal au droit de chaque site et la probabilité de hiatus d'érosion au sein des dépôts.

Les milieux de sédimentation étudiés dans le cadre de cette étude n'indiquent pas un stockage conséquent de radioactivité artificielle et soulignent des processus de désorption/migration depuis la surface de la phase porteuse vers le milieu hydrique conduisant à un 'lessivage' des contaminants accumulés dans ces zones.

2. Définition de la méthodologie pour l'élaboration du Schéma Directeur de la réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône

Equipe impliquée :

Unité Mixte de Recherche Environnement, Ville, Société (EVS)

Responsable scientifique :

Jean Paul Bravard

Université Lyon Lumière – IRG – 5 Av. Pierre Mendès France – 69 500 Bron

jean-paul.bravard@univ-lyon2.fr

Autre personne ressource :

Pauline Gaydou

Université Lyon Lumière – IRG – 5 Av. Pierre Mendès France – 69 500 Bron

p.gaydou@yahoo.fr

1. Objectifs

Le projet de réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône consiste à enlever certaines digues « Girardon », construites au début du XXème siècle. Ces digues ayant pour vocation de favoriser la navigation sur le Rhône sont devenues obsolètes. Le démantèlement total ou partiel des digues devrait permettre au Rhône lors des crues de remobiliser les sédiments stockés dans les marges alluviales. Lors de la phase de travaux, les digues sont démontées mécaniquement, la végétation est coupée totalement ou partiellement, et les sédiments sont déstructurés afin de limiter la rugosité et la cohésion, et ainsi favoriser la reprise des matériaux fins par le fleuve.

Les sédiments stockés dans les marges sont essentiellement sableux et limono-sableux donc fins et peu cohésifs. La reprise des matériaux stockés se fait lors des crues de type Q2 - Q5 (sachant que Q2 est plus morphogène car elle se produit plus fréquemment que Q5) par sapement en pied de berge. Les matériaux seront transportés par suspension dans la masse d'eau et non par transport de fond.

Le schéma directeur a pour objectif d'étudier les potentialités et la faisabilité du projet à l'intérieur de la Bande Active Historique de tous les vieux-Rhône en aval de la confluence avec le Fier, y compris Miribel-Jonage, ainsi que quelques casiers et îles en aval de Beaucaire. Ce périmètre d'étude représente plus de 160 km de linéaire (Figure 8) et plus de 17 100 ha de superficie.

Pour cela la méthode propose d'étudier l'historique du fleuve, les enjeux locaux et la faisabilité hydraulique.

Le schéma directeur a pour objectif de construire la base de données pour l'aide à la décision finale. Il ne prend pas la décision d'attribuer plus de poids à un critère qu'à un autre, ou de privilégier tel ou tel type d'habitat par exemple.

La carte de faisabilité finale est issue de la compilation de toutes les études thématiques précédentes. Elle permet d'avoir une vision globale des potentialités de réactivation de la dynamique fluviale sur le Rhône. Elle est valable à un instant t, si des paramètres étaient amenés à évoluer entre le rendu du schéma directeur et la phase avant-travaux, la mise en place d'une base de données permettra d'insérer les nouvelles informations et d'en tirer une carte de faisabilité actualisée.

Des paramètres trop coûteux à étudier ou des méthodes trop longues à mettre en place ont été volontairement laissés de côté à ce stade : il s'agit par exemple des analyses polluants ou de l'étude des forces tractrices selon les caractéristiques locales du site.

Le schéma directeur est une base de données qui a pour vocation l'aide à la décision. Il fait un état des lieux de l'historique du fleuve, des enjeux présents et de l'évolution de la dynamique fluviale. Il donne des potentialités et éclaire sur les sensibilités des espaces à rendre au fleuve.

Il constitue enfin une base de discussion mais ne fournit pas d'éléments de décision quant au déplacement ou à la destruction d'enjeux, la prise de décision intervenant lors de la phase opérationnelle.



Figure 8 : Carte de localisation des zones d'étude sur le Rhône - Sources : CNR et Euratlas

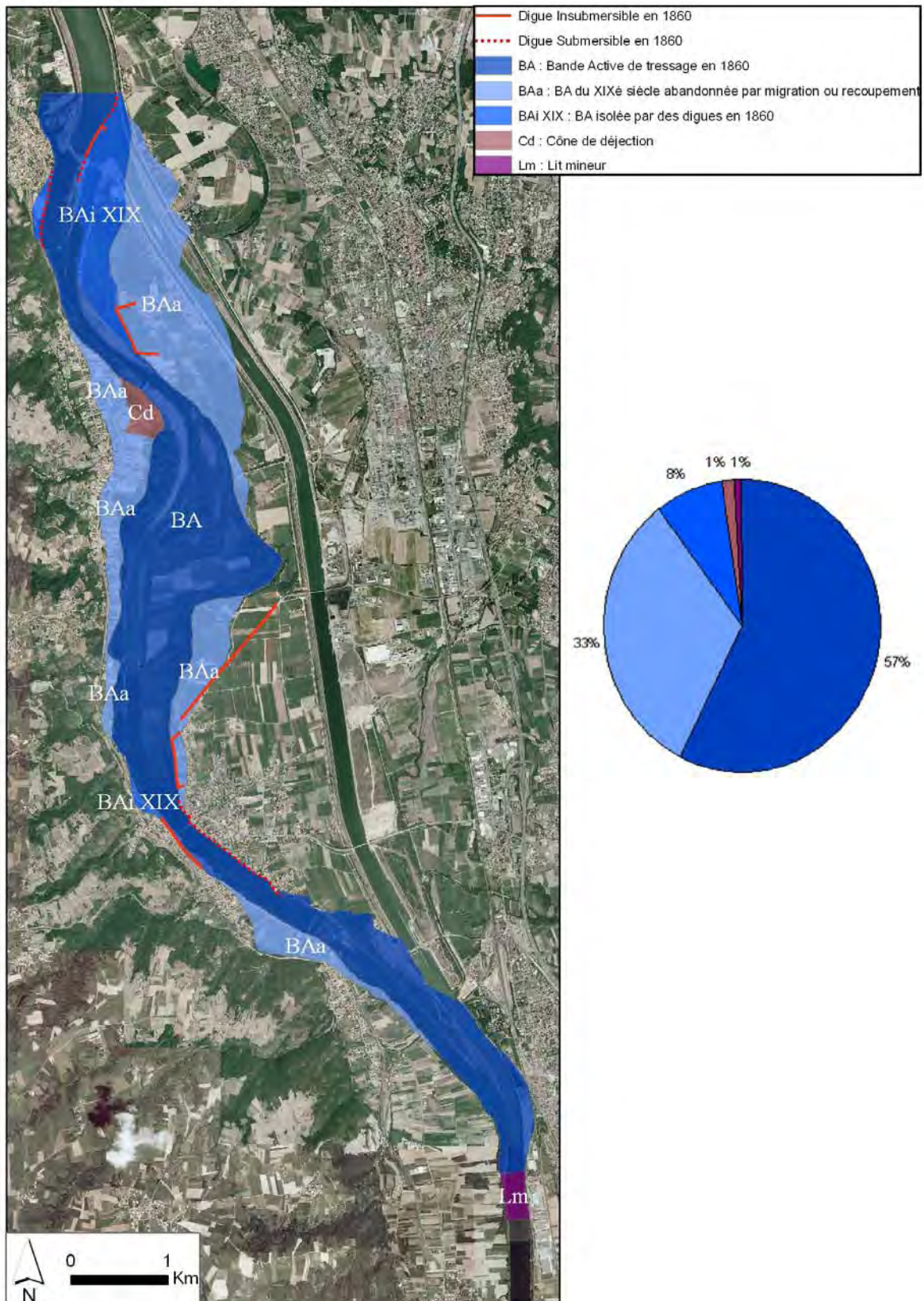


Figure 9 : Unité de la BAH – Source IGN ®

2. Méthodologie

La méthodologie du schéma directeur se découpe en trois parties.

a) Etat des lieux

i. Étude du potentiel marges

Étude de la Bande Active Historique (Figure .9)

Les unités de la bande active historique sont extraites de l'Atlas des zones inondables de la plaine alluviale du Rhône en 1860, réalisé pour la DIREN de bassin (Bravard et al., 2008). La Bande Active Historique (BAH) correspond à la limite de notre zone d'étude. C'est l'espace maximum envisageable pour le projet de réactivation de la dynamique fluviale, espace théorique compte tenu des réalités de l'occupation du lit majeur par les activités humaines. On peut le comparer à l'espace historique de mobilité du fleuve. La BAH, plus ou moins complexe selon les secteurs du Rhône, peut être composée de plusieurs unités :

- Lit mineur à chenal unique : cette unité correspond à une surface en eau peu large, relativement stable latéralement depuis 10000 ans. Il témoigne souvent d'un secteur à faible pente et faible énergie.
- Bande active à tresses fluviales de 1860
- Bande active au début du XIXème siècle, isolée par des digues en 1860 : cette unité correspond à la partie de la bande active impactée par les aménagements.
- Bande active pré-XIXème isolée par des digues en 1860 : cette unité est identique à la précédente mais a été isolée avant le XIXème siècle.
- Bande active du PAG isolée par migration du chenal ou par recoupement : cette unité témoigne d'une dynamique fluviale active passée, qui a diminué du fait d'un isolement par migration latérale « naturelle » et lente du chenal (par opposition à la migration imposée par des aménagements anthropiques) ou par le recoupement brusque d'un bras lors d'une crue.



Figure 10 : Cartographie des puissances spécifique – Source IGN ®

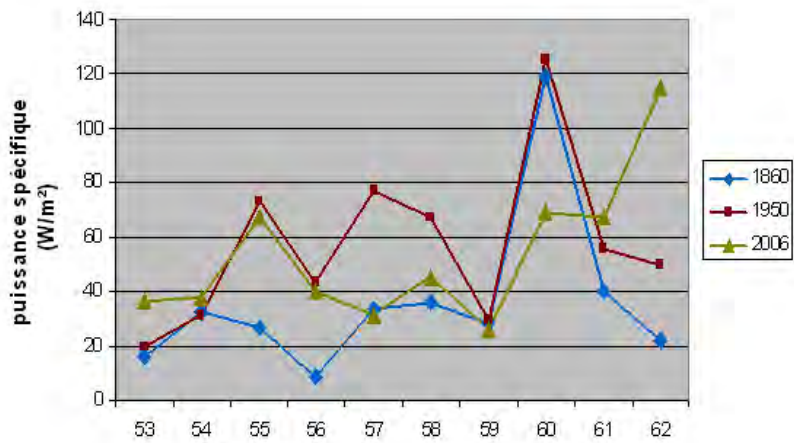


Figure 11 : Puissances spécifiques par période et par Pk

Évolution des puissances spécifiques depuis 150 ans (Figures. 10 et 11)

Il s'agit de réaliser un état des lieux hydraulique. La puissance spécifique dépend de la pente, du débit plein bord et de la largeur au débit plein bord :

$$\Omega \text{ (W/m}^2\text{)} = (\rho g Q S) / w$$

avec ρ la masse volumique du fluide (kg/m³) et g l'accélération due à la pesanteur (m/s²), Q le débit plein bord (m³/s), S la pente longitudinale (m/m) et w la largeur à plein bord en mètres. Les valeurs de puissance spécifique de 1860 sont issues de l'article de Bravard (2010). Le débit morphogène retenu pour la période post-aménagements Girardon est le même que celui de 1860 car l'hydrologie de crue n'a pas changé depuis 150 ans.

Le débit morphogène considéré pour la période actuelle est $Q_b = Q_2 - Q$ dérivé, c'est-à-dire le débit de période de retour 2 ans auquel est soustrait le débit dérivé dans le canal hydro-électrique. Habituellement le débit utilisé pour le calcul de la puissance spécifique est $Q_{1,5}$. Concernant le Rhône : « A l'état naturel, les crues susceptibles de former un chenal sont les crues fréquentes et débordantes de type Q_2 ou Q_5 . Au-delà, les crues plus fortes (Q_{100} par exemple), même si elles génèrent des forces tractrices importantes, sont trop rares pour être morphogènes ; elles peuvent cependant provoquer de grandes modifications, agrandissement brusque du chenal comme destruction de celui-ci. En deçà, les crues à peine débordantes sont non morphogènes. Cependant en l'état actuel, le chenal ayant été modifié par les aménagements Girardon et une importante partie du débit étant dérivée dans le canal hydroélectrique, il est probable que les très fortes crues ont un poids morphogène plus important » (CNR, 2006)

Le débit Q_2 est issu des courbes de Gumbel fournies par la CNR à différentes stations de mesure. On choisit la station qui se trouve juste en amont ou en aval du vieux Rhône. Lorsqu'un affluent majeur (selon l'Etude Globale Rhône : l'Arve, le Fier, l'Ain, la Saône, l'Isère, la Drôme, l'Ardèche, la Cèze, la Durance et le Gard) se jette dans le Rhône en aval de la station située en amont du vieux Rhône, on utilise pour le calcul la station qui se situe à l'aval du vieux Rhône concerné afin de prendre en compte le débit apporté par l'affluent. S'il y a plusieurs affluents entre deux stations, à partir de la comparaison du débit décennal (Q_{10}) des affluents, il est possible de connaître le pourcentage représenté par chaque affluent, et ainsi le débit apporté au Rhône par chaque affluent.

La pente longitudinale pour la période post-aménagements Girardon est la même que celle de 1860, elle est issue du fascicule d'Armand (1910, communiqué par la DREAL) qui donne les pentes kilométriques moyennes à l'étiage de 1867-1868 sur le Haut-Rhône et l'étiage de 1902-1903 sur le Bas-Rhône. La pente longitudinale actuelle est calculée à partir des valeurs de pente de l'Etude globale Rhône (CNR, 2002). Il s'agit de la pente des lignes d'eau en crue (Q_5 à Q_{150}).

La largeur est estimée grâce à l'outil « calcul de distance » du logiciel SIG. La largeur à pleins bords correspond à la largeur de la section en eau + les bancs de galets nus + la section de la lône.

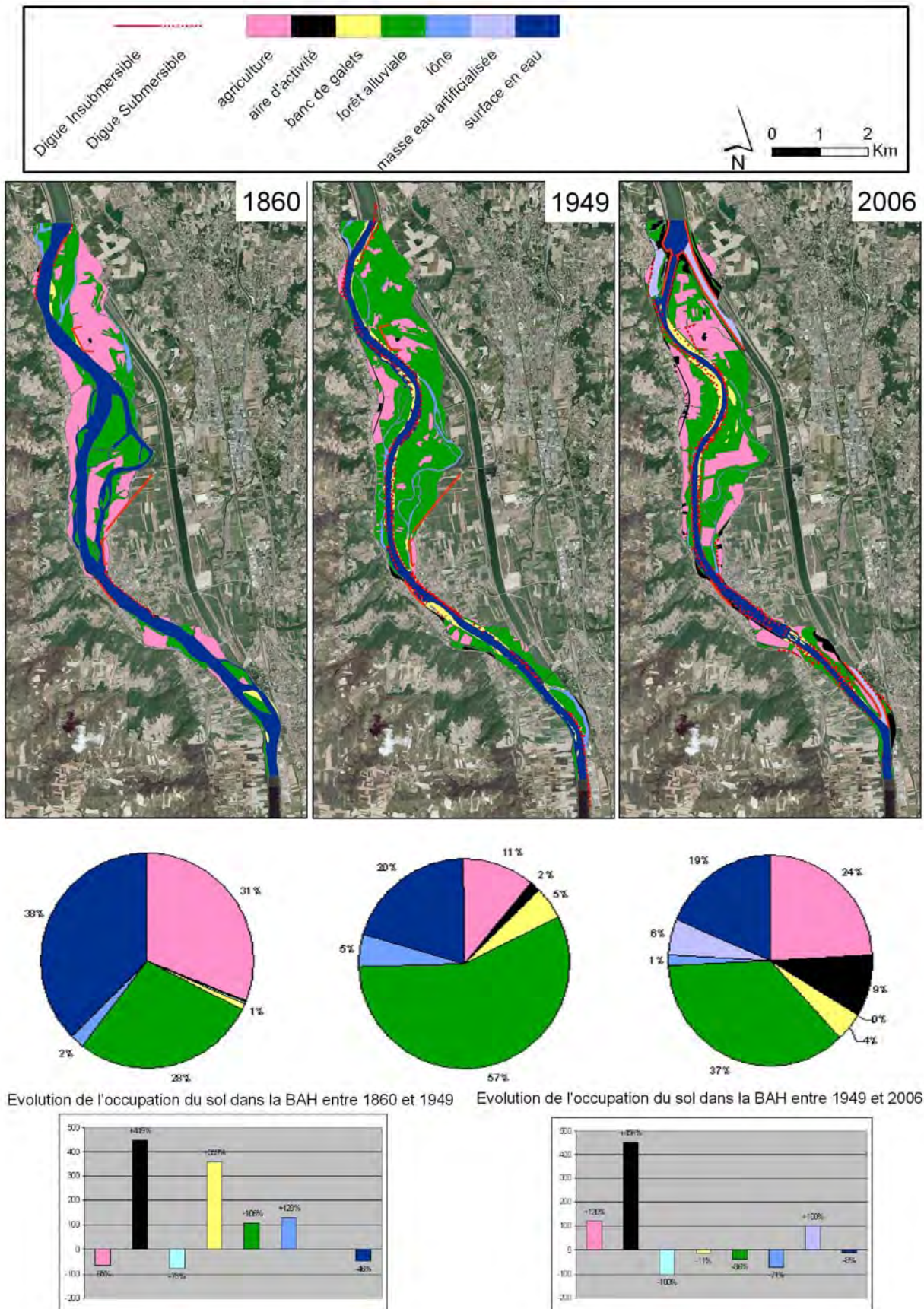


Figure 12 : Évolution de l'occupation du sol – Source : IGN®

Évolution de l'occupation des sols entre 1860, 1945-1960 et 2006 (Figure 12)

La cartographie de l'occupation des sols différencie les catégories suivantes:

- la surface en eau qui correspond au chenal principal et aux bras secondaires actifs
- les lônes qui sont des bras secondaires en voie d'assèchement
- les bancs de galets (ou de sable)
- la forêt alluviale qui regroupe l'oseraie, la saulaie, la peupleraie, etc.
- l'agriculture (céréales, vergers, vignes...)
- l'aire d'activité : elle regroupe l'urbanisation, les industries, les gravières, les zones de loisirs, les zones de dépôts de sédiments et les digues en enrochement.

La cartographie de l'occupation des sols en 1860 se base sur l'Atlas des Ponts et Chaussées de 1860. La cartographie de l'occupation des sols après aménagements Girardon se base sur des photographies aériennes prises avant travaux CNR : entre 1946 (Donzère) et 1961 (Péage-de-Roussillon). La cartographie de l'occupation du sol actuelle se base sur des orthophotos IGN de 2006 géoréférencées, fournies par la CNR. Cette carte sera réutilisée par la suite pour l'étude de la vulnérabilité (couche anthropisation) et l'étude du paysage.

Le recensement des aménagements en 1860, avant-travaux, 2006

Le recensement des aménagements différencie les catégories suivantes :

- digue pour la protection : vis à vis des inondations (DI) ou de l'érosion (enrochements, DI ouverte pour favoriser l'inondation par l'aval)
- digue pour la navigation : ce sont les digues basses, épis, tenons, seuils, mis en place par l'ingénieur Girardon
- aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône à vocation hydro-électrique

Le recensement des aménagements présents en 1860 se base sur l'Atlas des Ponts et Chaussées de 1860. L'Atlas renseigne sur la localisation des digues, leur étendue, et leur typologie. Le recensement des aménagements présents après aménagements Girardon se base sur les Plans Branciard. Ces plans localisent tous les aménagements réalisés pour la navigation entre 1840 et 1910. Le recensement des aménagements présents en 2006 se base sur un atlas, à l'échelle du 1/25000ème, fourni par la CNR ; il est composé de plans de situation des ouvrages CNR de Génissiat à Port-Saint-Louis-du-Rhône.

L'estimation de l'épaisseur des dépôts (Figure 13)

A l'aide du logiciel SIG Arcgis 9.2, le travail consiste à reporter tous les points et à renseigner manuellement la côte d'altitude correspondante. Le logiciel Arcgis peut calculer la distance des points par rapport au point 0. La table extraite du logiciel permet de réaliser des profils en travers avec le logiciel Excel.

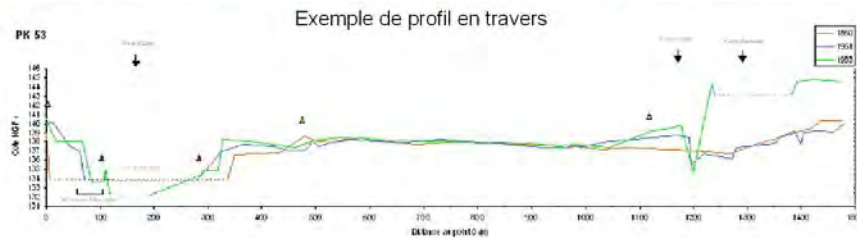
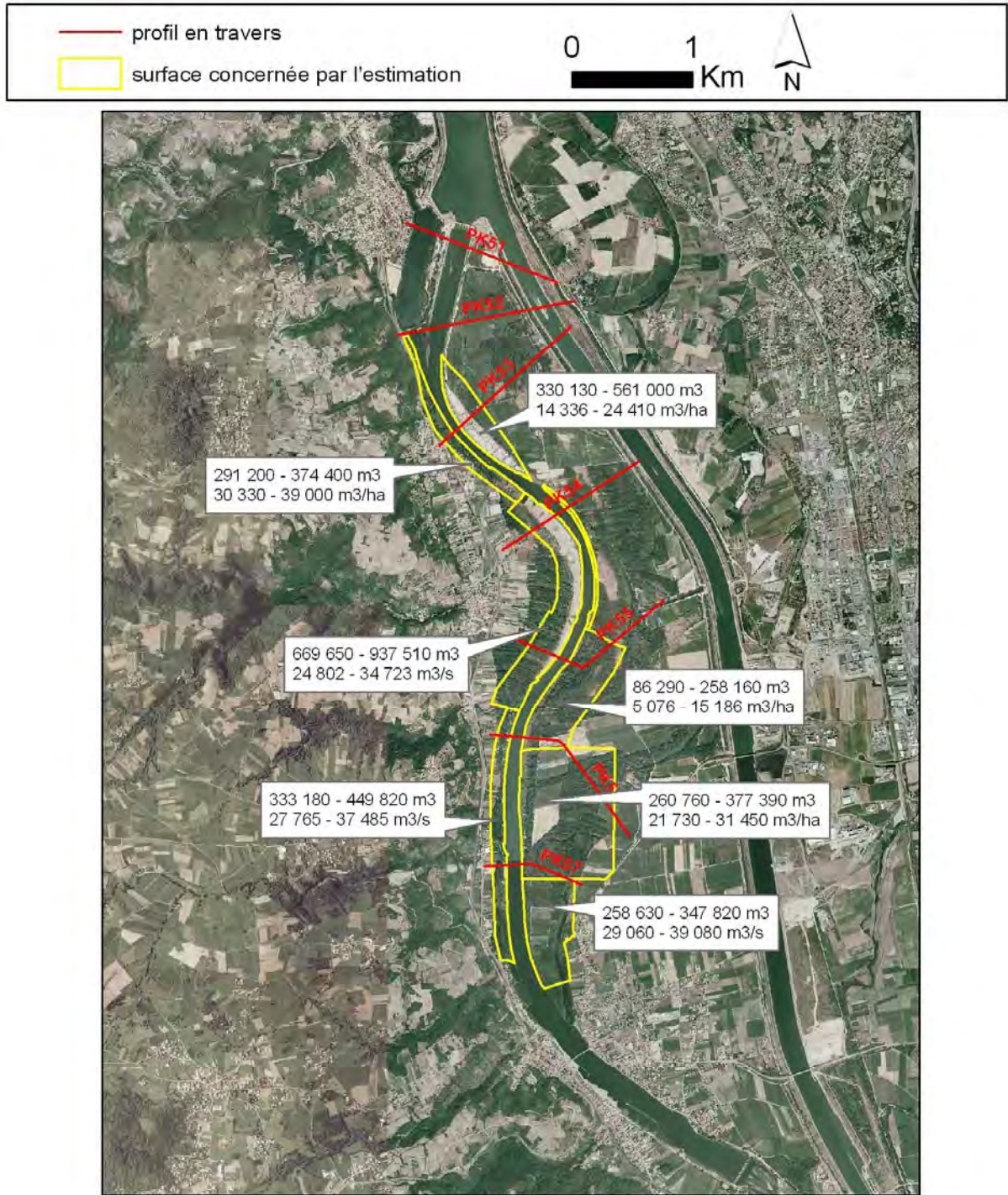


Figure 13 : Estimation des volumes déposés – Source IGN®

- L'Atlas des Ponts et Chaussées de 1860 donne un profil en travers par PK sauf en amont du PK 101, sur le Haut-Rhône.
- Les Plans Avant-Travaux de la CNR donnent de nombreux points de mesure dans la plaine, correspondant à la zone sur laquelle le canal hydroélectrique devait passer. Lorsque le tracé du canal est proche du vieux Rhône, les plans avant-travaux couvrent les marges du vieux Rhône ; en revanche lorsque le canal est éloigné, le plan ne couvre pas intégralement, ou pas du tout, le vieux Rhône.
- En ce qui concerne les vieux Rhône de Péage-de-Roussillon et Montélimar, des campagnes topographiques CNR ont permis à N. Valé (2005) et à D. Nadal (2008) d'obtenir des profils en travers pour l'actuel. En ce qui concerne les autres vieux Rhône, aucune campagne topographique n'a été réalisée récemment sur leurs marges. Les profils en travers sont donc extraits du levé LIDAR du Rhône fournit en 2010.

Détermination de la propriété des sols

La carte de la propriété des sols distingue :

- le domaine concédé à la CNR
- le DPF
- les terrains communaux
- les terrains privés

Les couches de la limite du domaine concédé et de la limite du DPF ont été fournies par la CNR.

Carte des casiers de sensibilité potentielle à l'inondation et à la sédimentation (Figure 14)

La méthode est empirique et permet un découpage homogène à l'échelle du fleuve : les casiers de sensibilité sont déterminés en fonction du type d'ouvrage (digue, levée), de son positionnement et de son orientation dans la plaine.

- Lorsqu'il n'y a pas d'ouvrage et que la dynamique fluviale est « naturelle », alors le casier est « **ouvert à dynamique naturelle** ». La sédimentation est le résultat net d'une alternance de phases de dépôt et de reprise des sédiments, au gré des crues. Le casier, ouvert, est fréquemment soumis aux inondations.
- Lorsque l'ouvrage est une digue qualifiée d'insubmersible, jusqu'à un certain débit, à une certaine époque, le casier est « **protégé par une digue insubmersible** ». Parfois les digues insubmersibles ne sont pas fermées, et servent surtout à casser les courants de crue et

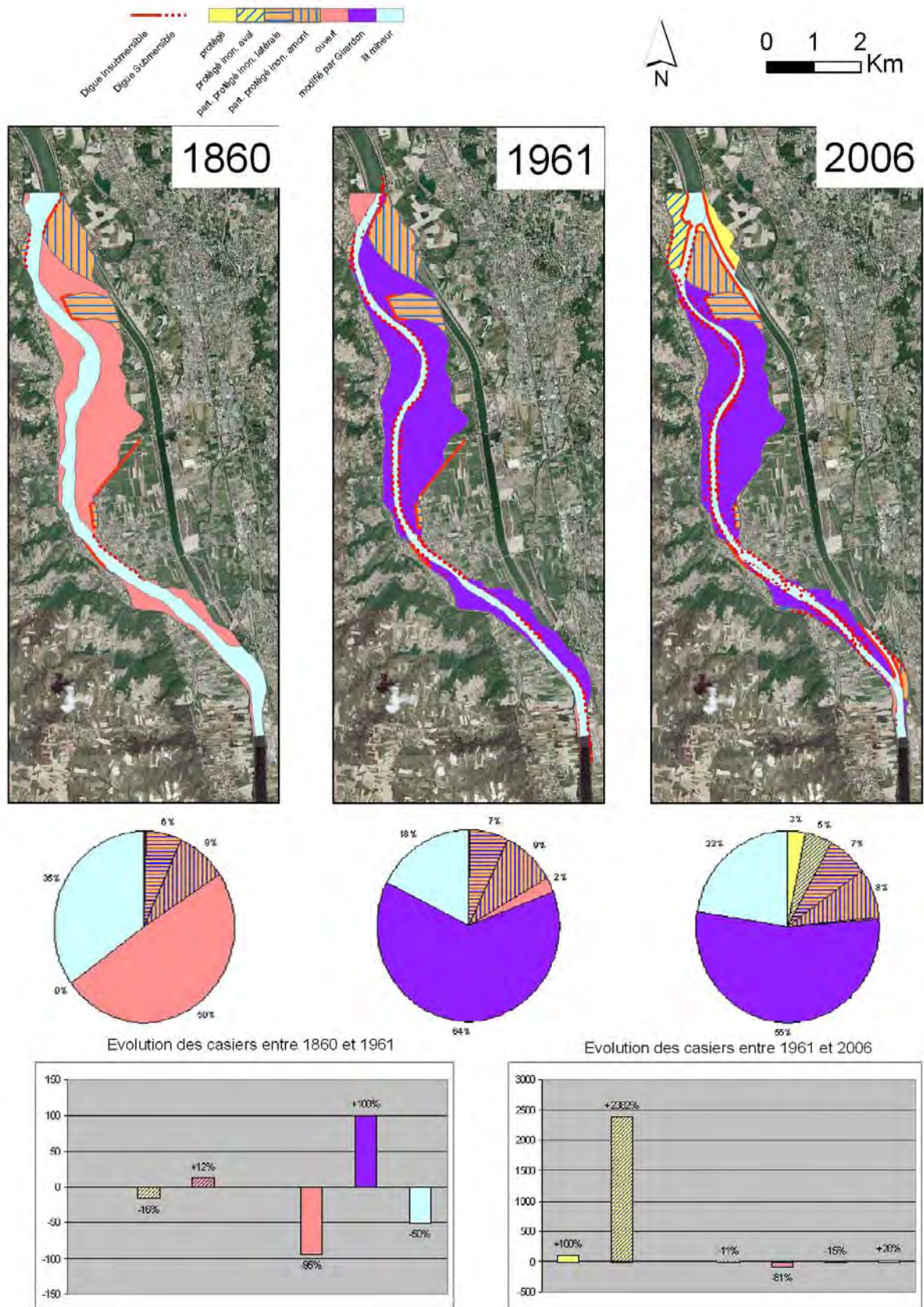


Figure 14 : Casier de sensibilité potentielle à l'inondation et à la sédimentation – Source IGN®

favoriser l'inondation par l'aval. Dans ce cas, le casier est « protégé inondé par l'aval ». Il peut également être inondé latéralement ou par l'amont.

Le casier protégé présente un taux de sédimentation faible car il est rarement inondé. La sédimentation est fine et les matériaux se déposent à la décrue.

- Lorsque l'ouvrage est une digue submersible, pour un certain débit, à une certaine époque, le casier est « **partiellement protégé par une digue submersible** ». Il est partiellement protégé car en-dessous d'un certain débit il n'est pas inondé. En revanche au-delà d'un certain débit, l'inondation peut venir de l'amont, latéralement ou de l'aval. Ce type de casier est plus souvent soumis à l'inondation que le casier protégé. Il présente donc un taux de sédimentation plus fort, par piégeage des sédiments en arrière de la digue à la décrue.
- Lorsque les ouvrages sont des digues Girardon, le casier est dit « **modifié par les aménagements Girardon** ». Les digues basses construites pour la navigation n'ont pas d'effet sur l'inondation, le casier est donc régulièrement inondé. Les ouvrages constitués d'une digue longitudinale accrochée à la berge par des tenons, des épis ou des barrages, sont des pièges à sédiments. Lors des crues, les sédiments se déposent en arrière des ouvrages et contribuent parfois, au fil des années, à combler totalement l'espace compris entre les tenons, ou l'espace en eau d'une lône. La sédimentation y est très rapide et très forte.

La méthode a été validée sur Montélimar par comparaison de la carte des casiers avec un modèle hauteur-vitesse 2D de la CNR. La zonation issue du modèle correspond bien à la zonation des casiers de sensibilité potentielle à l'inondation et à la sédimentation. Cela n'empêche pas les maîtres d'ouvrage, lors de la phase avant-travaux, de vérifier éventuellement la délimitation des casiers par rapport aux résultats d'un modèle 2D qui serait développé pour l'occasion.

b) Contraintes et faisabilité technique

i. Etude des enjeux locaux

Étude de la vulnérabilité

Il s'agit d'étudier les éléments vulnérables vis à vis du projet. Les données sont issues de l'Etude Globale Rhône actualisée pour la DREAL en 2009. Les éléments de vulnérabilité sont surfaciques (aire d'activité, périmètre de zone de captage), linéaires (infrastructures, digues) et ponctuelles (bâtiment isolé, rejet). Les éléments intangibles ont été définis en comité de pilotage, il s'agit des aménagements CNR, des infrastructures d'importance régionale ou nationale et des zones d'habitations. Il s'agit également de cartographier la valeur des terrains en fonction de leur usage : industrie, grandes cultures, vignes, habitations, zones de loisirs,...

Étude des enjeux écologiques

Dans un premier temps, l'étude porte sur le type de protection du site (Natura 2000, Réserve Naturelle, ZNIEFF 1 ou 2, ZICO...). Dans un second temps, on cherche à cartographier 4 types d'habitats (Figure 15) qui risquent d'être impactés directement ou indirectement par l'érosion de la berge et la remobilisation des sédiments. Cette cartographie est extraite des cartes des habitats

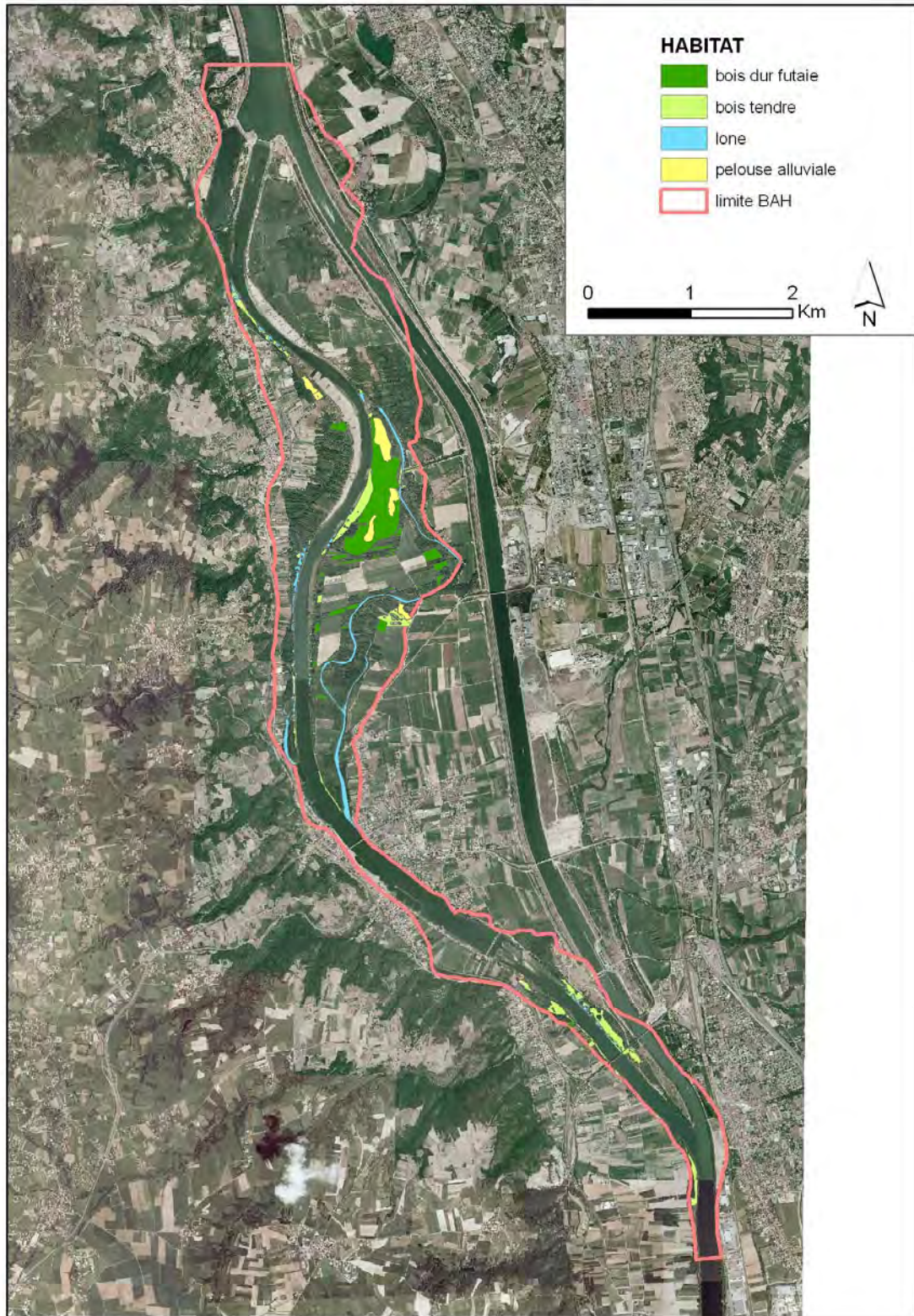


Figure 15 : Cartographie des habitats écologiques – Source IGN®

existantes, ou bien elle doit être produite à partir de l'analyse des ortho-photos, confirmée par un travail de terrain. On distingue :

- La forêt alluviale de bois tendres : cette forêt est menacée à l'échelle européenne. A l'heure actuelle, sur le Rhône, la forêt de bois tendre, partiellement ou totalement déconnectée de la nappe alluviale, n'est plus fonctionnelle. Cependant, il faut, à l'échelle d'un vieux Rhône, préserver des semenciers pour permettre la recolonisation des milieux créés par l'érosion et la remobilisation des sédiments pendant une crue morphogène.
- La forêt alluviale de bois durs composée de grands individus de type futaie : c'est la forêt patrimoniale du Rhône. Elle est rare à l'échelle du fleuve.
- La prairie alluviale : c'est une formation qui s'est installée sur les zones surélevées de la plaine alluviale. Elle est souvent composée d'espèces protégées. Ce type de milieu est en général situé sur les terrains qui ont été déconnectés de la nappe alluviale par incision du chenal, exhaussement des marges, et/ou diminution du débit réservé. Ainsi, ils se situent parfois sur les marges proches du chenal, qui n'est pas leur emplacement en condition naturelle. Si une prairie alluviale est située entre deux milieux humides, sa destruction par réactivation de la dynamique fluviale pourrait permettre de maintenir le corridor de milieux humides.
- Les milieux humides : ils possèdent une faune et une flore spécifique. L'habitat risque d'être modifié par dépôt éventuel des sédiments qui seront repris par le fleuve, même si leur importance relative en crue est très faible. Les îles restaurées dans le cadre du P10 seront cartographiées.

La forêt sera impactée directement par le projet de réactivation de la dynamique fluviale puisqu'au moment de l'enlèvement des digues la végétation doit être rasée. La prairie alluviale sera érodée si elle se situe sur les marges du fleuve. Les îles seront modifiées indirectement par l'entrée de sédiments remobilisés en provenance de l'amont.

Étude des enjeux patrimoniaux

Il s'agit de cartographier le patrimoine bâti qui risque d'être détruit directement ou indirectement (par érosion de la berge) dans le cadre du projet de réactivation de la dynamique fluviale. Le patrimoine bâti est composé d'éléments transversaux (ponts, gués, bacs), liés à la navigation (chemin de halage, quais, digues Girardon, bornes du Service Navigation), industriel (moulins), relevant de lieu de sociabilité (lavoirs) ou loisirs (bassin de joute). Enfin les repères de crues sont également considérés comme du patrimoine bâti. Le Conseil Régional a commandé un inventaire des ouvrages de franchissement sur le Rhône. Les couches seront disponibles durant le premier semestre 2011. L'établissement public Territoire Rhône réalise un recensement des repères de crue le long du fleuve. La cartographie du Haut-Rhône est déjà disponible en ligne. Les autres secteurs seront disponibles par la suite. Les ponts, les gués, les bacs, les chemins de halage, les quais, les digues Girardon les bornes du service navigation sont visibles sur les cartes de l'Atlas des Ponts et Chaussées de 1860. Une étude des archives de la Maison du fleuve Rhône, des musées locaux, des associations pour la conservation du patrimoine, des offices de tourisme ou des mairies permettra de compléter l'inventaire.

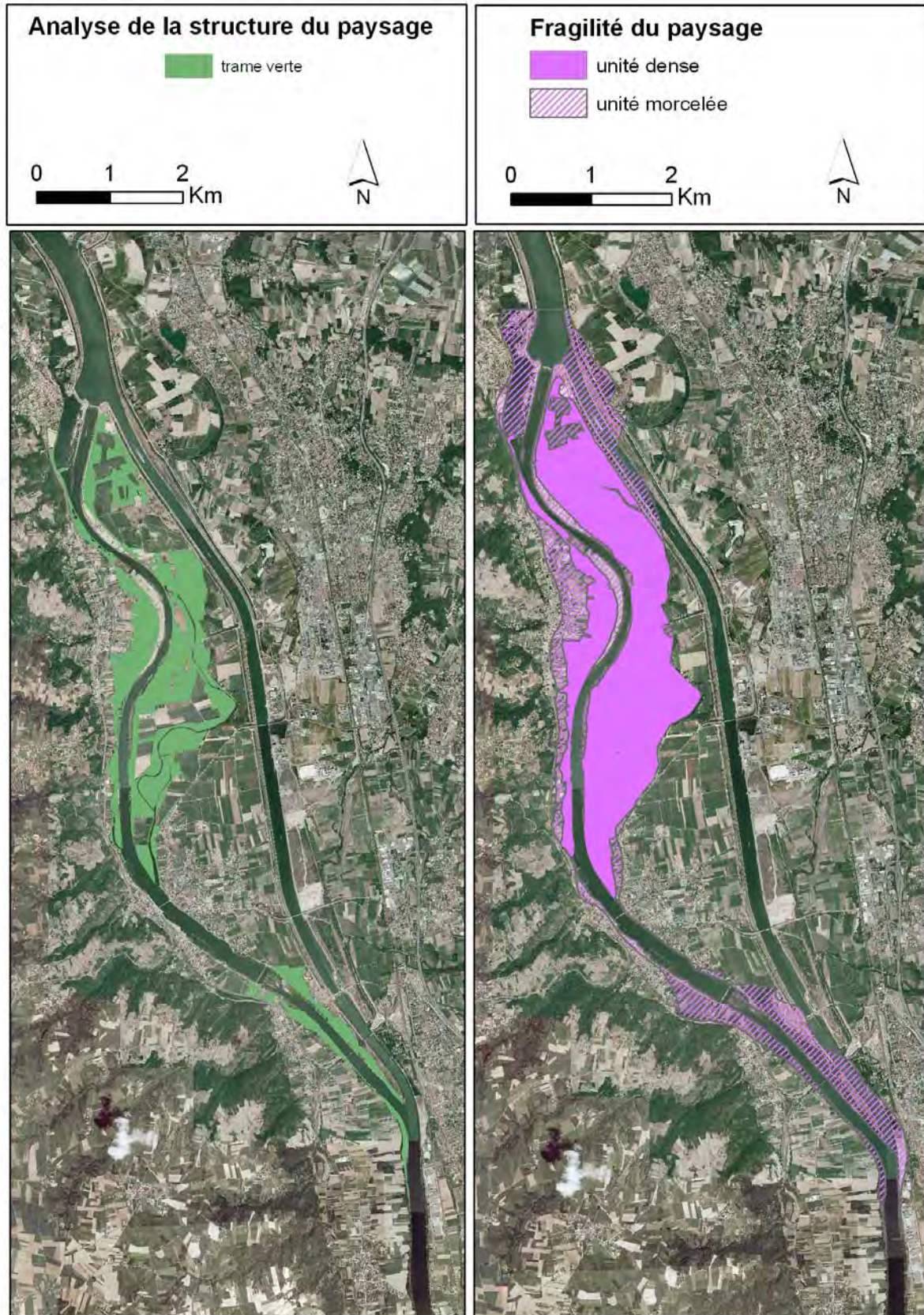


Figure 16 : Carte d'analyse paysagère

Étude du paysage

L'étude du paysage est découpée en trois parties :

Analyse de la fragilité du paysage (Figure 16)

Méthode : étude de la continuité (corridor paysager). Distinction du paysage fragmenté et du paysage dense.

Outils : vision 2D à partir d'orthophotos, vision oblique à partir de belvédères

Restitution : permet de renseigner sur la fragilité ou la robustesse du paysage par rapport à des travaux de restauration de marges. S'il existe des structures denses, massives, la fragilité du paysage est faible. En revanche si la structure du paysage est fragmentée, la fragilité est forte.

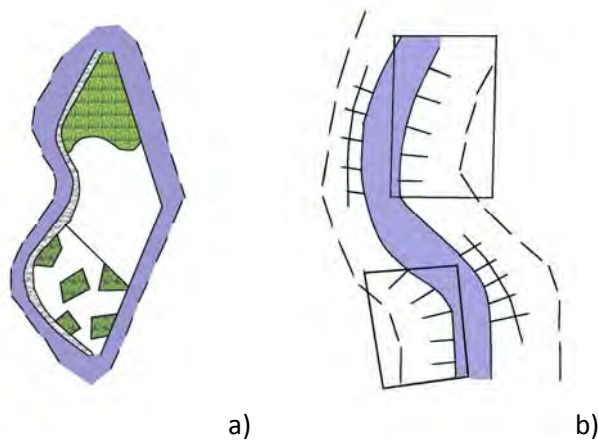


Figure 17 : Analyse des paysages a) morcellement des structures b) structures à l'échelle du fleuve

Structure paysagère à l'échelle du fleuve (Figure 16)

Méthode : structuration morpho-éco-paysagère. De quelle manière les aménagements ont-ils structuré le fleuve à l'échelle de la marge proche ?

- Niveau 1 : à l'échelle du Rhône, en quoi les aménagements Girardon structurent-ils le paysage ?
- Niveau 2 : à l'échelle du vieux Rhône, en quoi les aménagements Girardon et les spécificités du vieux Rhône permettent-ils d'identifier différentes unités ?

Outils : vision en 2D à partir d'orthophotos, de Google Earth, carte des aménagements 2D, descente en bateau ou à pied le long des berges

Restitution : carte des unités morpho-éco-paysagères. Photos des unités élémentaires.

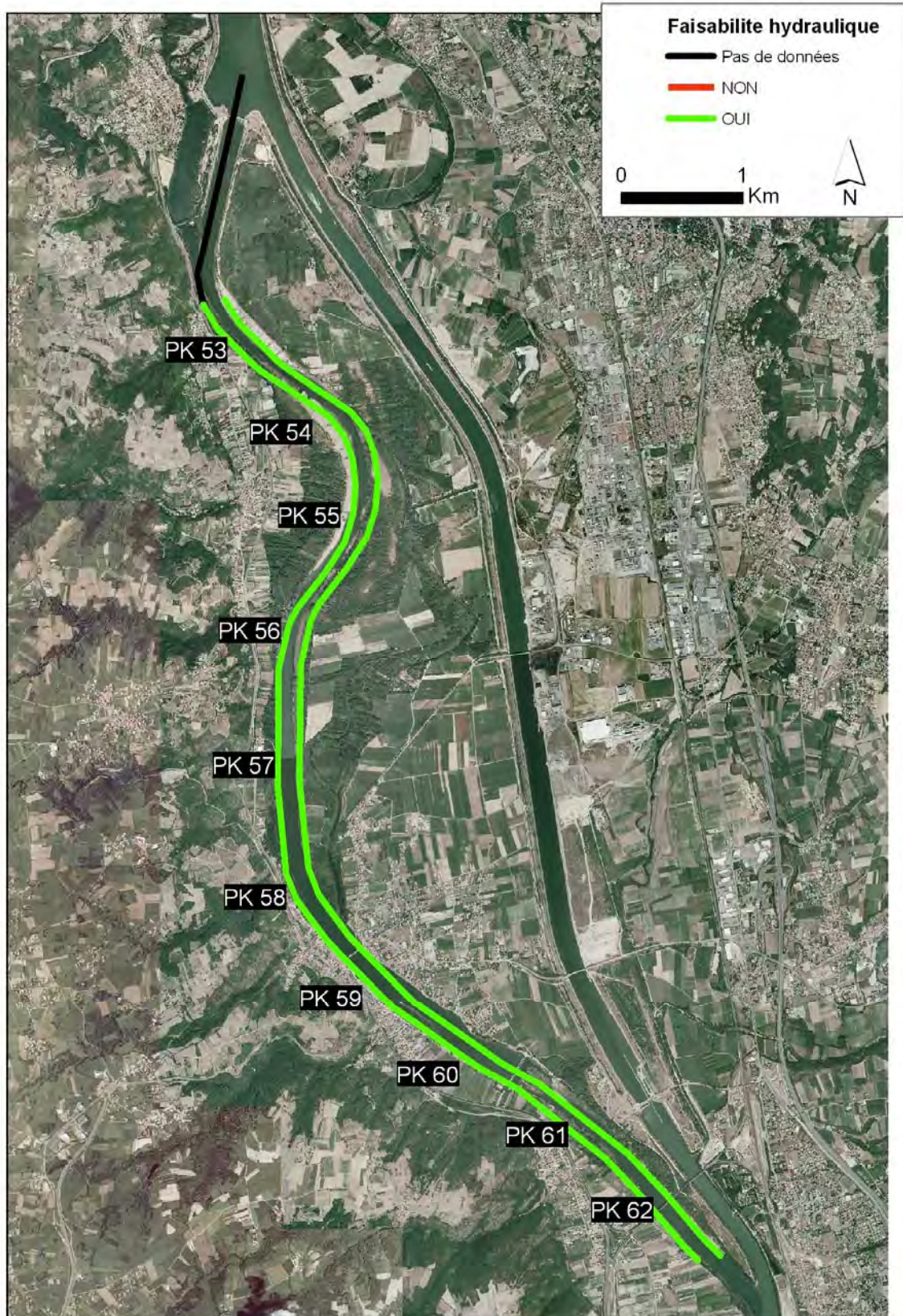


Figure 18 : Faisabilité hydraulique – Source IGN®

ii. Étude de la faisabilité hydraulique (Figure 17)

Depuis les travaux de Brookes (1988), de nombreuses recherches font état de la nécessité de relier la puissance spécifique et la résistance des berges (type de sédiments et végétation rivulaire) et la géométrie du chenal (la concentration de l'énergie et l'orientation du courant qui peuvent être induits par les apports solides).

En effet, un cours d'eau peut se réajuster morphologiquement avec une puissance spécifique inférieure à 25 W/m^2 , si sa berge est facilement érodable et/ou les apports solides sont importants et activent l'érosion latérale. Autrement dit, la présence d'un banc au milieu du cours d'eau peut provoquer des courants vers la berge qui favorisent son érosion. De même, la présence d'un affluent peut également augmenter la force des courants en direction de la berge. En ce qui concerne le Rhône, en amont de Beaucaire, la base des berges est composée principalement de galets. En revanche en aval de Beaucaire les berges sont sableuses jusqu'à la base. Ainsi la puissance spécifique est certes plus importante en amont qu'en aval de Beaucaire, mais l'érodabilité des berges est plus importante en aval.

La résistance de la berge dépend du type de sédiment, de sa cohésion, de son épaisseur et de la végétation rivulaire. D'après les sondages réalisés sur plusieurs vieux Rhône (Péage-de-Roussillon, Montélimar, Donzère) les sédiments déposés dans les marges alluviales sont principalement sablo-limoneux. Ils sont donc faiblement cohésifs. L'épaisseur des sédiments varie d'un casier de sédimentation à l'autre, les profils en travers renseignent sur l'épaisseur moyenne. Elle peut aller jusqu'à 4 m à Montélimar.

La végétation rivulaire n'intervient pas dans la résistance de la berge. Lors des travaux de démantèlement des digues, la végétation riveraine est coupée et les sédiments sont déstructurés pour faciliter la remobilisation.

L'orientation du courant en crue dépend de la géométrie du chenal et du sens de l'écoulement. Cette information peut être tirée des modèles 2D de la CNR. S'ils n'existent pas, il est possible de se servir des limites de la surface en eau (cf carte de l'occupation du sol actuelle) et d'en déduire l'orientation des flux en crue. Il y a érosion lorsque la puissance s'exprime de manière dissymétrique, c'est-à-dire lorsqu'elle est maximisée au droit de la berge par rapport à la valeur moyenne. Si le casier se situe en rive convexe, il sera soumis à des courants de crue plus faibles qu'un casier localisé en rive concave. De même, la présence d'un banc de galets dans le chenal en eau peut créer des écoulements divergents qui maximisent la puissance au droit de la berge ; l'érosion est donc indirectement liée au transport sédimentaire.

Le seuil de 35 W/m^2 défini par Brookes comme le seuil à partir duquel un cours d'eau est capable de s'auto-ajuster a été déterminé à partir de l'étude du transport de charge grossière sur de petits cours d'eau. Ici, il s'agit d'un fleuve et les sédiments stockés dans les marges sont des sédiments fins peu cohésifs. Il en résulte que l'on peut faire l'hypothèse que des valeurs supérieures ou égales à 15 W/m^2 devraient permettre de remobiliser les sédiments fins de la couverture issue des débordements, c'est ce qui nous intéresse ici, mais pas de remanier les galets car il faudrait une puissance très supérieure.

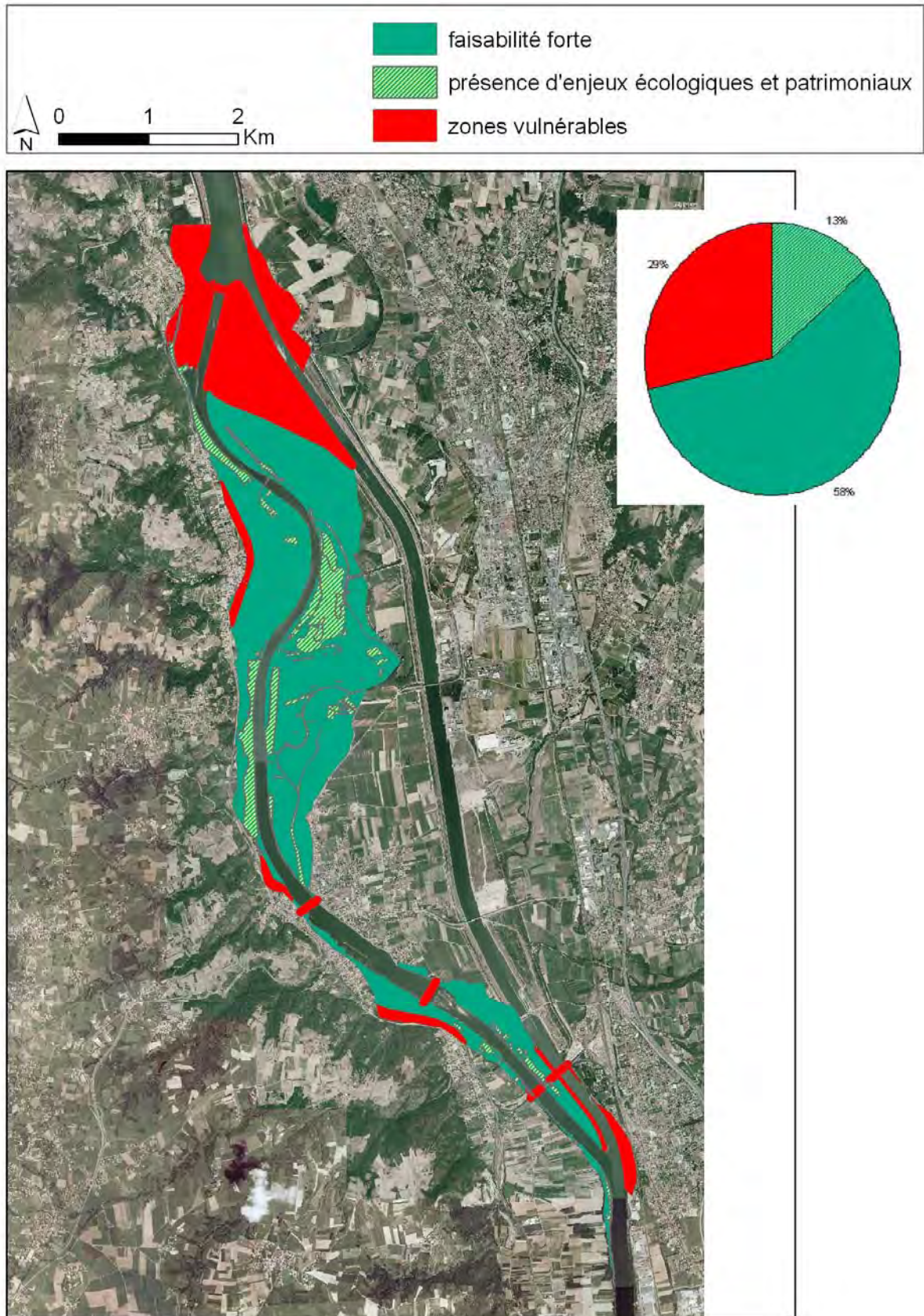


Figure 19 : Carte de synthèse de la faisabilité – Source IGN®

c) Carte de synthèse de la faisabilité

L'examen des enjeux locaux et de la faisabilité hydraulique conduit à colorer les casiers en fonction de la réactivation de la dynamique fluviale.

L'identification des enjeux et de la faisabilité hydraulique permet d'aboutir à une carte de synthèse de la faisabilité du projet de réactivation de la dynamique fluviale, dont la légende distingue 4 couleurs :

- ■ faisabilité forte
- ■ faisabilité forte mais attention présence d'enjeux écologiques ou patrimoniaux
- ■ faisabilité faible car puissance hydraulique insuffisante
- ■ faisabilité nulle

Cette carte (Figure 18) est la carte de synthèse de la faisabilité du projet. Elle est valable à la date à laquelle elle est produite. Les enjeux et la puissance hydraulique pouvant varier par la suite, certains points devront sans doute être actualisés. L'actualisation pourra se faire grâce à la mise en place d'une base de données. La carte de synthèse ne doit pas être perçue comme figée, les couleurs peuvent évoluer en fonction des choix qui seront fait.

3. Résultats appliqués au Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon

La méthode complète a été appliquée au Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon. Les illustrations présentes ci-dessus sont issues de cette première analyse. Le détail de cette dernière est présenté dans un document annexe : « Application de la méthodologie du Schéma Directeur de la ré-activation de la dynamique fluviale des marges du Rhône ».

4. Synthèse et conclusions pratiques

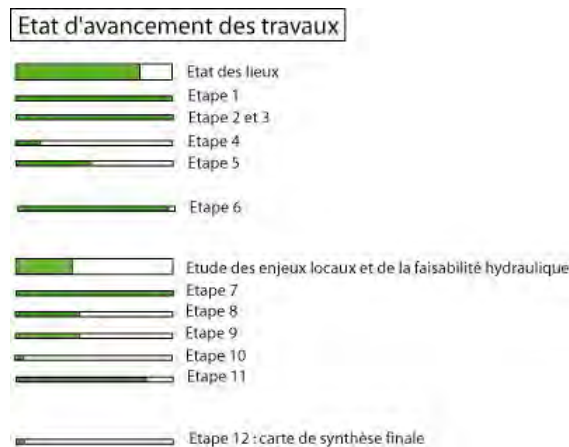


Figure 20 : Tableau de bord de l'avancement du Schéma Directeur de la ré-activation de la dynamique fluviale des marges du Rhône

La finalisation de l'état des lieux (Figure 19) et des cartes de sensibilité potentielle à l'inondation et à la sédimentation a permis de localiser les secteurs modifiés par les aménagements Girardon sur tous les vieux-Rhône, qui sont les secteurs prioritaires pour la réactivation de la dynamique fluviale.

L'étude historique a permis de mettre en valeur des tendances qui se confirment sur tous les vieux-Rhône et donnent des indications sur les effets des aménagements Girardon sur l'occupation du sol, le paysage, les habitats et la dynamique fluviale. Ainsi sur tous les vieux-Rhône on constate un comblement rapide des casiers Girardon dans les cinquante années qui suivent leur implantation. Les casiers qui sont restés en eau sont les casiers de rive concave qui sont davantage soumis aux courants de crue ainsi que ceux qui se situent dans un vieux-Rhône pour lequel le débit réservé est important, et dont le barrage déverse à partir de faibles débits.

L'étude des profils en travers donne une sédimentation qui peut atteindre 5m dans certains secteurs. Les recherches menées jusqu'alors donnent une estimation de 10 millions de m³ stockés dans les marges, sur un linéaire d'une dizaine de kilomètres.

Les deux réunions de suivi qui ont eu lieu en Mai et Juin 2010, ont permis de débattre de plusieurs aspects, de clarifier et compléter la méthode. L'étape 5 : étude de la propriété des terrains a été ajoutée. Le schéma directeur se veut ambitieux et ne se limite pas à l'étude des potentialités en domaine concédé, mais il apparaît clair que les projets en domaine concédé seront réalisables à plus court terme que les projets hors concession. L'étape 7 est terminée grâce aux données de l'Étude Globale Rhône remises par la DREAL. La définition de la vulnérabilité a fait l'objet de discussions. Il s'avère important de différencier les éléments intangibles : aménagements CNR, ponts, infrastructures routière et ferrée d'importance principale, aire d'activité dense, des éléments que l'on peut déplacer ou détruire. Il ne s'agit plus de discriminer un secteur en fonction de sa vulnérabilité, si celle-ci est tangible. Il faut également raisonner à différentes échelles de temps, il est possible qu'une maison ne soit pas vulnérable à court terme, mais le soit à long terme suite à l'érosion de berge qui aura eu lieu. Si c'est le cas, il est alors possible de mettre en place des protections en temps voulu avec les matériaux des digues Girardon qui seront conservés.

B. Axe II : Métrologie des flux

Les gestionnaires sont amenés de manière récurrente à s'interroger sur les manières dont ils modifient les flux dans les rivières, et ce à tout point de vue : polluants, ouvrages transversaux, aménagements, changements globaux... La prise en compte des flux est indispensable pour cette gestion que ce soit en milieu continental ou marin. Dans ce cadre la quantification et la caractérisation des flux solides en suspension et en transit sur le fond, des flux liquides et des flux de contaminants, à différentes échelles spatiales et temporelles, sont des étapes incontournables pour une connaissance éclairée et prédictive de la qualité des hydrosystèmes.

La quantification des flux en transit au sein du Rhône vers la mer Méditerranée doit reposer sur un réseau de points d'observation déployés de l'amont vers l'aval. Ce réseau doit permettre d'identifier et de quantifier les termes sources et de suivre le devenir des différents flux jusqu'à leur export au milieu marin. Le réseau doit également permettre d'intégrer les événements hydrologiques naturels (crue) ou anthropiques (lâchers de barrage, dragages) souvent à l'origine de transferts importants de matière sur une durée brève. Les données des points d'observation doivent également permettre de valider ou conforter les modèles numériques de transfert sédimentaire depuis le Léman à la mer, nécessaires pour fournir des informations prédictives en particulier pour la gestion du fleuve. Outre la quantification des flux, la caractérisation biophysicochimique des phases porteuses, c'est à dire des matières solides en suspension ou sédimentées, peut permettre d'évaluer l'origine des pollutions et leur propagation. Elle constitue un préalable pour appréhender les transferts à la chaîne trophique et la toxicité des contaminants présents dans le milieu.

3. Recensement du dispositif de mesure turbidimétrique

Équipes impliquées :

Cemagref de Lyon

Unité Mixte de Recherche Environnement, Ville, Société (EVS)

Responsable scientifique

Jérôme Le Coz

Cemagref de Lyon - 3 bis quai Chauveau CP220 – 69336 Lyon

jerome.lecoz@cemagref.fr

Autres personnes ressources

Guillaume Fantino

Ecole Normale Supérieure de Lyon – Site Descartes – 15 Parvis R. Descartes, BP 7000 – 69632 Lyon cedex 07

guillaume.fantino@ens-lyon.fr

1. Contexte

Cette action de l'axe II « Métrologie des Flux de sédiments et contaminants particuliers » vise le recensement du dispositif existant d'observation des flux sédimentaires en continu, sur le corridor rhodanien et les affluents principaux contributeurs (par exemple : Arve, Saône, Isère, Durance). Le système de stations, essentiellement turbidimétriques avec ou sans prélèvement automatisé, présentes sur le Rhône et ses affluents est géré par différents organismes, et mal connu de l'ensemble des acteurs du bassin. Les turbidimètres ont été installés avec des objectifs différents (turbidité sans étalonnage MES, suivi des niveaux de concentration, quantification des flux).

2. Objectifs

Cette action vise à produire un recensement géoréférencé des stations à turbidimètres / préleveurs présentes sur le Rhône et ses affluents. Ce recensement sera synthétique mais le plus exhaustif possible, de manière à fournir une vision cohérente de l'existant à l'échelle du bassin versant.

3. Résultats:

a) Tâche 1 : Collecte des métadonnées sur le réseau existant de suivi des flux solides en continu

La collecte de métadonnées a été réalisée auprès des gestionnaires de stations de mesure identifiés, en particulier :

- Ifremer (contact : D. Cossa) : station sur bouée au débouché du Rhône en Méditerranée
- EDF-DTG (contact : Alain Poirel, DTG Grenoble)

- stations turbidimétriques des CNPE Haut-Rhône (Creys-Malville, Bugey)
- stations turbidimétriques du bassin de l'Isère (dont Drac, Romanche, Arc)
- stations turbidimétriques du bassin de la Durance (dont Bléone, Asse)
- Grand-Lyon (contacts : Jean Chapgier, Anne Perrissin, Grand-Lyon)
 - stations d'alerte (dont turbi) de Ternay, Vieux-Rhône et Jons
- IRSN (contacts : F. Eyrolle, C. Antonelli, IRSN)
 - station SORA turbidimètre, prélèvement et analyses automatisés
- Cemagref (contact : J. Le Coz, Lyon)
 - stations HADCP / turbidimètres Saône et Isère
 - stations site-atelier Arc-Isère
- CEREGE (contact : Guillaume Raccasi, CEREGE)
 - station aDcp / bac de Barcarin

Un tableau rassemblant les caractéristiques de ces points de mesure a été dressé. Une carte dynamique a été mise en ligne (Figure 20) où les stations sont localisées et leurs caractéristiques consultables (accès via le site web de l'OSR ou à l'adresse suivante :

<http://crenam67.univ-st-etienne.fr:8399/ReseauDeMesureMES/>

Toutes les caractéristiques de ces stations n'ont pas encore été rassemblées de façon exhaustive. Ce travail est donc à poursuivre.

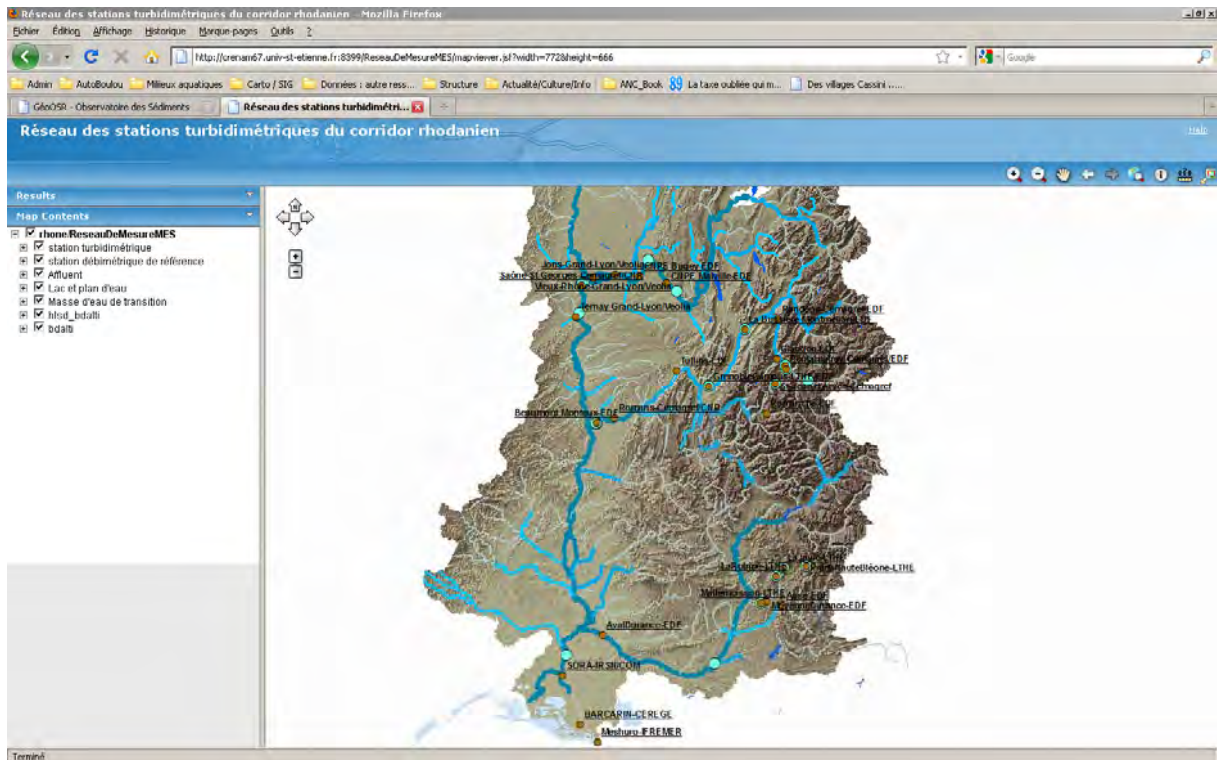


Figure 21 : Application WebSIG du recensement du réseau de mesure turbidimétrique

b) Tâche 2 : Classification des points de mesure, propositions de développement

Sur la base des métadonnées collectées, de la littérature analysée et des essais réalisés (dont prélèvements à Ternay), une classification des points de mesure sera proposée de manière à dégager une structure cohérente du dispositif existant et à consolider, à l'échelle du bassin versant, dans une optique de compréhension et de quantification des flux solides événementiels et moyens.

- Pertinence en termes de flux sédimentaires : croisement avec les apports solides naturels et modifiés des principaux affluents du Rhône (étude .Globale Rhône, SOGREAH)
- Pertinence en termes de flux de contaminants : Croisement avec les réseaux d'échantillonnage quasi-mensuel RNB et réseau de surveillance Eau/MeS de l'Agence de l'Eau RMC.

Propositions de structuration et développement d'un réseau de mesure cohérent hydrologiquement, et fondé sur deux stations d'analyses : Arles Rhône sud (à maintenir) et Lyon Rhône nord (à développer).

- un réseau de stations turbidimétriques étalonnées en concentration MES
 - Haut-Rhône : Creys-Malville (non étalonné), Bugey (non étalonné), Jons (non étalonné)
 - plus de stations de mesure sur le Rhône avant Arles
 - principaux apports au Rhône : Isère ok, Durance ok, Saône ok, Arve mal connu (SIG? À équiper?)

- étalonnage par prélèvements à compléter, mise en réseau des producteurs de données, base de métadonnées à faire vivre
- identification des points de mesure de flux MES/contaminants par croisement station Q, station MES, point de prélèvement/analyse (exemple Grenoble Campus)
- une station MES/contaminants Rhône sud (SORA Arles) à maintenir
- une station MES/contaminants Rhône nord (Lyon) à développer
 - s'appuyer sur les stations d'alerte Grand-Lyon, équipées de turbidimètres (à étalonner) et d'analyseur de la fraction dissoute (à étendre à des paramètres particuliers).
 - La station de Ternay pose un problème de représentativité du point de prélèvement pour les MES et contaminants associés : le mélange des eaux de la Saône et du Rhône n'est pas effectif en crue à la diffluence amont de l'aménagement de Pierre-Bénite ; après la confluence de l'aménagement, il n'est sans doute pas non plus effectif au niveau de Ternay. Pour connaître les flux particuliers à l'aval de la confluence Rhône-Saône, une meilleure stratégie consiste à développer une mesure des flux à la station de Jons (Rhône total amont Lyon) avec compléments d'information à la station de la Saône à Saint-Georges. Ces deux sections présentent des concentrations homogènes en crue (vérifié par le Cemagref sur la Saône en 2006, à confirmer à Jons).
 - Jons : mise en place d'un échantillonneur d'eau brute, et d'un bas décanteur

4. Consolidation du système d'observation

Équipes impliquées :

Cemagref de Lyon

Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences et de l'Environnement (CEREGE)

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

Responsables scientifiques

Jérôme Le Coz

Cemagref de Lyon - 3 bis quai Chauveau CP220 – 69336 Lyon

jerome.lecoz@cemagref.fr

Fédérique Eyrolles

IRSN – IRSN/DEI/SESURE/LERCM - Bât 153 – 13115 - Saint Paul lès Durance

04 42 19 95 12

frederique.eyrolle@irsn.fr

Personnes ressources sur l'action

Christelle Antonelli

IRSN – IRSN/DEI/SESURE/LERCM - Bât 153 – 13115 - Saint Paul lès Durance

christelle.antonelli@irsn.fr

O Radakovitch

CEREGE UMR 6635, Av. Louis Philibert - Europôle de l'Arbois, BP 80 - 13 545 Aix-en-Provence

radakovitch@cerege.fr

M Coquery

Cemagref de Lyon - 3 bis quai Chauveau CP220 – 69336 Lyon

coquery@lyon.cemagref.fr

G Raccasi

CEREGE UMR 6635, Av. Louis Philibert - Europôle de l'Arbois, BP 80 - 13 545 Aix-en-Provence

raccasi@cerege.fr

1. Contexte et objectifs

Cette action de l'axe II « Métrologie des Flux de sédiments et contaminants particuliers » vise la consolidation du système d'observation des flux sédimentaires en continu, sur le corridor rhodanien et les affluents principaux contributeurs (par exemple : Arve, Saône, Isère, Durance). Ce système représenté de manière hétérogène et disparate, et surtout non organisé au début de l'OSR doit s'améliorer et se consolider pour pouvoir fournir les données nécessaires pour la quantification et l'explication des transferts de matière en suspension et de contaminants associés dans l'espace et le temps.

Deux sites majeurs existaient au début de l'OSR : 1) La station SORA de prélèvement et d'analyse en continu des eaux du Rhône à Arles, qui permet une connaissance détaillée des flux particuliers (MES, éléments-traces radioactifs, métalliques, organiques) à l'exutoire du bassin du Rhône et 2) le

dispositif du site-atelier Arc-Isère qui permet l'étude des flux produits par un sous-bassin très contributeur, depuis les versants érosifs de la Maurienne jusqu'au Rhône, en passant par les aménagements hydro-électriques de l'Arc et de l'Isère.

Cette base doit être maintenant confortée sur plusieurs aspects comme l'augmentation du nombre de site d'étude et du nombre de prélèvements dans le temps, l'amélioration de la qualité des mesures et leur intercomparabilité. La chasse hydraulique des barrages suisses du Rhône, initialement prévue en 2010 et reportée à 2011 ou 2012, constituera un événement d'intérêt majeur qu'il sera important de suivre à l'aide de ce futur réseau. Un protocole de suivi synoptique des flux solides et des teneurs en PCB pour cet événement a été établi en partenariat entre les équipes OSR axe 2, et en coordination avec le suivi CNR et DREAL.

Les travaux réalisés ont été ciblés sur 3 principales tâches : 1- sur l'implémentation et l'étalonnage de stations turbidimétriques, 2- Le renforcement de l'instrumentation SORA, 3- L'instrumentation de Barcarin dans la zone d'interface eau douce/eau de mer.

2. Méthodes

Des méthodologies innovantes (profileur acoustique Doppler, granulométrie laser in-situ) ont été mises en oeuvre, ainsi que la turbidimétrie à rétrodiffusion optique, plus classique mais robuste, en fonction des sites et des priorités. Chaque technique a fait l'objet de vérifications et étalonnage, en particulier pour les points de mesure turbidimétriques.

3. Résultats scientifiques

a) Tâche 1 « stations turbidimétriques »

Un important travail d'instrumentation a été réalisé sur des stations turbidimétriques permettant une fois étalonnées de mesurer en continu les flux de MES. L'effort a essentiellement porté sur l'Isère et ses affluents les plus producteurs (Arc, Arvan), ainsi que sur la Saône à Lyon Saint-Georges. Les stations nouvellement installées et étalonnées en 2009-2010 viennent s'ajouter au réseau des stations de mesure des flux de MES en continu sur le bassin du Rhône (stations SORA, Barcarin, EDF, Grand-Lyon). L'ensemble de ces stations sont enregistrées et décrites dans la base de métadonnées issue du recensement du réseau de mesure (voir action « Recensement » de l'axe II).

Les stations turbidimétriques suivantes ont été nouvellement mises en service par l'OSR et ses partenaires (Figure 21):

- station Isère à Romans le 9/01/2009 (Cemagref / CNR, débit CNR, HADCP) + échantillonneur automatique provisoire installé le 2/11/2009
- station Saône à Lyon-St George le 14/10/2009 (Cemagref / CNR, débit CNR, HADCP) + prélèvements manuels + contrôles de turbidité NTU par turbidimètre portatif
- Station Arc à Pontamafrey le 19/03/09 (Cemagref / EDF, débit EDF) + échantillonneur automatique

- station Arvan aval à St-Jean-de-Maurienne en octobre 2009 (Cemagref / EDF) + radar hauteur-vitesse + échantillonneur automatique provisoire
- station Arc à Randens en avril 2010 (Cemagref / EDF, débit DREAL RA) + échantillonneur automatique provisoire
- station Arvan amont à St-Jean d'Arves – La Villette le 29 juillet 2010 (Cemagref, débit DREAL RA) + échantillonneur automatique provisoire
- station Isère à Montmélian en septembre 2009 (EDF, débit DREAL RA) + échantillonneur automatique provisoire

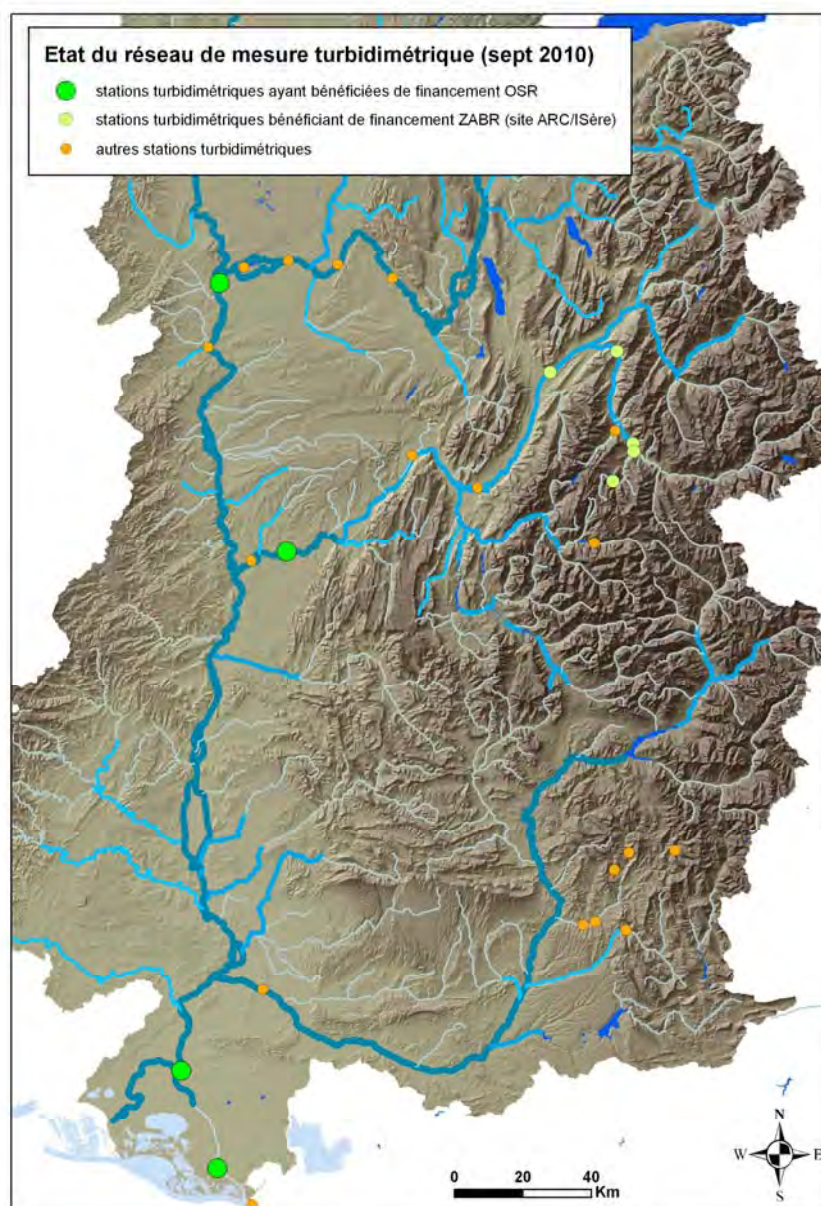


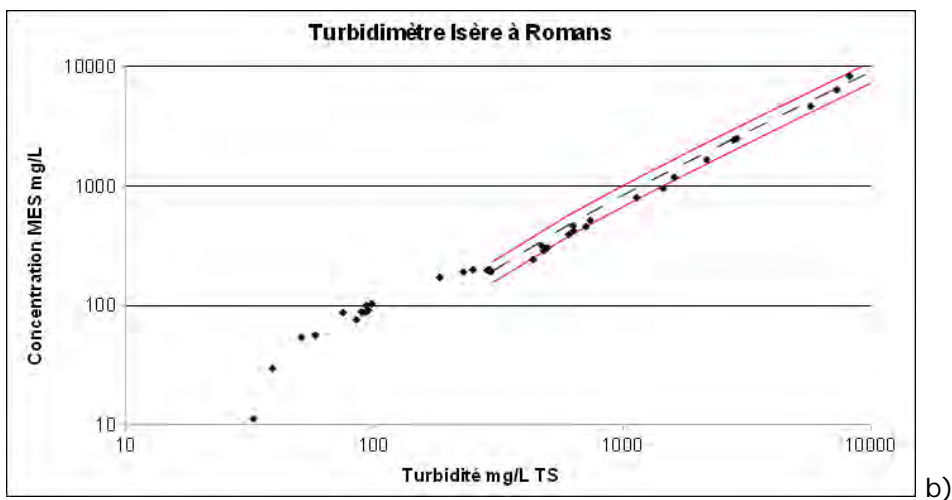
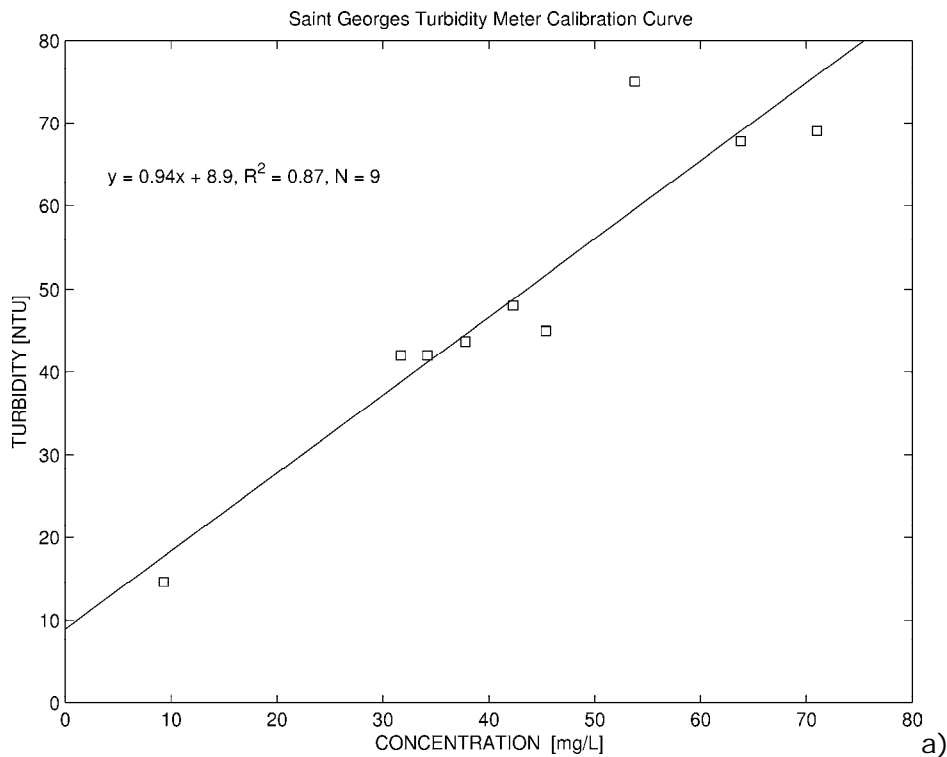
Figure 22 : Carte de localisation des stations turbidimétriques présente sur l'Isère

Sauf à St-Georges, l'ensemble des turbidimètres installés sont des modèles Hach Lange Solitax fonctionnant en mode rétrodiffusion à 140° (unité constructeur g/L TS, gamme 0-90 ou 0-150 g/L, sauf à Romans 0-15g/L), avec plusieurs sorties analogiques numérisées à différentes sensibilités. A Saint-Georges, les concentrations plus faibles permettent d'utiliser le mode normalisé en unité NTU (rétrodiffusion à 90°, gamme 0-4000) sans risque de saturation.

Les prélèvements d'échantillons d'eau brute pour la mesure de la concentration MES par filtration-pesée ont permis ou vont permettre d'établir pour chaque station des relations opérationnelles pour convertir les enregistrements turbidimétriques en concentration massique MES. Ces relations sont linéaires (en entier ou par morceaux) de pente très proche de 1. Elles devront être confirmées lors de la critique-validation périodique des chroniques, ainsi que l'édition des annuaires de données Cemagref. L'état des lieux de cet étalonnage par station est le suivant (Figure 22):

- station Saône à Lyon-St George (Cemagref / CNR, Fig. 2a) : seulement 9 échantillons manuels mais bien distribués sur une gamme de 10 mg/L à 70 mg/L, la variation entre l'étiage et les crues étant de 5 mg/L à 200 mg/L typiquement. La relation linéaire obtenue par régression est acceptable, mais elle devra être confirmée par de nouveaux prélèvements manuels.
- station Isère à Romans (Cemagref / CNR, Fig. 2b) : nombreux échantillons entre 5 mg/L et 2 g/L, quelques échantillons distribués entre 2 et 8 g/L ; certains prélèvements automatiques ont du être écartés pour cause de contamination biologique (algues, gamarres). La relation linéaire obtenue par régression présente des résidus acceptables (~20%) sur la gamme 200-8000 mg/L. Une autre relation linéaire est observée en-deçà de 200 mg/L, mais cette dernière reste à confirmer.
- station Arc à Pontamafrey (Cemagref / EDF, Fig. 2c) : nombreux échantillons entre 500 mg/L et 10 g/L, quelques échantillons distribués entre 10 et 50 g/L ; on observe une dispersion importante pour certaines séries de prélèvements automatiques, attribuable soit à des problèmes de représentativité de l'échantillon (aspiration, ségrégation des particules), soit à des événements particuliers (chasses de barrages). Abstraction faite de ces séries, la relation linéaire obtenue par régression présente des résidus acceptables (~20%) sur la gamme 500-50 000 mg/L. Une explication pour les séries déviantes devra être recherchée.
- station Arvan aval à St-Jean-de-Maurienne (Cemagref / EDF, Fig. 2d) ; une relation linéaire acceptable (~20%) a commencé à être établie à partir de premiers prélèvements automatiques, mais la relation est mal documentée entre 100 mg/L et 10 g/L. Quelques points autour de 1 g/L présentent un écart important à la relation. L'échantillonneur a été reparamétré pour prélever dans la gamme manquante.
- station Arc à Randens (Cemagref / EDF). L'analyse des premiers échantillons Cemagref indique une relation satisfaisante, qui devra être confirmée avec les nombreux échantillons collectés par EDF dans le cadre du suivi du curage du bassin de Longefan (2010). Toutefois, des prélèvements distribués dans la section et en amont/aval montrent que le mélange des eaux claires de la restitution Isère (en amont de Randens) et des eaux chargées de l'Arc n'est pas du tout atteint au niveau du site de mesure. Le point de mesure n'est donc pas représentatif quand la restitution débite. Ce problème doit être réglé, sans doute par un déplacement du capteur vers l'aval (bon mélange), ou en amont de la restitution.

- station Arvan amont à St-Jean d'Arves (Cemagref, Fig. 2e) ; peu d'échantillons depuis la mise en service récente de la station, mais des points ont pu être pris à très basse concentration, et une relation linéaire se dégage à $\pm 20\%$. Des essais avec un turbidimètre provisoire pendant la fonte des neiges au printemps 2009 avaient fourni des corrélations acceptables.
- station Isère à Montmélian (EDF) ; les nombreux échantillons collectés par EDF dans le cadre du suivi du curage du bassin de Longefan (2010) ne sont pas encore disponibles.



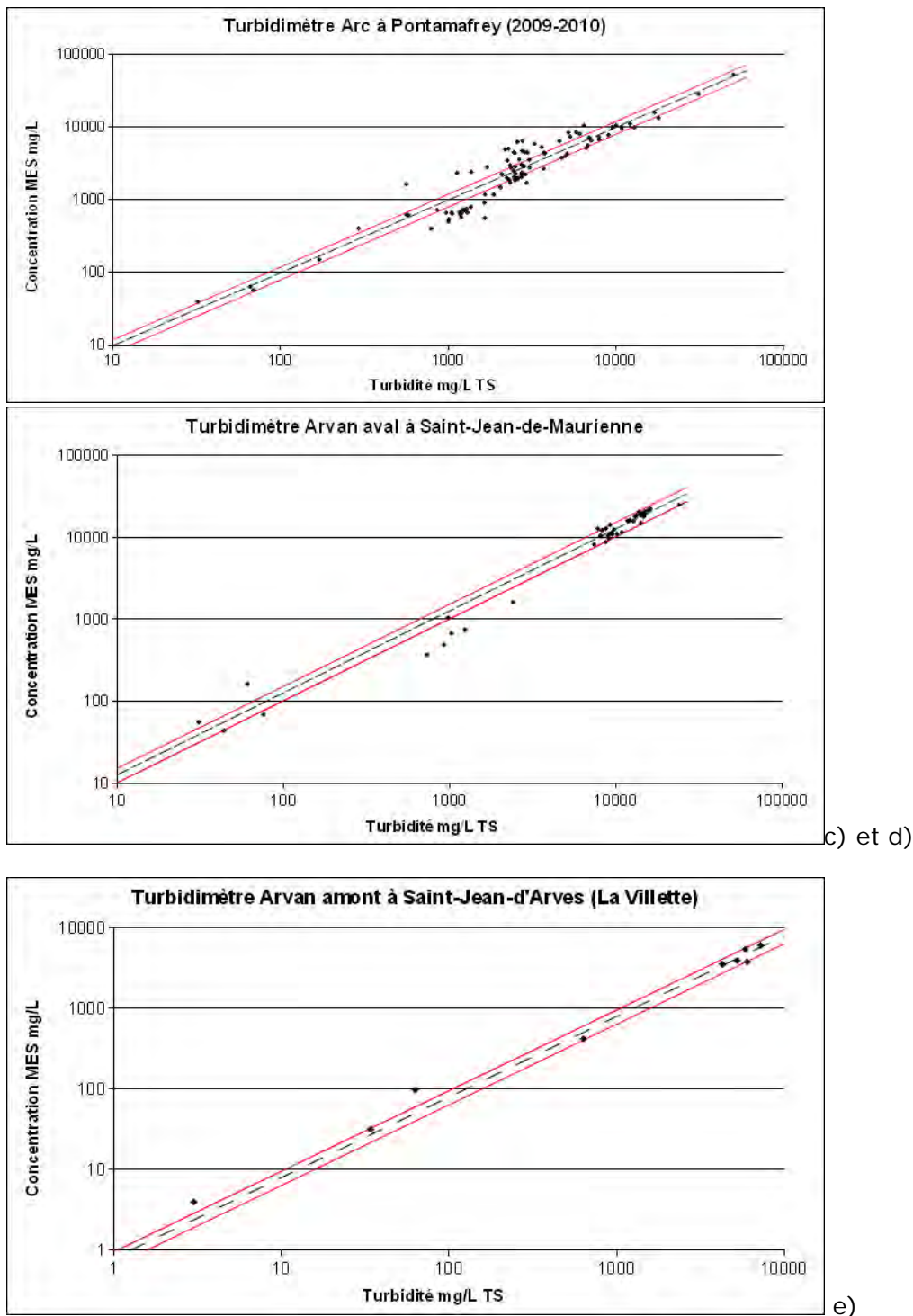


Figure 23 : Relations opérationnelles entre turbidité (mesurée en continu) et concentration massique en MES (mesurée par filtration-pesée). Saône à Saint-Georges (a), Isère à Romans (b), Arc à Pontamafrey (c), Arvan aval (d), Arvan amont (e). Les données (symbole) sont issues de prélèvements manuels et automatiques réalisés en 2009-2010. La ligne pointillée indique la relation linéaire opérationnelle, les lignes rouges indiquent les écarts à $\pm 20\%$ de cette relation.

b) Tâche 2 « station SORA »

Afin d'améliorer la compréhension des mécanismes qui régulent les transferts des radionucléides ou des autres éléments traces inorganiques ou organiques associés aux matières en suspension, un granulomètre laser in situ a été acquis. La taille des particules est en effet un paramètre clé intervenant dans la rétention et/ou la mobilité de la majeure partie des contaminants dans l'environnement. La Station SORA s'est ainsi équipée d'un LISST-Streamside développé par la société Sequoia, afin d'enregistrer à haute fréquence les spectres granulométriques des MES en transit. Ce granulomètre fonctionne sur le principe de la méthode par diffraction laser et permet de fournir des mesures en taille et en concentration des matières en suspension présentes dans le fleuve. La gamme granulométrique s'étend de 1,89 à 386,38 μm et celle des concentrations est approximée de 10 à 3000 mg.L^{-1} . En haute fréquence, il est possible d'obtenir une mesure toutes les 5 minutes.

Cette instrumentation a été intégrée dans le dispositif en place à la station SORA, en février 2010. Des tests de validation des caractéristiques techniques ont été menés de mars à août 2010 par un étudiant M2R. La première phase de tests a consisté à vérifier que l'emplacement du LISST et son alimentation en particules n'entraînaient pas d'erreur systématique sur la mesure. Les résultats obtenus après plusieurs ajustements (changement de place, modification de la prise d'eau, délai de purge...) permettent d'estimer que la configuration matérielle est aujourd'hui optimale. Elle reste cependant à vérifier pour des événements plus chargés en particules.

Quelques tests ont ensuite permis de déterminer les concentrations optimales en fonction de la taille moyenne des particules et caler ainsi la gamme de mesure optimale du LISST-Streamside. Il apparaît que les limites proposées par le constructeur surestiment les capacités optiques de l'instrumentation. D'autre part les incertitudes associées aux résultats de mesure ont été estimées pour les tailles et concentrations. Elles s'établissent respectivement à 3,7% et 4,3% (niveau de confiance de 70%).

Le résultat de mesure de la concentration du LISST est exprimé en $\mu\text{L.L}^{-1}$. Afin de comparer les résultats obtenus avec ceux acquis par ailleurs (turbidimètres en amont, Bac de Barcarin à l'aval, données de la littérature), il est nécessaire de convertir ces données en mg.L^{-1} . Pour ce faire, des relations empiriques ont été établies à partir des résultats obtenus sur des standards (tailles et concentrations connues), puis validées sur des échantillons prélevés dans le Rhône (données issues du Centre d'Océanologie de Marseille ou prélèvements ponctuels manuels). La correspondance établie est stable sur la gamme de débit et de concentration enregistrées à Arles entre mars et août 2010 (Figure 23) mais devra être vérifiée (voire étalonnée) pour des situations hydro-sédimentaires spécifiques (crues, chasses,...).

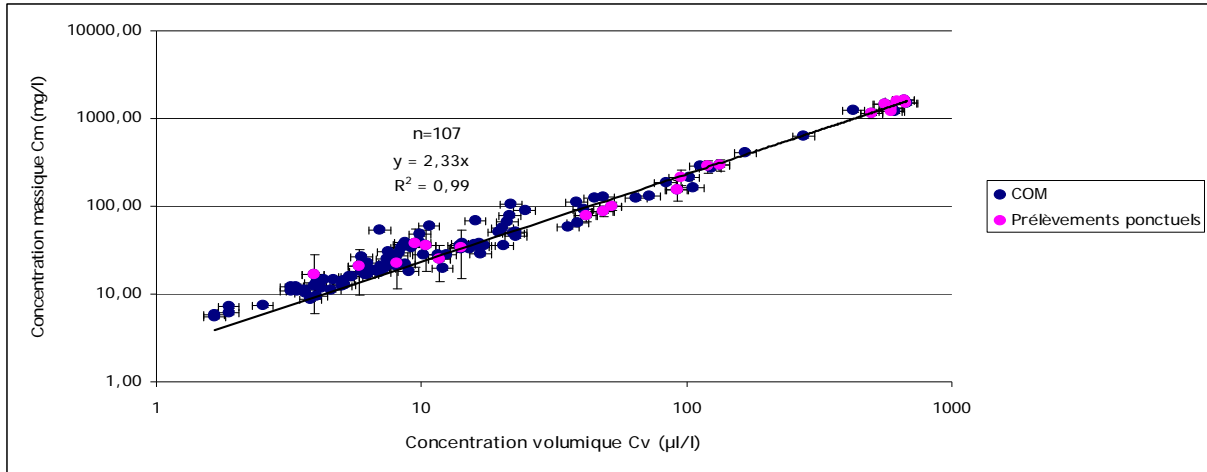


Figure 24 : Concentration volumique mesurée en fonction de la concentration massique équivalente

Enfin, les spectres granulométriques obtenus sur LISST-Streamside ont été comparés aux spectres obtenus avec un granulomètre laser Coulter-LS. Cette inter-comparaison d'instrumentation permet de déterminer la qualité des spectres LISST-Streamside d'une part et de déterminer les biais instrumentaux avant de pouvoir comparer des résultats de mesures acquises sur le Rhône. Il apparaît ainsi une bonne concordance entre les deux instrumentations si l'on excepte les premières classes de mesures du LISST-Streamside (Fig. 4). Cet écart est lié à la présence d'un ensemble de particules fines qui ne sont pas bien prises en compte par le LISST-Streamside : alors que le Coulter permet de les individualiser, le LISST surestime la présence de ces particules sur les trois premières classes de taille restituées (Figure 24). Ce biais métrologique a été mis en évidence mais ne pourra être corrigé. On considère simplement pour la suite que les classes granulométriques restituées par le LISST-Streamside s'étendent sur la gamme 3,11-386,38 µm, les trois premières classes de taille permettant uniquement de rendre compte de la présence ou non d'un ensemble de particules fines.

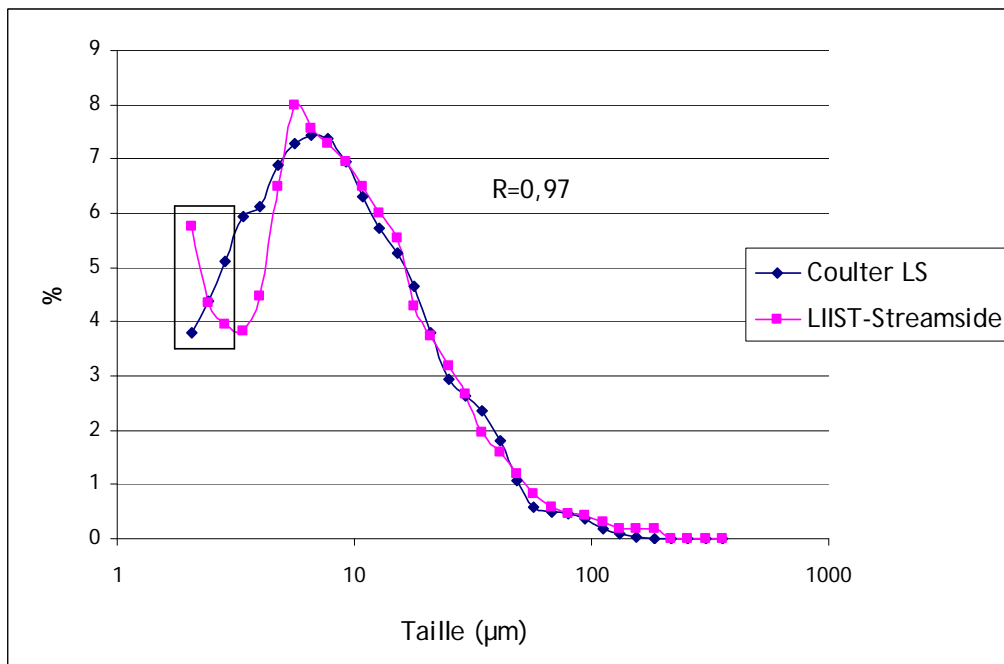
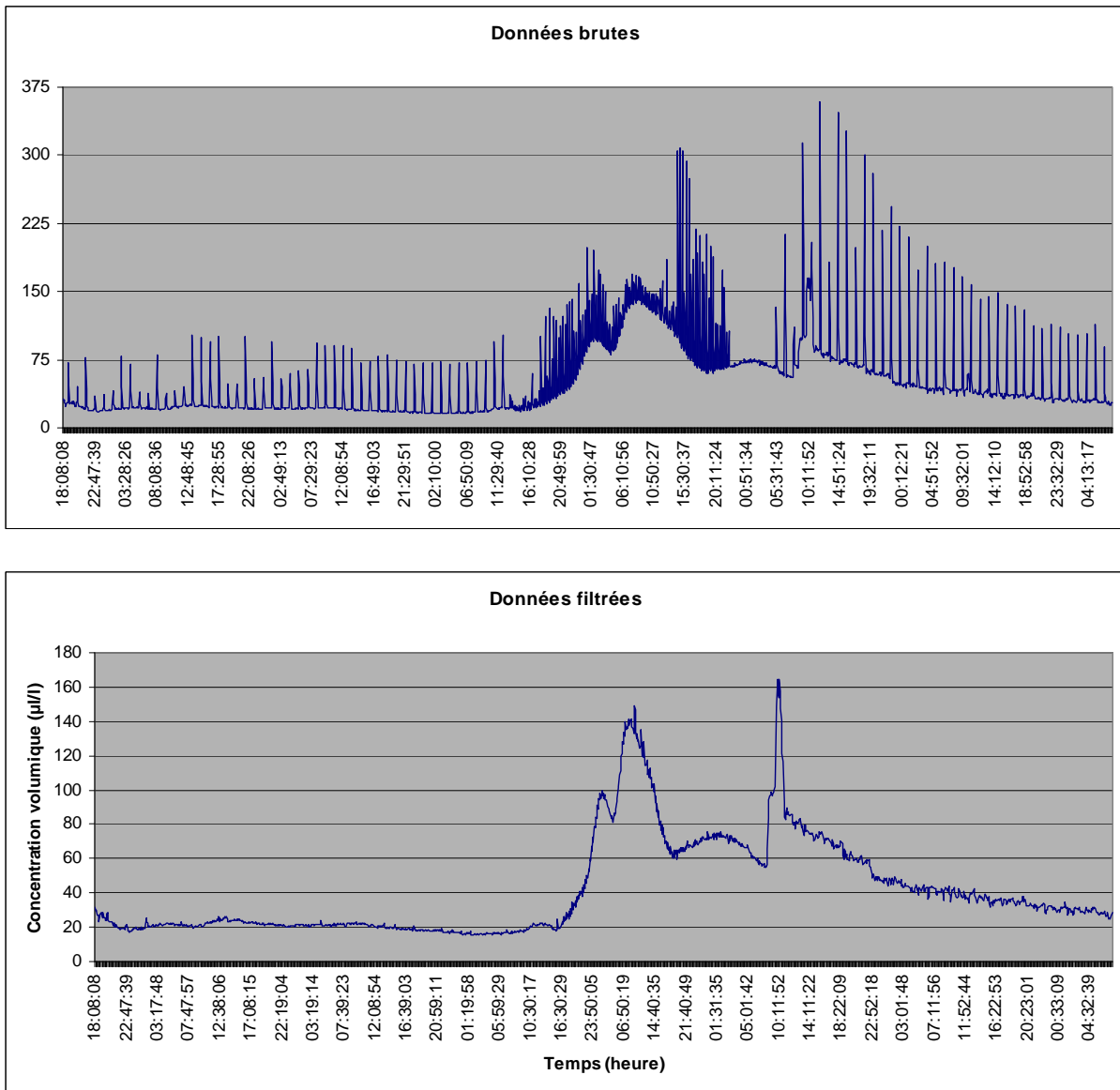


Figure 25 : Comparaison des spectres moyens acquis par Coulter-LS et LISST-Streamside

La mise en production du LISST-Streamside a permis de mettre en évidence un signal très bruité, correspondant à l'activation/désactivation des électrovannes qui permettent l'alimentation des différents postes de prélèvement présents dans la station. Pour pallier cela, un programme a été créé afin de supprimer les données biaisées (Figure 25).



c) Tâche 3 « Bac de Barcarin »

La concomitance de la naissance de l'OSR et la construction par le Syndicat des traversées du Rhône d'un nouveau bac à Barcarin (Figure.26) a permis de développer un projet d'intégration d'appareillage scientifique sur le nouveau Bac. Ce projet a pour but d'effectuer une mesure de la structure de l'écoulement liquide et solide à chaque traversée du bac à partir principalement d'un profileur acoustique Doppler (aDcp) et d'un turbidimètre.



Figure 27 : Localisation du Bac de Barcarin et le nouveau bac "Barcarin 5"

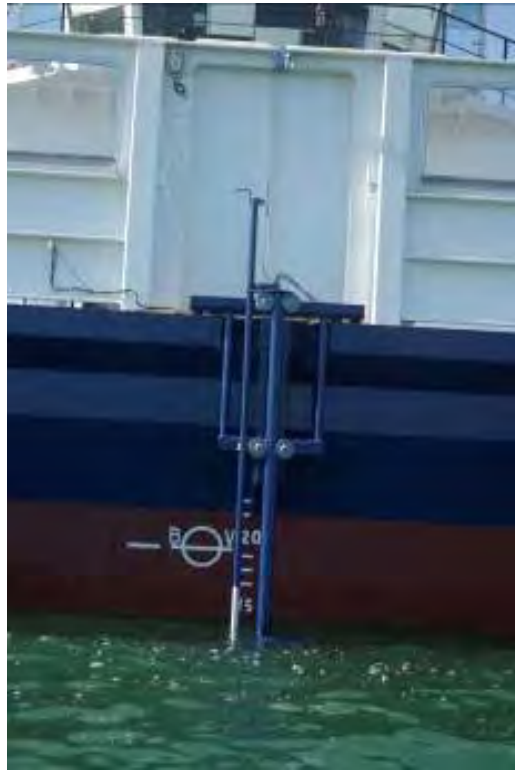
Cet appareillage constitué d'un aDcp de type *T-RDI Workhorse Mariner 600 kHz*, d'un turbidimètre de type *Analite NEP395* muni d'un balai de nettoyage du capteur et d'un capteur de pression de type *Keller Pr-46x* monté sur un bras sur le flanc amont du Bac (Figure. 27). Les instruments sont reliés à une centrale d'acquisition qui permet de programmer les appareils et de centraliser les mesures afin de les envoyer vers un PC à terre. La centrale d'acquisition collecte également les informations de positionnement fournies par le GPS de bord. Les données, une fois compilées en un fichier par traversée, sont transférées à terre par liaison WIFI au cours des 2 heures d'arrêt d'exploitation du Bac la nuit.

D'un point de vue technique, l'aDcp permet d'obtenir le débit et la structure de l'écoulement liquide (orientation et intensité des vitesses sur des cellules hydrauliques) à travers la section explorée, mais il fournit également une information d'intensité acoustique à travers la section, directement liée aux concentrations en MES. Le turbidimètre permet, lui, après calage de déterminer la concentration de MES sur une cellule hydraulique. Par analyse du bruit de l'aDcp au niveau des cellules mesurées par le turbidimètre, il est possible de mettre en place une relation intensité/concentration de MES qui peut être appliquée à la totalité des mesures aDcp sur la section et permet de déterminer le flux de MES et sa structure. Le turbidimètre est fixé sur un bras coulissant pour effectuer des mesures au niveau de l'aDcp, mais surtout 80 cm en dessous de ce dernier (premières cellules de mesure exploitables de l'aDcp).

Un PC muni d'une antenne WIFI est installé à terre dans la maison du Passeur en rive droite (Maison liée à l'exploitation de la traversée du Rhône). Ce PC stocke les données sur des cartes SD qui seront échangées chaque mois par un opérateur. L'installation ADSL présente dans la maison du passeur pourra également servir de passerelle réseau pour se connecter à ce PC et récupérer les données ou prendre le contrôle de la centrale d'acquisition via la liaison WIFI.

La mise en place et l'entrée en phase d'exploitation de cette installation sont soumises aux délais de livraison de Barcarin 5. L'acheminement de Barcarin 5 par le constructeur sur le Rhône s'est effectué au mois de juillet 2010, ce qui a permis de faire une première installation du matériel scientifique sur le Bac et de tester le bon fonctionnement du logiciel de centralisation des données. Au cours d'un essai de navigation en mer, la résistance du matériel scientifique et de son bras de fixation a été testée pour une vitesse de navigation de 12 nœuds (vitesse supérieure aux conditions d'exploitation sur le Rhône). D'un point de vue mécanique, l'appareillage n'a subi aucun dommage et s'est comporté de façon conforme. Il en est de même pour le système de fixation. Par contre les mesures effectuées à cette vitesse montrent l'apparition d'un phénomène de cavitation qui perturbe fortement l'information issue des instruments scientifiques, mais les conditions de test en mer sont différentes de ce qui sera rencontré sur le Rhône et de nouveaux tests seront donc à effectuer sur le Rhône.

A la suite de ces tests, le matériel a dû être démonté. Un retard dans la livraison des quais d'accostage sur le Rhône retarde l'entrée en exploitation du projet. La remise en place de matériel scientifique sur le bac sera effectuée fin octobre 2010 pour une entrée en exploitation du bac et le début des acquisitions en novembre.



a)



b)



c)

Figure 28 : a) Bras de fixation ; b) les instruments sur le bras ; c) PC d'exploitation sur le bac

4. Synthèse et conclusions pratiques

En termes d'instrumentation, de calage et de mise en service de nouveaux points de mesure, les objectifs de l'année 1 de l'OSR ont été atteints et même dépassés : six stations turbidimétriques ont été mises en service, le granulomètre laser in-situ de la station SORA a été acquis, installé, et ses acquisitions étalonnées et validées, le bac Barcarin a été équipé d'un système intégrant des mesures hydroacoustiques (ADCP) et des enregistrements de hauteur d'eau et turbidité. L'enjeu est désormais de poursuivre la production critique de données au niveau de ces différents points de mesure. Le programme d'action 2010-2013 de l'OSR prévoit le maintien en conditions opérationnelles de ces points de mesure consolidés (hormis les stations du site Arc-Isère à financer sur d'autres contrats, mais dont les données restent à la disposition de l'OSR). L'implémentation d'un turbidimètre complémentaire sur le Rhône amont ou un affluent majeur, ainsi que le développement d'une station d'analyse de la phase particulaire sur le Rhône à Lyon sont prévus pour compléter le réseau et tendre vers un dispositif homogène. Ce réseau supporte également des actions de caractérisation des particules (granulométrie) et de quantification des flux moyens et événementiels (crues, chasses, dragages). Ainsi, l'OSR en collaboration technique avec ses partenaires opérationnels (CNR, EDF, services de l'Etat) s'attachera à faire vivre un réseau de mesure des flux solides cohérents à l'échelle du Rhône français et de ses affluents sédimentaires majeurs.

5. Synthèse du séminaire de travail : Métrologie des flux sur le Rhône : Calcul de flux, modèle, traçage

Observatoire des Sédiments du Rhône
1er juillet 2010

Synthèse des présentations et discussions

Le 1er Juillet 2010 s'est tenu à Lyon le premier atelier de travail de l'axe II de l'Observatoire des sédiments du Rhône. Cet atelier avait pour objectif de permettre de progresser sur les questions centrales autour de la mesure des flux de contaminants associés aux matières en suspension (MES) en milieu fluvial (Rhône et affluents principaux). Il a rassemblé les partenaires scientifiques, techniques et financiers de l'OSR ainsi que des chercheurs et des gestionnaires d'autres bassins versants (Liste des participants en annexe 1). Cette journée a été consacrée à la présentation de trois grands thèmes que souhaitaient développer les scientifiques.

- Thème 1 : Mesure des flux de pollution : données et méthodes.
- Thème 2 : Caractérisation des particules : réactivité et fixation des polluants - origine des particules
- Thème 3 : Modélisation

Les présentations ont été pensées pour illustrer les problématiques soulevées par les gestionnaires, pour présenter des démarches scientifiques qui ont permis de répondre à certains de ces questionnements, voire pour définir la pertinence des actions envisagées par les scientifiques de l'OSR .

Le programme de la journée est présenté en annexe 2.

Thème 1

La mesure des flux de pollution : données et méthodes.

Thomas Pelte, Agence de l'Eau RMC

« La surveillance des eaux et la prise en compte de la notion de flux »

Les gestionnaires sont amenés de manière récurrente à s'interroger sur les manières dont ils modifient les flux dans les rivières, et ce à tout point de vue : polluants, ouvrages transversaux, aménagements, changements globaux... La prise en compte de ces flux est indispensable pour cette gestion, mais la manière de les caractériser dépend de la finalité du suivi. T. Pelte décrit la surveillance des polluants telle qu'elle est menée par les Agences de l'Eau et en particulier, la nécessité de faire un état des lieux, de définir les objectifs (peu d'objectifs de flux existent en tant que tel ; la mesure des flux servant plutôt d'indicateur de performance des actions menées) et de s'attacher au suivi des conséquences des actions de rémediation. La mise en place des indicateurs, des diagnostics et des grilles de lecture est une étape nécessaire pour une bonne gestion des milieux aquatiques.

La surveillance doit être liée à des objectifs de gestion afin d'être structurée. Quels sont ils ?

- La Directive ERU (eaux résiduaires urbaines) : elle impose l'équipement d'ouvrages et l'amélioration des performances de traitement, mais elle ne fixe pas d'objectifs de flux ;
- Le plan national sur les substances dangereuses (arrêté 2005) : il prescrit la réduction des flux rejetés à atteindre par substance avec une échéance temporelle ;

- Le plan pesticides : une réduction de 50% est demandée mais sur quels pesticides ? Quelles quantités sont rejetées ? Quels sont les indicateurs de réduction effective ? Ces questions restent entière à l'heure actuelle ;
- La Convention de Barcelone : elle concerne la réduction des apports fluviaux à la mer ;
- D'autres objectifs de gestion nécessitent de prendre en compte les flux tels que le SDAGE (état des lieux, pression), ou la Directive Cadre sur l'Eau qui fixe comme objectif l'atteinte du « bon état » des masses d'eaux.

Les Agences de l'Eau (AE) assurent le suivi physico-chimique des milieux aquatiques, tandis que les DREAL portent le volet biologique et l'ONEMA le volet poissons. L'AE doit évaluer un état global des milieux aquatiques, suivre cet état et évaluer les changements à partir d'indicateurs et de grilles de lecture. Dans ce cadre l'AE dispose d'un **réseau de contrôle de surveillance et d'un réseau de contrôle opérationnel**. Il existe pour ceci environ 500 stations dont la fréquence de mesure est de 6 à 12 analyses par an. Les prélèvements sont ponctuels et ne sont pas asservis au débit (préleveurs tournant sur le bassin) et les données d'hydrologie ne sont pas toujours disponibles. Mais **ce réseau n'a pas vocation à alimenter des calculs de flux**.

Quelles sont les articulations avec les études existantes ?

Pour ce qui arrive en aval du bassin versant (BV), il s'agissait initialement de faire de la surveillance mais l'AE est amenée à aller maintenant vers un objectif de flux. Ainsi, l'AE porte financièrement des études de diagnostic et des études scientifiques afin d'obtenir des informations pour leur objectif de planification. L'AE est ainsi partenaire de différents types de structures fédératrices de recherches (METROC, la station automatisée SORA en Arles, l'OTHU à Lyon, l'étude flux PCB ou encore le suivi du lac Léman et du lac du Bourget).

De quoi dispose l'AE pour la surveillance des apports de contaminants ?

- rejets urbains : auto surveillance axée sur les polluants classiques, mais limitée par le manque d'une connaissance exhaustive de tous les rejets ;
- rejets industriels : auto-surveillance + campagnes RSDE pour les installations classées (Recherche de substances dangereuses dans l'eau) ;
- rejets agricoles : pas d'indicateurs ;
- apports fluviaux : suivi réalisés en Arles (SORA).

Ce qui va être mis en place : une extension du suivi sur les rejets urbains (substances dangereuses dans les rejets des installations classées, RSDE-2) et une adaptation de l'auto-surveillance avec plus de substances mesurées dans les rejets industriels ; des campagnes de suivi des rejets de stations d'épuration (STEP) ; le développement de modèle de rejet de phytosanitaires ; le suivi des principaux bassins hydrographiques (avec affluents) et des principaux fleuves côtiers.

Discussion :

Q : Les industriels ne regardent que ce qui sort de la station, mais si ce qui rentre chez eux est déjà dégradé, on ne fait qu'ajouter les choses et donc la mesure de sortie seule ne veut plus dire la même chose, n'est ce pas ?

R : Au niveau des agences on n'a pas de prise pour qu'ils fassent le suivi de la ressource, on ne peut que chercher à identifier ce qu'ils rejettent, pas ce qu'ils font « entrer ».

C'est le problème d'EDF avec les prises d'eau des centrales ; si on ne regarde que la sortie (pas l'entrée). Il faut donc surveiller le flux amont ?

Ce problème de la comparaison entrée-sortie est aussi valable pour les industriels qui peuvent être dans des zones affectées par des rejets agricoles par exemple. Qu'en est-il lorsqu'ils reçoivent de l'eau déjà altérée ?

Il faut en effet mesurer la ressource, mais on dit à l'AE que ce n'est pas de son ressort.

Ce qui est jugé important aussi c'est de mettre en parallèle les flux issus de différentes activités : agricoles, urbanisme, industriels....

La circulation des matériaux dans un bassin s'établit sur des périodes longues (5 ans par exemple). On ne peut pas avoir cette information sur une échelle annuelle pour tout le BV, or ce que l'on demande ce sont les flux annuels aux AE, qui dépendent de l'hydrologie. Il serait plus

judicieux de demander aux AE des flux à 3 ou 5 ans avec de vraies simulations possibles et une division des coûts. A quelle échelle de temps veut-on avoir nos flux ?

Oui mais il faudra attendre alors 10 ans pour savoir s'il se passe quelque chose. Trop long pour un gestionnaire ?

Non car il y a deux choses, les flux et l'état. Le dissous marche bien à l'échelle annuelle, c'est le particulaire qui est plus difficile à appréhender.

On organise la surveillance en fonction de l'objectif fixé. Cela ne me choque pas que sur des indicateurs de flux à la mer on raisonne sur 5 ans. Ce sont ceux qui fixent les objectifs qui doivent être interpellés sur ces choses là. Si vous voulez de la donnée de surveillance qui aborde la question de flux, il faut un objectif. Si on n'a pas de contexte, on ne peut pas le faire. Les données actuelles de surveillance ne peuvent pas servir au calcul de flux.

Il y a aussi le problème de la dimension spatiale du BV : plus c'est petit, plus c'est variable et plus on aura d'incertitude. Va-t-on dépenser beaucoup d'argent pour des petits BV pour des bonnes données ? A moins que l'on n'ait des objectifs spécifiques pour des bassins types ceux alimentant les lacs par exemple : continu en Suisse pour le Léman par exemple. Un réseau de surveillance RMC flux n'a pas de sens car on explose tout.

Je ne suis pas d'accord pour dire que le RNB ne marche pas sur les flux car on peut tirer des tendances sur 5-10 ans par exemple.

Oui mais seulement si l'on n'a pas de problème analytique entre les labos sur de telles périodes.

La question centrale c'est la continuité de suivi du débit et de la phase porteuse et des MES (matières en suspension) notamment. On peut s'organiser pour les mesures de contaminant sur du discontinu. Mais sur les MES si on rate les gros événements où tout passe, on va avoir des biais de sous-estimation comme l'a montré F. Moatar.

On a notre réseau de surveillance état, si on repère les quelques stations (4-5) sur lesquelles il faut assurer le suivi, complété au besoin avec des analyses chimiques, on peut mettre cela en place, c'est envisageable. Regardez ce qu'il reste à faire à l'OSR. Même chose sur les côtiers : il faudrait repérer les quelques côtiers sur lesquels il faut faire la mesure pour des flux.

Il y a une réflexion à mener sur les apports agricoles, on est vraiment pauvre là-dessus. Peut-on dresser une typologie des BV représentatifs des apports par exemple ?

Nous attendons une estimation de flux, de chiffre. Le Cemagref par exemple travaille surtout sur les processus, peu sur la quantification effective des flux (seulement sur de petits systèmes). On a plein d'études qui font des patchworks et ne contribuent pas à une étude globale.

On se heurte aussi souvent à la question du débit non disponible.

Où est la contradiction entre gonfler les flux de MES pour alimenter le littoral en particules et diminuer les flux de contaminants pour la convention de Barcelone ?

Attention, les contaminants ne sont pas les MES.

Il n'y a pas de contradiction, cela implique par contre que les MES qui sortent doivent être « propres », non porteuses de ces contaminants.

Il est fait référence ici aux reprises de stockage qui sont contaminés. Est-ce que le fait de les remanier peut induire une augmentation de flux de contaminants ?

On reste sur un objectif d'état. S'il y a du naturel sur un secteur, on est sensé le prendre en compte.

Florentina Moatar, Professeur Université de Tours

« Evaluation des flux de MES et contaminants associés à partir des suivis discrets : méthodes de calcul et incertitudes, vers un système expert d'optimisation »

Il existe 20 méthodes environ de calculs de flux à partir des suivis discrets. Les conventions travaillent généralement avec une ou deux méthodes.

Présentation des résultats du projet VARIFLUX (programme EC2CO, INSU, CNRS) initié en 2005 : l'un des objectifs est l'évaluation des flux à partir des suivis discrets. Dans ce cadre, le

projet s'est intéressé à différents régimes hydrologiques et différents polluants. L'étude a été menée à partir de 200 stations avec données journalières des flux de MES sur plusieurs années (au total 1500 années). Les objectifs étaient de comparer les méthodes de calcul après avoir simulé des séries discrètes à partir des données journalières, relier les incertitudes à des indicateurs de variabilité des flux, évaluer l'influence des fréquences de suivi et in fine proposer un système expert pour aider les scientifiques et les gestionnaires à choisir les méthodes optimales (biais et imprécisions faibles) ou affecter des incertitudes aux flux déjà calculés.

Deux types d'indicateurs de variabilité des flux constituent la base du système expert et expliquent l'importance des incertitudes suivant le type de polluant et les régimes hydrologique ou hydrochimique :

1) **l'exposant b_{50sup} de la relation logarithmique concentration - débit établie** sur les forts débits (supérieurs au débit journalier médian). En effet, **une typologie** des relations concentrations – débits a été établie avec 9 types principaux suivant les deux exposants b_{50inf} et b_{50sup} (relations pour des débits inférieurs ou supérieurs au débit médian) : Stable/stable (pas de relation) ; stable/concentré (cas des certains MES) ou concentré/concentré (cas des MES) ; stable/dilué ou dilué/dilué (cas des ions majeurs); dilué/stable ; dilué/concentré (ex : phosphore total); concentré/stable (cas des rivières méditerranéennes) ; et concentré/dilué.

2) **les indicateurs de durée des flux d'eau (W2%) et de matière (M2%) en 2% du temps.** Ils caractérisent les volumes écoulés (d'eau ou de matière) en 2 % du temps (une semaine dans l'année) correspondant au débits les plus forts. Par exemple, le flux annuel de MES en 2003 a transité en 3 semaines dans la Garonne. En 2% du temps dans la Seine, le fleuve transporte 17 à 42% du flux annuel suivant les années. En moyenne interannuelle, il transporte 25% du flux annuel en 2% du temps.

Ces grandeurs permettent ainsi de déterminer les gammes d'incertitudes suivant les méthodes de calcul et les polluants. (*pour plus de détail sur ces indicateurs se reporter aux publications de F. Moatar*).

La plupart des méthodes sous estiment les flux de MES sur un échantillonnage mensuel, avec une grande imprécision. Pour le dissous, les flux sont à peu près corrects la plupart du temps. Pour les nutriments et les métaux, cela dépend de la relation concentration-débits, en général on surestime les flux pour les types « dilué/dilué » ou on sous-estime pour les types « stable/concentré » ou « dilué/concentré », cas des éléments particuliers ou totaux.

Il y a aussi un effet taille du BV: les petits (<2 000 km²) ont des biais importants, pour les plus grands, le biais est plus faible. Plus M2% est grand, plus forte est l'imprécision. Plus la fréquence d'échantillonnage est faible, plus le biais est fort.

On connaît maintenant les incertitudes d'une méthode suivant le type d'élément et on travaille sur des abaques reliant les biais et les imprécisions à M2% en fonction de l'intervalle «d». (travaux de S Raymond, en préparation).

F. Moatar présente ensuite des exemples de variabilité entre Seine et Rhône (1992 à 1994) avec le cas de polluants particuliers. Pour le Cr par exemple, le dissous varie d'un facteur de 1 à 10 mais de 1 à 2 hors crue. Le Cr particulaire par litre d'eau varie de 1 à 1000 par litre d'eau. La proportion dissous/particulaire est très variable en fonction des MES. Dans le Rhône à Arles, c'est le particulaire qui domine et dès qu'il y a plus de 20 mg par litre de MES, il y a moins de 20 % de dissous. Cette variabilité du Cr particulaire est regardée en fonction des MES et de la décroissance des teneurs avec les MES. Entre les points de mesure on peut estimer les teneurs en Cr particulaire. Ensuite ils ont normalisé doublement avec teneurs et MES. Le zinc est un métal encore plus variable avec les MES. Le pourcentage d'erreur sur le flux est calculé à partir de la méthode M18: les métaux dissous varient peu en concentration (erreur de 20%), tandis que les particuliers varient de -80 à +80% sur la base d'un flux mensuel.

La présentation se termine par un questionnement sur la stabilité dans le temps des relations polluants-MES ; et sur l'utilité d'un suivi par trappe à sédiment qui est peut être le système le mieux adapté, avec un captage proportionnel au débit.

Discussion :

Q : Vous faites l'hypothèse d'un pas de temps fixe pour les mesures. Qu'est-ce qu'on rate avec un pas de temps variable : pas de mesure quand il ne se passe rien et fréquence renforcée en

crue. C'est tout à fait réalisable avec les technologies modernes (limnimétrie, turbidimétrie, échantillonneur asservi, équipes déclenchées sur événements) ?

R Bien sûr on réduit les incertitudes sur les flux avec des échantillonnages stratifiés .C'est plus facile à mettre en œuvre sur des grands bassins où les crues sont prévisibles et plus longues que sur des petits bassins .Le suivi asservi au débit est pratiqué en Suisse depuis 30 ans sur des bassins de 100 à 1000 km² mais cela a un coût et ne correspond pas à la stratégie en France :il s'agirait donc d'un réseau spécifique.

Les données de surveillance actuelle sur les métaux ne sont pas sur le total, donc on n'a pas la normalisation à l'aluminium comme celle que vous utilisez ici.

En effet, pour normaliser il faut Al. C'est à dire faire une attaque totale sur chaque échantillon particulaire sec

On peut proposer de faire un piège intégrant tous les échantillons et à la fin de l'année on fait un mix des échantillons et on fait une analyse par an pour chacun des contaminants.

Le laboratoire EPOC de Bordeaux avait fait une étude là-dessus. Ce qui coûte cher c'est plutôt l'infrastructure qui permet d'avoir les MES.

Il faut une amélioration pour que le dépôt soit représentatif des flux et non une simple moyenne temporelle des concentrations : le piégeage doit être asservi au débit. C'est difficile mais techniquement faisable si cela est couplé à un système de prélèvement automatique (fait couramment pour les phytosanitaires par exemple).

Oui, il faudrait travailler là-dessus.

Thème 2

Caractérisation des particules : réactivité et fixation des polluants - origine des particules

Cécile Grosbois, Maître Conférence Université de Tours

« Importance des concentrations in-situ et de la spéciation solide dans l'étude de la mobilité des ETM »

La présentation de Cécile Grosbois a montré l'intérêt de la mesure des concentrations in-situ et de la spéciation des éléments traces métalliques (ETM) en phase solide (spéciation = forme chimique présente). Cette notion renvoie à celle aussi importante de biodisponibilité : la teneur totale n'est pas forcément la quantité de polluants qui peut être incorporée par les organismes. Un ETM peut être par exemple adsorbé sur une paroi solide et être plus ou moins remobilisable, ou il peut être inclus dans le réseau cristallin et donc n'être mobilisable que si le porteur se dissout ou change de milieu. Le transfert solide-dissout reste une information capitale pour appréhender la remobilisation et il peut être étudié à l'aide d'appareils comme des peepers ou des rhizons ou par des essais de laboratoires qui simulent une altération. Ce transfert est aussi affecté par la présence de bactéries qui peuvent dans certains cas induire un relargage plus rapide. Toutefois, avant même d'aborder les problèmes de relargage, Mme Grosbois revient avec des exemples sur l'intérêt de connaître un paramètre majeur jouant sur la concentration : la taille des particules.

Une approche classique de la spéciation revient à utiliser le protocole du Bureau of Common Research (BCR) qui permet par diverses attaques acides successives de calculer les teneurs en ETM associées à différentes fractions solides. Si ce protocole très utilisé (et souvent ré-adapté par les labos) est intéressant, il souffre de quelques problèmes et limites qui ont été mises en évidence en travaillant au microscope. Ainsi, une lame mince après la quatrième phase d'extraction montre qu'un minéral chromifère est déjà attaqué alors qu'il n'aurait dû l'être que lors de l'étape suivante. Par ailleurs, on peut aussi former de nouvelles phases solides avec ces successions d'extraction (oxalate de Mg avec Ni).

Ces observations microscopiques constituent de nouveaux outils d'analyse très performants grâce à de nouveaux détecteurs (Rx, raman, MEB et microsonde, PIXE, XANES et EXAFS) qui permettent plusieurs types de mesures : observations visuelles, analyses chimiques, mise en évidence du type d'atomes entourant les ETM... Le laboratoire de Tours a ainsi développé une nouvelle technologie basée sur l'abrasion de lame mince de filtres pour pouvoir les passer directement au microscope électronique à balayage et obtenir des informations sur la chimie et la minéralogie. C'est long en observation, mais on peut obtenir des informations uniques comme sur les phases porteuses de l'arsenic par exemple. L'exemple présenté montre que les arsénopyrites qui sont concentrés en arsenic reconnu comme non biodisponible peuvent être cependant altérés sur leur bordure et relarguer ainsi de l'arsenic. Dans les berges, cette altération est plus longue et donc plus poussée, le minéral porteur pouvant se transformer.

Enfin, un dernier exemple montre l'application de la microscopie XANES qui apporte des informations sur l'ordre local des composés et leur voisinage. Elle peut être utilisée sur des structures irrégulières (non cristallines) telles que les agrégats organo-argileux, très difficiles à caractériser à cause de leur grande hétérogénéité au sein de l'agrégat : moins concentré, plus instable. Le XANES offre donc l'accès à l'environnement de l'élément et permet par exemple de dissocier les états redox de l'espèce arsenic + III ou +V, sachant que ces états régulent la toxicité des ETM.

Discussion :

Q : Que pensez-vous du problème des agrégats organo-minéraux qui sont très importants dans les sols et très peu connus en rivière ?

R : Nous avons essayé de travailler là-dessus (thèse soutenu en septembre) car les connaissances sont très faibles, mais ils restent très difficiles à caractériser (signal très faible au synchrotron).

Une autre intervention indique que de toute façon l'agrégation des particules doit se passer très vite en présence de particules très chargées qui vont s'agréger dès qu'elles sont assez nombreuses. Mais si ceci a été observé en contexte urbain, les particules issues des sols agricoles ou non sont différentes.

On nous demande d'évaluer la contamination par le dissous : comment adapter cette approche de biodisponibilité sur le dissous ?

Le lien à faire est surtout sur le sédiment et les MES et on peut utiliser des techniques nouvelles comme les films DGT (échantillonneurs passifs) qui permettent d'estimer la proportion disponible sous forme dissoute. En fluvial, il y a cependant la partie sédimentaire et celle en suspension : comment adapter ces méthodes pour travailler sur les MES, ça c'est une question encore.

A quelle échelle considère-t-on ces aspects en espace et temps ? Comment introduit-on la biodisponibilité par exemple ? Ca pose la question de l'information que l'on recherche avec ces approches ? En raisonnant sur l'état des milieux c'est un peu différent. Par ex le Cd du Lot qui était fixé avant ne représente rien en flux mais on ne peut nier son impact qui réapparaît à l'échelle du système. Quand est-ce qu'on est sensé les intégrer et jusqu'où ?

On peut coupler les systèmes, faire des études hautes eaux - basses eaux.

Mais cela repose la question de la quantité des indicateurs qu'on manipule.

Ca dépend de l'objectif qu'on met derrière la mesure. On peut mettre en évidence par exemple des facteurs qui évite d'exacerber cette mobilité. Les questions de gestionnaire peuvent être découpées en sous-questions avec quelques indicateurs.

Est ce que les méthodes de caractérisation sont complétées sur les aspects organiques ? Est ce que les méthodes sur ces particules ont été testées sur des effluents? Quel est le lien avec l'écotoxicité ? L'essentiel de la toxicité est aussi concentré sur les particules et il y a un intérêt à l'utilisation des tests écotox qui intègrent les polluants, bien qu'ils ne donnent pas de réponse sur le type de polluants qui agit.

Ce devrait être plus facile de travailler sur des particules d'effluents car elles sont plus concentrées. Un suivi des eaux de ruissellement dans la ville d'Orléans est en cours en rapport avec cette question. Pour l'aspect écotoxicité, ces études ne sont valorisables que si l'on travaille avec des biologistes.

Philippe Bonté, CNRS-LSCE Paris

« Origine et devenir des MES dans un bassin versant : utilisation des métaux et de la radioactivité portés par les particules comme marqueurs spatiaux et temporels »

L'exposé de Philippe Bonté s'est centré sur l'utilisation d'éléments radioactifs naturels ou artificiels apportant des connaissances au transfert particulaire. Les radioéléments présentés proviennent soit de l'érosion des sols soit d'apports atmosphériques (retombés sur les sols ou apportés directement au fleuve). Leur intérêt réside dans leur propriété d'adsorption plus ou moins rapide sur les MES et dans le fait qu'ils ont des demi-vies différentes (T : temps de décroissance de 50% de l'activité), ce qui en fait des marqueurs complémentaires.

Dans les sols de bassins versants par exemple, la mesure des inventaires de césium-137 (T = 30 ans) et plomb-210 (T = 22 ans) permet de calculer les taux d'érosion à l'échelle d'une parcelle. Il est important de travailler à cette échelle (ou sur des transects le long des pentes) car les résultats présentés en exemple sur le bassin parisien montrent que le matériel érodé en hauteur peut s'accumuler plus bas et ne pas forcément quitter le champ. Plusieurs problèmes compliquent toutefois les calculs d'exportation sol-fleuve, l'un d'entre eux étant la différence d'activité sur les particules. Des

mesures d'activité de ¹³⁷Cs faites sur les particules atmosphériques, le sol de surface et les particules récupérées dans des drains avant d'atteindre le fleuve montrent que ce sont les particules les plus fines (avec les activités les plus fortes et donc les plus marquées en polluants) qui sortent des drains. Un autre exemple d'utilisation concerne la mesure de Beryllium-7 (apporté par dépôt atmosphérique et très vite adsorbé sur les MES ; T = 53 jours) et le thorium-234 (formé dans l'eau et très vite adsorbé lui aussi ; T = 24 jours). La mesure de ces deux éléments dans la Seine a permis de montrer au sein du bassin versant l'existence de deux sources (« boîtes ») de particules : une boîte « lente » qui correspond à l'intérieur du BV et une boîte « rapide » qui est l'apport par les abords de rivière. Grâce à cela on calcule des temps de transit variant de 200-300 jours dans la boîte rapide à 5000-30000 ans dans la boîte lente. Enfin les derniers exemples d'utilisation concernent la quantification des taux d'accumulation des sédiments et la reconstitution historique des dépôts de polluants dans des zones d'inondations.

Thème 3 *Modélisation*

Alain Poirel (EDF-DTG Grenoble)

« Prévisibilité des flux de matériaux en suspension sur quelques affluents de la Durance : principe, calage et mise en œuvre des modèles opérationnels »

Les enjeux de la prévision des flux de MES sont illustrés par les contraintes d'apports à l'étang de Berre. Les rejets maximum réglementaires représentent 3% du flux solide moyen et 30% du flux liquide moyen du bassin-versant. En 2007-2008, EDF n'avait turbiné que 60% du quota liquide quand le quota solide avait déjà été atteint. Il y a donc impossibilité à ce moment-là de continuer à turbiner et perte pour l'exploitant. Un autre enjeu fort est l'envasement des retenues. La gestion des chasses d'hydrocurage doit être optimisée pour cela, ce qui peut se faire grâce à une prévision des flux solides.

Le jeu de données disponible du barrage de Serre-Ponçon à Mallemort est présenté. EDF a mis en place un réseau de mesure turbidimétriques sur la « zone de production » située en amont de Cadarache, où des chroniques continues et fiables ont été mesurées sur les périodes 2001-2003 et 2008-2010.

Les principes de la modélisation utilisée sont détaillés. Tout d'abord, la température de l'air permet de distinguer la neige et la pluie dans les précipitations, ainsi que les apports par fonte des neiges. Le modèle hydrologique MORDOR, à réservoirs conceptuels, est appliqué par sous-bassin versant. A partir des mesures, les paramètres des fonctions de production et de transfert sont optimisés. Pour la modélisation des flux de MES, une phase directe produite par pluie, ruissellement et fonte, est distinguée d'une phase indirecte, simulée par un stock conceptuel pluri-annuel pouvant être repris lors des crues. La principale difficulté est le calage du débit solide, en particulier lors des crues solides qui peuvent présenter des comportements très variés selon l'état réel des stocks sédimentaires remobilisables. Ainsi, un effort météorologique particulier est dédié au suivi hydrosédimentaire des épisodes de crues.

L'utilisation d'un modèle pour la prévision des flux MES requiert de :

- déterminer les précipitations et les températures de l'air dans le futur, soit sur la base de projections (scénarios climatiques), soit sur la base de situations analogues (enregistrements du passé) ;
- prévoir les débits futurs ;
- prévoir les flux MES futurs des affluents ;
- prévoir le transfert amont-aval dans le réseau hydrographique ;
- émettre la prévision dans les délais nécessaires.

Un exemple est donné sur l'épisode de Draguignan survenu 3 jours auparavant.

En conclusion, on peut envisager deux principaux types d'usage d'un tel modèle:

- simulation en avenir connu : la principale difficulté réside dans l'initialisation des stocks sédimentaires ; des améliorations sont attendues grâce à la spatialisation (précipitations, topographie, sols).
- prévision en avenir inconnu : l'enjeu opérationnel est de pouvoir gérer les aménagements en fonction du couple (débit, concentration MES) à court terme; des améliorations sont attendues grâce à la prévision des pluies, des risques orageux localisés, de la limite pluie/neige, ainsi que la scénarisation des précipitations futures.

Deux grands problèmes structurels affectent néanmoins les modèles actuels: d'une part, on considère que le bassin réagit de manière stationnaire (ce qui peut ne pas être valide à long terme) ; d'autre part, de nombreux processus extrêmes et rapides ne sont pas pris en compte, ce qui fait souvent manquer les épisodes les plus intenses. Enfin, la qualité des prévisions est naturellement limitée par les fortes incertitudes sur les variables d'entrée (débit, précipitations, MES), avec une incertitude sur les flux.

Discussion :

Q : Les stocks conceptuels de matériaux mobilisables ont-ils une signification physique, ou sont-ils seulement un paramètre de calage ?

R : Ces stocks existent réellement et sont constitués au sein du réseau hydrographique au gré des événements hydrologiques survenant sur les zones de production sédimentaire. En pratique, ils sont calés sur les observations de flux et permettent de reproduire correctement les hysteresis entre flux liquide et solide.

Les épisodes intenses et brefs tels que les laves torrentielles peuvent-ils réellement contribuer de manière très importante aux flux MES, la durée et le débit étant souvent très limités ?

Les flux engendrés ne sont pas forcément très importants, mais dans certaines conditions, le flux direct ou indirect (reprises ultérieures) peut être très significatif.

Jean-Baptiste Faure (Cemagref Lyon)

« Simulation sur très longue période du transport de MES et contaminants en rivière : application aux PCB du Rhône »

Cette présentation porte sur le développement d'un code d'advection-dispersion et dépôt-érosion de sédiments fins et contaminants associés (code ADIS-TS), pour suivre en même temps plusieurs polluants et classes granulométriques pouvant interagir ou se comporter différemment.

Les objectifs d'un tel code de simulation sont les suivants :

- Un code de transport-dispersion pouvant utiliser les résultats de n'importe quel code d'hydraulique 1D. Le calcul de transport-dispersion est découplé du calcul hydraulique, qui n'est donc pas à recommencer pour chaque simulation sédimentaire.
- Solutions numériques (parallélisation, optimisation du schéma numérique) pour pouvoir simuler des scénarios sur de longues périodes (typiquement temps de calcul autour de 24h pour 100 ans de simulation sur l'ensemble du Rhône).
- Gérer la masse de résultats : conserver l'information strictement nécessaire, permettant d'accéder à n'importe quelle valeur par interpolation, sans recommencer la simulation.
- Disposer d'un outil souple permettant de tester différents modèles d'évolution et d'interaction entre polluants.
- Échanges de PCB entre MES et phase dissoute.
- Implémentation sur le Rhône du Léman à Lyon puis jusqu'à la mer.

Dans le cadre de la contamination du Rhône par les PCB, la première question que l'on cherche à résoudre par la simulation est la suivante : sous l'hypothèse d'absence d'intervention de remédiation, l'hydrosystème peut-il s'épurer seul, et si oui en combien de temps? Pour cela, il faut simuler le

transport des sédiments fins (vecteurs des contaminants hydrophobes) sur une durée de l'ordre du siècle et prendre en compte le dépôt et la remise en suspension. Le modèle permet de considérer différents scénarios hydrologiques et d'analyser la sensibilité de différents paramètres.

Les modifications de géométrie liées aux érosions et dépôts ne sont pas directement calculées. Elles peuvent néanmoins être introduites dans le modèle. Le modèle vise principalement à simuler la mobilité des PCB fixés sur les MES, principal vecteur aux échelles de temps et d'espace considérées sur le Rhône. Les échanges de PCB entre phase particulaire et dissoute sont étudiés dans un autre projet. Les pertes par bioaccumulation ne sont pas considérées à ce stade.

Le projet de développement a débuté depuis 18 mois. Outre la rapidité des calculs, un effort particulier est porté sur la conservation de la masse sur plusieurs années. Le modèle va être d'abord évalué sur des données issues du suivi des chasses de barrage, sur l'Arc-Isère (données disponibles annuellement depuis 2005, suivi Cemagref/EDF/LTHE) et sur le Rhône (chasse 2011 ou 2012).

Discussion :

Q : Comment modélisez-vous la resuspension ?

R : Comme le plus classiquement en simulation 1D, la resuspension est calculée à partir de la contrainte de cisaillement au fond, comparée à une valeur critique, et d'une concentration d'équilibre. Les formules et paramètres utilisés ne sont pas spécifiquement calibrés par des expérimentations, mais issus de la littérature disponible.

Comment allez vous intégrer l'arrivée de nouveaux PCB dans le temps ?

La simulation se fera en priorité à partir de l'état initial connu actuellement, avec des stocks de PCB dans les sédiments. S'il s'avère probable que des sources de PCB soient encore actives, elles pourront être intégrées dans le modèle.

Comment allez vous prendre en compte les apports des affluents ?

Le modèle intègre le Rhône et ses principaux affluents, et il est possible d'ajouter des apports en tout point du modèle. Les apports nécessaires aux simulations sont établis à partir de données mesurées (Q, MES) ou de scénarios (par exemple, les apports PCB supposés ou à venir). L'outil servira surtout à évaluer l'évolution globale du système selon différents scénarios sur l'hydrologie, les stocks pollués présents dans le fleuve et ses marges, et les apports futurs. Les apports de PCB au Rhône ne proviennent pas d'une source unique mais sans doute de sources multiples et diffuses.

Magali Jodeau (EDF-R&D Chatou)

« Modélisation des flux sédimentaires dans les retenues : application du code Courlis sur un cas réel »

Pour modéliser les flux sédimentaires en retenue, il faut prendre en compte les écoulements dans la retenue, le transport des sédiments, l'érosion du fond et des berges, et les dépôts.

Le modèle décrit comprend ainsi deux modules couplés (hydraulique et processus sédimentaires). L'hydraulique et le transport solide sont représentés en 1D, en régime fluvial ou torrentiel, permanent ou transitoire. La description de la déformation des sections liée au dépôt et à l'érosion est représentée en 2D, avec modélisation de strates sédimentaires d'épaisseur variable, et prise en compte des instabilités de berges. L'érodabilité des fonds, à travers la contrainte critique d'érosion, est fonction des caractéristiques des couches de sédiment attaquées.

L'exemple présenté porte sur le calcul de la décantation dans des aménagements de la Durance, qui sont affectées par des dépôts de sédiment importants dans les retenues. La concentration de MES et donc le flux en sortie sont calculés en fonction des apports liquide et solide et de la géométrie de la retenue. Le modèle permet aussi une analyse de sensibilité aux paramètres sédimentaires. On obtient ainsi un taux de transfert moyen très variable entre les retenues de 10 à 70 %.

Discussion :

Q : Prenez-vous en compte la granulométrie dans vos modèles, et l'aggrégation?

R : Non, pas directement car il s'agit de matériaux cohésifs, dont les propriétés mécaniques (érosion) dépendent principalement d'autres paramètres, comme la teneur en eau, la consolidation, etc. En revanche, la vitesse de chute est liée à la granulométrie.

Aviez-vous des données amont-aval pour caler le modèle ?

Généralement non, le modèle servant surtout à préciser les taux de décantation définis empiriquement, et fournir une analyse par tests de sensibilité.

Est-ce que des carottages sont effectués dans ces retenues ?

Non, pas toujours.

Est ce qu'il y a des cas de retenue où les effets 2D sont trop importants pour permettre une modélisation 1D (exemple d'un chenal au centre du dépôt qui s'érode régulièrement) ?

Avec le modèle décrit, la description de la section est 2D, ce qui permet de représenter convenablement la plupart des cas de retenue.

Est-ce que vous allez passer au 3D sédimentaire, puisque l'hydraulique 3D est disponible ?

C'est en effet réalisable, mais il faut plus de données et plus de temps. Si on manque de données, ou si le cas est compliqué, ou encore si le modèle résultant est sur-paramétré, les résultats seront moins robustes qu'avec un modèle 1D. Et le choix est également lié au résultat que l'on souhaite obtenir : un tel modèle 3D est certainement superflu si l'on souhaite simplement évaluer une concentration en sortie d'ouvrage.

Conclusions et perspectives : modélisation des flux de MES et contaminants associés

Ce séminaire de travail fait suite à un atelier qui s'est tenu en décembre 2010 (compte rendu en annexe). Le but de ces deux réunions était de réaliser une première ébauche des travaux qui devraient être mis en place sur la thématique des flux de matières en suspension (MES) et de leurs contaminants associés. Le texte ci-dessous regroupe quelques perspectives qui ressortent de ces ateliers et qui seront abordées dans les années à venir.

- Sur un aspect pratique, les contaminants associés à la matière en suspension dans les fleuves (métaux traces, radioéléments, contaminants organiques) peuvent être regroupés sous 2 entités : les contaminants « réglementaires » et les « scientifiques ».
- Les éléments ou molécules « réglementaires » doivent être suivis dans le cadre de la DCE (quelques métaux et plusieurs contaminants organiques). Ils n'ont pas été mesurés jusqu'ici dans le but d'obtenir des flux mais seulement pour l'obtention de données de concentrations à comparer avec les normes de qualité environnementale ou pour obtenir des informations sur les tendances (spatiale, temporelle) en terme de concentrations dans les eaux de surface. Ces paramètres doivent être suivis par l'OSR, mais il est nécessaire de mettre en place une stratégie pour que les mesures servent également au calcul de flux. A ce titre, l'OSR doit chercher à mener des analyses avec la meilleure sensibilité possible de manière à compléter les suivis réglementaires, mais aussi à alimenter les démarches scientifiques relatives à la compréhension des transferts de contaminants et l'estimation des flux. Le choix des contaminants sera finalisé en début de projet ; aux 4 métaux prioritaires (Cd, Ni, Pb, Hg) et aux contaminants organiques « hydrophobes » prioritaires de la DCE (selon la Directive NQE 2008), pourront être ajoutés certains contaminants dits « émergents » ou « substances candidates » de la future liste des substances réglementées par la DCE (i.e., liste des 41

substances réglementées en cours de révision par la Commission européenne).

- Les éléments ou molécules « scientifiques » sont celles qui peuvent constituer des traceurs généraux des transferts de MES ou de sources de pollution. Certains éléments traces proviennent de sources spécifiques (ex : bore et stations d'épuration, arsenic et pesticides ou déchets miniers, perfluorés, bisphénol-A, alkylphénols de source urbaine et industrielle...) et leur mesure permettrait de mieux comprendre l'influence de ces apports. D'autres contaminants peuvent servir de traceurs de l'origine de la matière particulaire ou du temps de transfert (ex : radioéléments, isotopes stables, pesticides utilisés sur un temps très court comme le chlorpyryphos ou endosulfan). Leur analyse permettrait d'avancer dans la compréhension globale du transfert des contaminants à l'échelle du bassin versant ainsi que dans la modélisation de ce transfert, qui impliquera la mise en place d'équations traduisant leur relation avec la phase solide. Enfin, l'observatoire peut aussi envisager d'avoir un rôle d'alerte scientifique en menant des travaux sur des contaminants émergents (non réglementés donc peu documentés en terme de mesure, ou dont le rôle vis à vis de l'écosystème est très peu connu). L'OSR n'a pas vocation à étudier les effets des contaminants sur le compartiment biotique, mais peut être à l'amont : si un polluant a un impact potentiel (ou suspecté) sur les organismes il est important de connaître son cycle avec les particules. Une liste des contaminants étudiés et suivis et de ceux qui pourraient l'être selon les objectifs scientifiques visés sera rédigée au cours de l'année 2011.
- La notion des flux de contaminants est une évolution des critères de surveillance du milieu. Non prise en compte jusqu'à présent par les gestionnaires, la demande actuelle va demander une réflexion spécifique à ce sujet. Le besoin des gestionnaires n'est pas direct (il ne porte pas sur la connaissance des flux en tant que tel), mais il résulte de la nécessité de déterminer l'origine des principaux apports de contaminants vers les masses d'eaux, afin de permettre l'atteinte du bon état chimique notamment. L'OSR travaillera sur ce sujet pour proposer les meilleures méthodologies d'estimation de ces flux prenant en compte l'ensemble des contraintes (analyses nécessaires, systèmes de prélèvement, fréquence de prélèvement). Cette réflexion aura lieu à l'échelle du bassin du Rhône.
- Les enjeux de la modélisation hydro-sédimentaire sont importants à trois niveaux : compréhension des processus, évaluation de scénarios évolutifs, prévision des flux en avenir inconnu. Les outils présentés de modélisation hydrologique distribuée et de modélisation hydraulique 1D en réseau maillé permettent de répondre à des questions scientifiques et opérationnelles tout en offrant un degré de complexité le plus raisonnable possible.
- Il faut appliquer des stratégies de modélisation adaptées aux objectifs et aux données disponibles, en distinguant les « zones de production » (bassins versants, retenues, etc.) et les « zones de transfert » (réseau hydrographique). Dans la production elle-même il faudra être capable de distinguer une phase directe (érosion des versants) et une phase indirecte (reprise de stocks sédimentaires dans le réseau hydrographique). Les simulations à grandes échelles de temps et d'espace (Rhône sur un siècle par exemple) requièrent des techniques numériques spécifiques pour le calcul et la gestion des résultats.
- Le calage et l'évaluation des modèles nécessite des observations sur les stocks et les flux, renforcées lors des événements sédimentaires (crues, chasses de barrage, etc.). Les données sédimentaires en continu ou sur campagne sont encore trop rares et les incertitudes trop importantes ou, ce qui est encore pire, non quantifiées.
- Le paramétrage (flux solides et liquides en conditions limites, caractéristiques du bassin versant ou des dépôts, etc.) repose souvent sur des hypothèses de stationnarité difficiles à dépasser sans l'aide de scénarios évolutifs (occupation des sols, aménagements, changements climatiques).
- Le comportement des contaminants transportés par les particules solides doit également être représenté : taux de contamination des particules, échanges avec la fraction dissoute

C. AXE III : Retenues et barrages

Les sédiments fluviaux archivent les aléas hydrologiques et les impacts des activités humaines, qu'il s'agisse d'aménagements au fil de l'eau (barrages et retenues) ou de contaminations (radionucléides, métaux lourds, molécules organiques complexes). Les séquences sédimentaires les mieux préservées sont présentes dans les annexes fluviales connectées en permanence avec le lit principal du fleuve. Ces séquences sédimentaires ont l'avantage de fournir un enregistrement souvent continu de l'histoire hydro-sédimentaire naturelle ou anthropique. Le Rhône a subi de profondes modifications depuis la mise en place du barrage de Genissiat (1948) : 9 barrages ont été construits entre la confluence de l'Arve et celle de l'Isère, 250 km en aval (Figure 28)

6. Analyse des stocks des retenues

1. Contexte

Ces aménagements et l'extraction des granulats ont contribué de manière très réduite à la baisse du transit sédimentaire (Doutriaux, 2006). Néanmoins, les dépôts stockés en amont des barrages font régulièrement l'objet de chasses de manière à contribuer au flux solide rhodanien (l'objet principal de ces pratiques étant la purge des ouvrages). La Compagnie Nationale du Rhône est très attentive à l'évolution et à la nature de ces volumes sédimentaires. Elle effectue une prospection bathymétrique systématique et triennale des 18 chutes en allant du barrage jusqu'à la restitution amont. En cas de dragage, la CNR conduit également des études permettant de préciser la nature des contaminants. Ces environnements sédimentaires sont très peu étudiés par les scientifiques : les stockages et les déstockages périodiques sont pourtant des contributeurs essentiels à la dynamique sédimentaire du fleuve Rhône. Les dépôts sont susceptibles de fournir un cadre complémentaire de l'histoire des contaminants hydrophobes.

2. Objectifs

L'action Barrages et Retenues a pour objectifs (ce rapport d'activité sera donc décliné selon ces 4 objectifs) :

- de préciser la géométrie du chenal et les volumes sédimentaires piégés en amont des barrages (compléter les travaux d'analyse des données bathymétriques menés par la CNR),
- d'identifier des séquences sédimentaires historiques capables de compléter le continuum sédimentaire mis en place par les chercheurs de la ZABR (dans le cadre de la connaissance des contaminants métalliques et organiques présents dans les sédiments du Rhône),
- de déterminer (par des méthodes granulométriques et minéralogiques sur carotte sédimentaire et laisses de crues d'affluents) les processus de déposition et l'origine des sédiments stockés dans les annexes en amont ou en aval des barrages,
- de reconstituer l'histoire des contaminations sur un remplissage sédimentaire associé à la mise en place d'un barrage.

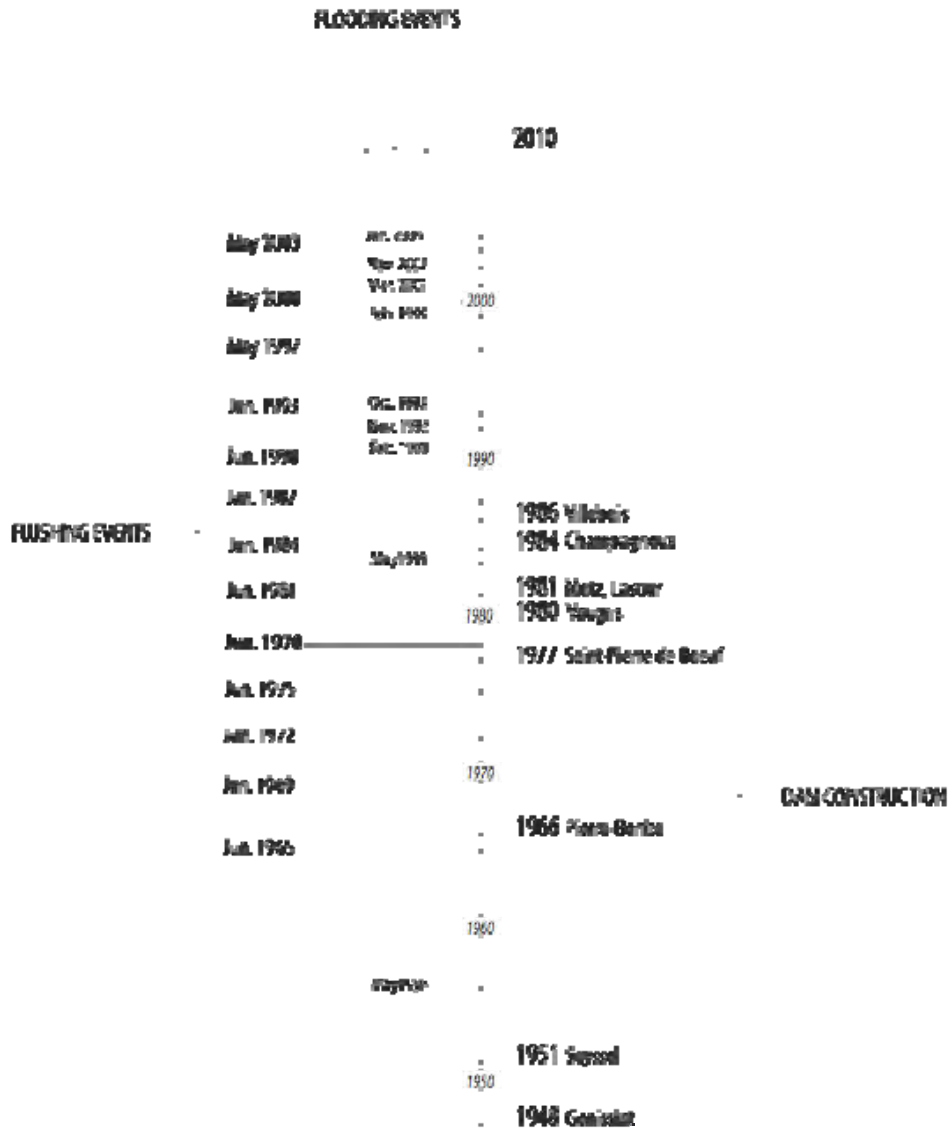


Figure 29 : Chronique des crues (période post-1980) et des chasses du Haut-Rhône entre Genissiat et Saint-Pierre de Boeuf

3. Méthodologie

a) Préciser la géométrie du chenal et les volumes sédimentaires

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a reçu en 1934 la concession du fleuve pour son aménagement. Concepteur et exploitant des 18 centrales hydroélectriques et des barrages, ainsi que des écluses, la CNR dispose ainsi d'une masse importante de données, qu'elle a bien voulu mettre à la disposition de l'OSR. En effet des campagnes de levés bathymétriques ont été effectuées régulièrement par la CNR depuis les années 1970. En moyenne une dizaine de profils bathymétriques (200 au total) ont été extraits pour chaque retenue (de l'amont vers l'aval Génissiat, Seyssel, Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon, Sault-Brénaz, Pierre-Bénite, Vaugris, Péage de Roussillon, Saint-Vallier, Bourg-lès-Valence, Beauchastel, Baix-le-Logis-Neuf, Montélimar, Donzère-Mondragon, Caderousse, Avignon, et Vallabrègues). Ces profils sont situés aux Points Kilométriques (PK) du Rhône, tous les kilomètres, voire tous les 500 mètres pour les retenues de Seyssel, Chautagne, Belley et Pierre-Bénite. Les données extraites se présentent sous la forme de tableaux à trois colonnes: le

numéro du point levé, la distance en mètres de ce point depuis la tête de profil située en rive droite, ainsi que sa cote, et ce pour chaque profil et chaque campagne de levés. Les coordonnées x,y en Lambert des têtes de profils en rive droite et rive gauche sont également fournies, mais non leur cote (Figure 29).

Zone Géographique		HAUT RHONE	
Chute		GENISSIAT	
Ouvrage		RETENUE	
Profil		164.000	
Levé		01/04/1984 00:00:00	
N° P1	Distance	Cote	
00	4.68	331.70	
01	24.60	316.15	
02	39.20	305.65	
03	42.50	302.65	
04	50.00	286.65	
05	62.20	287.65	
06	68.00	289.65	
07	76.00	310.00	
08	93.66	327.61	
09	99.40	330.62	

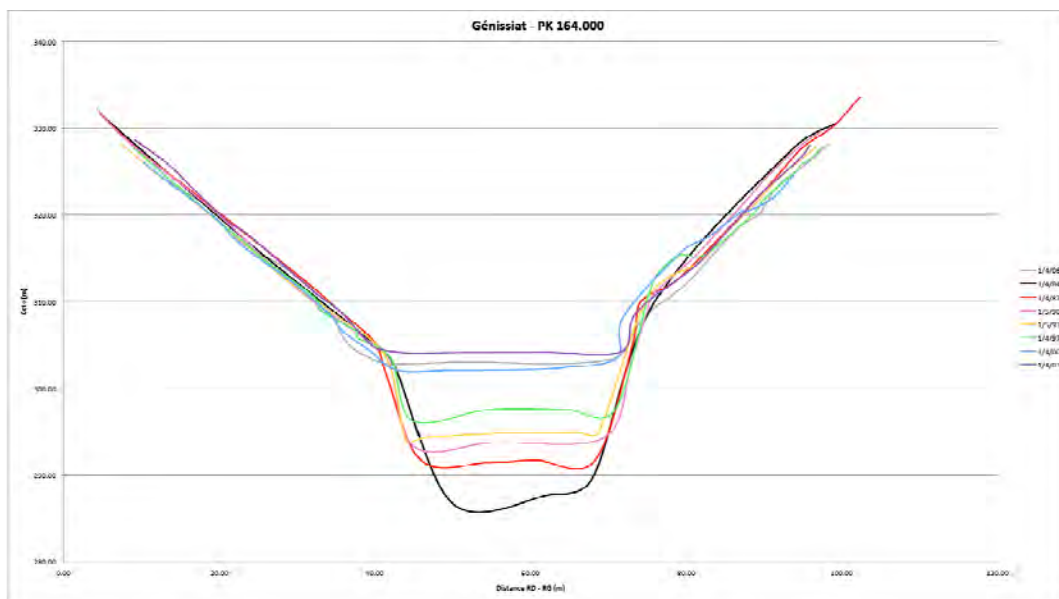


Figure 30 : Type de données fournies par la CNR et représentation des profils bathymétriques sur le PK 164 (en amont de Génissiat) de 1984 à 2006

L'objectif étant d'estimer l'évolution des volumes de sédiments dans chaque retenue, et si possible de visualiser les zones d'érosion et de dépôt, deux méthodes de traitement des données ont été utilisées :

SURFER transforme des coordonnées x,y,z pour créer des cartes de contour, des cartes 3D de surfaces, des cartes de relief, etc. Ce logiciel peut calculer des sections transversales, des surfaces et des volumes. Il crée ces cartes en effectuant une interpolation à partir de la base de données qui lui est fournie. 12 méthodes d'interpolation sont disponibles, la plus largement utilisée, et celle choisie en l'occurrence, étant celle du krigeage, ou kriging. La méthode du krigeage utilise les tendances de la carte pour extrapoler dans les zones n'ayant pas de données. SURFER permet ensuite l'obtention de

volumes en calculant la différence entre deux cartes de surface (même zone géographique, dates différentes). Il fournit le volume érodé, le volume déposé, ainsi qu'un bilan, et permet de visualiser ces résultats en créant une carte isopaque.

HYPACK utilise également des coordonnées x,y,z pour situer géographiquement des transects et dessiner les profils d'un chenal. La méthode utilisée pour calculer les volumes est la méthode Average End Area. L'hypothèse principale est que la section transversale est relativement constante entre deux profils successifs. Ainsi, il est conseillé de choisir un intervalle compris entre 30 et 150 mètres. Si cela n'est pas le cas, alors cette méthode devient une approximation du volume réel.

Un calcul préalable (Figure 30) est nécessaire car ces deux méthodes nécessitent des coordonnées x,y,z de chaque point d'un levé. Or, seules les coordonnées x,y des têtes de profils ont été fournies par la CNR. Il a donc fallu recalculer les coordonnées x,y pour tous les profils, selon les équations suivantes:

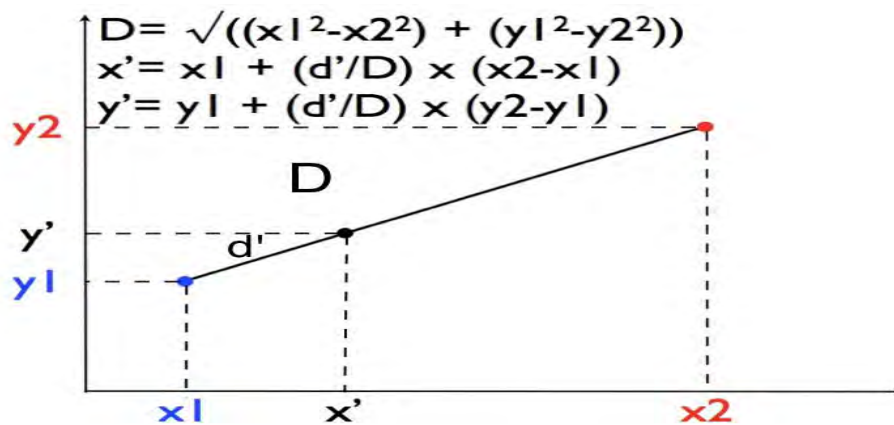


Figure 31 : Méthode pour le calcul des coordonnées x ; y des points bathymétriques

b) Identifier des séquences sédimentaires historiques

L'identification de séquences sédimentaires historiques a débuté en 2008 dans le cadre du projet TSIP (<https://tsip-pcb.cemagref.fr/>) porté par le CEMAGREF (M. Babut) et auquel l'ENTPE est associé à la problématique concernant la sédimentologie et la géochimie des stocks sédimentaires ; TSIP s'est poursuivi en 2009 et en 2010. L'ENTPE a parallèlement mis en place un projet Pre-Sed PCBs financé par le pôle de compétitivité AXELERA ; deux livrables sont attendus pour 2011 et 2012 : (i) un guide des bonnes pratiques en matière de prélèvement et de caractérisation de sédiments du Rhône et (ii) une typologie des sédiments du Rhône par tronçons hydrologiques. L'action «Barrages et Retenues», distincte des projets TSIP et Pre-Sed PCBs s'inscrit dans cette question scientifique majeure de l'étude des stocks sédimentaires associés aux aménagements et archivés dans les annexes fluviales. La figure 31 recense l'ensemble des travaux : aux carottes et prélèvements de laisses de crues sont associés les financeurs des études.

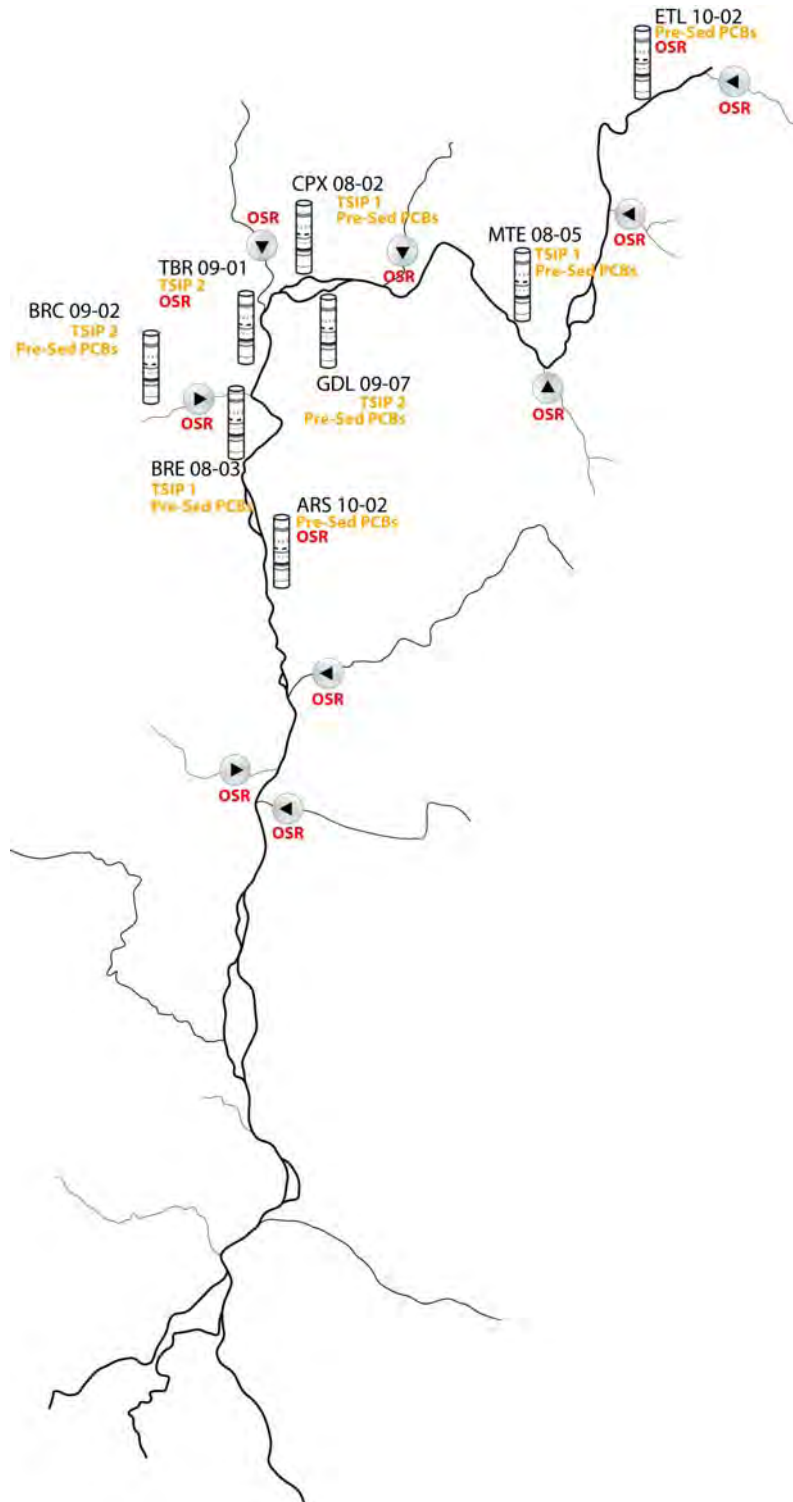


Figure 32 : Localisation des stocks sédimentaires ayant fait l'objet d'un carottage et/ou d'un prélèvement de surface

Dans le cadre des travaux que nous menons sur la distribution des polluants métalliques et organiques dans les stocks sédimentaires associés aux aménagements du Rhône (barrages et retenues), nous avons identifié des nouveaux sites. Ces cibles complètent celles sur lesquelles nous avons déjà accompli de nombreux travaux (sédimentologie, datation, dosage des PCBs et du Plomb, etc...).

La séquence que nous avons étudiée (Figure 32) devait répondre à notre cahier des charges :

- annexes fluviales (bras morts et/ou îles) en connexion (préférentiellement aval) avec le Rhône
- faible débit impliquant une décantation des fines
- mise en eau permanente
- absence de curages/dragages
- présence d'un remplissage sédimentaire couvrant (au moins) les 4 dernières décennies.

L'ouvrage de Saint-Vallier – retenue d'Arras (4 48 25 E, 45 08 00 N) est en amont de l'agglomération de Valence, ce site de carottage est situé sur l'île construite à l'occasion de la mise en place du barrage d'Arras en 1973. Il s'agit d'un bras uniquement connecté en aval vers le vieux Rhône. Le taux de sédimentation est probablement faible.



Figure 33 : Localisation du site de carottage sur le barrage d'Arras

c) Déterminer les processus de déposition et l'origine des sédiments stockés

Les relations entre l'hydrologie du Rhône et la dynamique des sédiments fins déposés dans les annexes fluviales peuvent être approchées via des méthodes granulométriques (mesures faites sur un Malvern Mastersizer) conduisant à l'interprétation de paramètres texturaux tels que (Figure 33) :

- Les pourcentages d'argiles, de silts et de sables
- le grain moyen
- l'asymétrie et le classement
- les images de Passega (Bravard & Peiry, 1999)

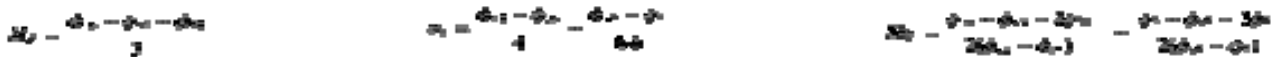


Figure 34 : Grain moyen, classement et asymétrie selon Blott & Pye, 2001

Quant au traçage des sources minéralogiques, il peut être approché de plusieurs manières (géochimie des majeurs et des éléments traces, rapports isotopiques, comptage de minéraux lourds, analyse des cortèges argileux). Pour des raisons techniques et de coût analytiques, nous avons choisi de procéder à l'analyse des cortèges argileux dans les carottes sédimentaires et les laisses de crues d'affluents (fig. 3). Le protocole simplifié d'extraction de la fraction argileuse est le suivant :

- Attaque de la Matière Organique à l'H₂O₂
- Décarbonation progressive par ajout de HCl (N/6) jusqu'à stabilisation du pH à 4-5
- Défloculation à l'hexametaphosphate
- décantation des suspensions et prélèvement des solutions selon la loi de Stockes
- Dépôt sur lame mince
- Mesure sur un diffractomètre Rigaku (i) sans traitement, (ii) après chauffage à 55°C, (iii) après saturation à l'éthylène glycol.

d) Reconstituer l'histoire des contaminations sur un remplissage sédimentaire (barrage d'Arras sur Rhône)

L'étude de la radioactivité permet une datation des couches successives d'une carotte. Dans cette étude, une attention particulière a été portée à l'échelle du siècle, par l'étude des isotopes naturels (238U, 226Ra, 210Pb) et artificiels (137Cs, 7Be, 60Co) provenant des essais nucléaires aériens (antérieurs au moratoire international de 1964) qui injectèrent dans l'atmosphère des isotopes artificiels qui sont le produit de la fission, et des accidents thermonucléaires (Tchernobyl en 1986). Les échantillons ont été séchés à 60°C pendant trois jours, puis conservés dans des boîtes en polystyrène. La spectrométrie gamma a été réalisée au LSCE de Gif-sur-Yvette (I. Lefèvre). L'échantillon est protégé de la radioactivité ambiante par un château de plomb. Les photons gamma sont détectés à l'aide d'un détecteur de germanium, caractérisé par une grande pureté, un bruit de fond très faible et une efficacité relative de 20,6%. Ce type de détecteur présente une excellente efficacité aux basses énergies, ce qui est particulièrement nécessaire pour les isotopes qui nous intéressent dans notre étude. Chaque comptage s'effectue sur une durée de 24 heures au minimum. Le spectre gamma ainsi obtenu met en évidence des marqueurs géochimiques (K, U, Th) et des marqueurs temporels (7Be, 210Pb, 137Cs).

Les analyses en PCBs des sédiments proviennent du laboratoire EUROFINs. Dans ce laboratoire, l'extraction des dioxines et PCBs est normalement réalisée pour des sédiments selon la méthode accréditée QMA 504-192. Elle comporte trois grandes étapes, que sont la préparation de l'échantillon et l'extraction, la purification de l'extrait et l'analyse par HRGC-HRMS (Chromatographie gazeuse capillaire couplée à une spectrométrie de masse haute résolution). Les résultats présentés dans le paragraphe suivant concernent les 7 PCBs indicateurs (18 congénères sont dosés).

4. Résultats

a) Préciser la géométrie du chenal et les volumes sédimentaires

L'ensemble des profils, leur évolution dans le temps et dans l'espace ont pu être interprétés en termes de géométrie du chenal. Ces interprétations ont permis de dresser un état des lieux des formes d'ablation et d'accumulation sédimentaire des 18 tronçons aménagés :

a - Génissiat : Les profils bathymétriques montrent une accumulation quasi constante jusqu'en 2003. C'est la seule retenue qui subit une élévation du niveau du lit aussi importante, de près de 15 mètres. Le barrage de Génissiat est en effet le premier situé en aval de l'Arve, sa retenue stocke donc tous les sédiments glaciaires apportés par cet affluent. On note cependant une phase d'érosion entre 2003 et 2006, qui pourrait témoigner d'une phase de curages. L'interpolation effectuée sous SURFER est particulièrement mauvaise pour cette retenue, d'où un rendu visuel peu lisible (voir annexe). Ceci pourrait être dû à la longueur du tronçon ou à la taille des pixels.

b - Seyssel : Les profils montrent un comblement sédimentaire faible et irrégulier. Il semble qu'un curage ait eu lieu en 2006 au niveau du PK 153.960, en rive gauche. L'ensemble de la retenue paraît assez peu propice à un prélèvement.

c - Chautagne : Le chenal est bien visible sur les cartes isobathes. Une banquette se différencie en aval du Fier. Il semble que le lit se comble progressivement: on distingue 2 chenaux en 1987 mais plus qu'un en 2006. Les profils montrent une accumulation de quatre mètres au PK 148.500, entre les années 1987 et 2004 (voir annexe, en orange).

d - Belley : La tendance générale semble être à un remplissage modéré. Le chenal se bouche au niveau du PK 134.500, mais c'est a priori une accumulation de sédiments grossiers, or nous recherchons des sédiments fins.

e - Brégnier-Cordon : L'ensemble de la retenue paraît relativement stable. Les profils pour le PK 104.000 montrent cependant une brusque accumulation en 1997 (en violet continu sur la figure 11), suivie d'une forte érosion. Cela pourrait témoigner d'une chasse ou d'un curage.

f - Sault-Brénaz : L'interpolation semble bien fonctionner, l'accumulation de sédiments a lieu dans l'intrados des méandres ainsi que dans le chenal.

g - Pierre-Bénite : L'accumulation visible dans l'intrados du méandre sur la carte isopaque semble cohérente. Cependant, la présence de bandes horizontales et verticales laissent penser que l'interpolation n'est pas bonne. D'autre part, les profils montrent une érosion et la carte une accumulation de sédiments. Aucune conclusion ne peut donc être tirée pour cette retenue.

h - Vaugris : Les erreurs d'interpolation semblent augmenter dans les méandres. Des zones de dépôts importants apparaissent sur les cartes, qui n'ont pas lieu d'être si l'on se réfère aux profils bathymétriques. Ceux-ci montrent un comblement au centre du chenal.

i - Péage de Roussillon : Les mêmes erreurs d'interpolation survenues pour Vaugris sont observées pour la retenue du Péage de Roussillon. Les cartes sont incohérentes avec les profils. Globalement, le lit semble s'être légèrement incisé entre 1999 et 2004.

j - Saint-Vallier : Ici le même problème se pose que pour Génissiat: le tronçon étudié est trop long ou les pixels sont trop gros, ce qui donne un mauvais rendu visuel. On peut donc mettre en doute les résultats des calculs de volumes. Par contre, d'après les profils bathymétriques du PK 79.000, il semblerait qu'il y ait une accumulation continue de 80 cm en rive gauche.

k - Bourg-lès-Valence : Le chenal semble se boucher. Une accumulation de plus de trois mètres est visible sur la carte isopaque au niveau du PK 97.000, entre les années 1986 et 2007, mais elle n'est pas cohérente avec les profils bathymétriques du même PK, qui montre tout au plus une accumulation d'un mètre à ce niveau là.

l - Beauchastel : Il semblerait qu'il y ait un remplissage sédimentaire important près du barrage, mais l'interpolation se base sur les levées bathymétriques de 2008 (figure 14, en tirets gris), qui montrent un comblement énorme, et qui sont à vérifier.

m - Baix-le-Logis-Neuf : La Drôme rejoint le Rhône entre les PK 131.000 et 132.000. D'après la carte isopaque, il y aurait formation d'une banquette de sédiments juste en amont de la confluence, mais cette accumulation n'est pas nette sur les profils, De plus, la retenue a dû être curée en rive gauche au niveau du PK 132.000, le profil de 2009 montrant des zones déficitaires de formes régulières.

n - Montélimar : La carte isopaque montre une accumulation dans le chenal principal, donc non exploitable. D'après les profils, deux zones sont à distinguer. En aval du PK 150.000, le fond du lit semble très stable, deux chenaux sont séparés par un haut-fond. En amont du PK 150.000, la forme du lit est beaucoup plus irrégulière, la configuration est de type multichenalisée.

o - Donzère-Mondragon : Une zone de 9 mètres de dépôts apparaît sur la carte isopaque au PK 167.000 à la sortie du RCC précédent. Mais les profils bathymétriques ne montrent aucune accumulation à cet endroit. Il y a pu avoir une erreur dans le calage des têtes de ce profil. Par contre, une deuxième zone d'accumulation importante, plus proche du barrage (PK 170.000) est visible aussi bien sur la carte que sur les profils bathymétriques. Mais cette charge de fond, a priori grossière, ne nous intéresse pas.

p - Caderousse : Il semblerait que le chenal principal se comble au niveau du PK 209.000. Ici aussi les sédiments sont trop grossiers. Des zones déficitaires apparaissent nettement dans le fond du chenal principal pour les PK 201.000, 203.000 et 211.000. Peut-être témoignent-elles de phases de curage?

q - Avignon : Les profils bathymétriques montrent un lit très régulier à la restitution des Vieux-Rhône et RCC précédents. C'est seulement deux kilomètres plus en aval qu'un chenal commence à se différencier, visible à partir du PK 221.040. Entre les PK 226.030 et 229.030, deux chenaux se comblent progressivement, mais cette accumulation de sédiments est inexploitable pour les mêmes raisons que précédemment.

r - Vallabrègues : L'interpolation a posé les mêmes problèmes pour cette retenue que pour celles de Vaugris et Péage de Roussillon. D'après les profils bathymétriques, le fond du lit s'est légèrement

incisé de part et d'autre du chenal principal. Ces remaniements ne laissent pas apparaître de séquence de dépôts continue.

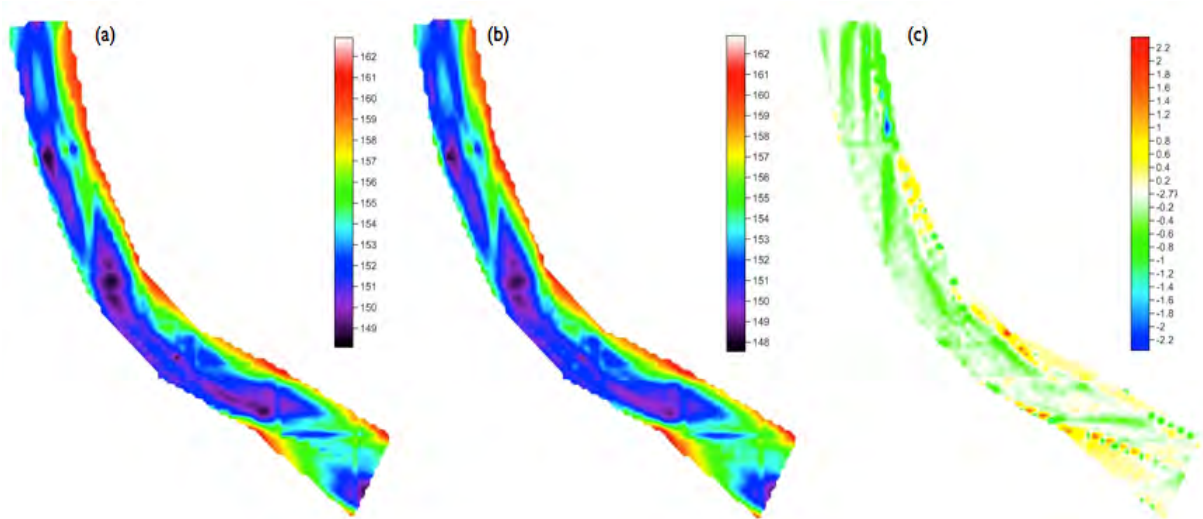


Figure 35 : Exemple d'isobathes (a) 1996, (b) 2006 et d'isopaques en amont de la retenue de Pierre-Benite (1967)

Les cartes isobathes et isopaques (exemple de la retenue de Pierre-Bénite : Figure 34) permettent d'estimer des volumes sédimentaires selon les deux méthodes de calcul : Surfer et Hypack. Sur le secteur de Pierre-Bénite, dans les deux cas de figure, nous mettons en évidence une ablation nette inférieure à 10 000 m³ par an sur la période allant de 1996 à 2006. Sogreah (2000) estime que le potentiel de charriage est de 30 000 m³, conforme à l'estimation que nous fournissons :

- méthode Surfer - Volume déposé : 56 000 m³ ; volume érodé : 133 000 m³ ; ablation nette : 77 000 m³/10 ans
- méthode Hypack - Volume déposé : 89 000 m³ ; volume érodé : 122 000 m³ ; ablation nette : 33 000 m³/10 ans

b) Déterminer les processus de déposition et l'origine des sédiments stockés

La relation entre l'asymétrie et le classement permet de préciser les processus de déposition de la sédimentation continue et de la sédimentation événementielle liée à des épisodes de crues. La figure 35 représente les 7 sites selon un gradient amont-aval ; le classement, majoritairement supérieur à deux, indique un milieu fluvial de très faible énergie, où les processus de vannage liés à des courants de forte intensité sont inexistantes. Quelques niveaux de crues sur les sites de Table Ronde et de l'île du Beurre présentent des valeurs inférieures à deux : ces deux environnements ont subi l'influence de crues majeures impliquant un tri systématique par traction des sédiments sur le fond. Ces horizons ne doivent pas être échantillonnés pour des mesures de contaminants. L'asymétrie vers les grossières ($-1 < A_s < 0$) est un invariant dans les sédiments des annexes fluviales du Rhône. Cette valeur, lorsqu'elle est très négative traduit un apport de matériaux plus grossiers marqués par des pourcentages de sables supérieurs à 10 %.

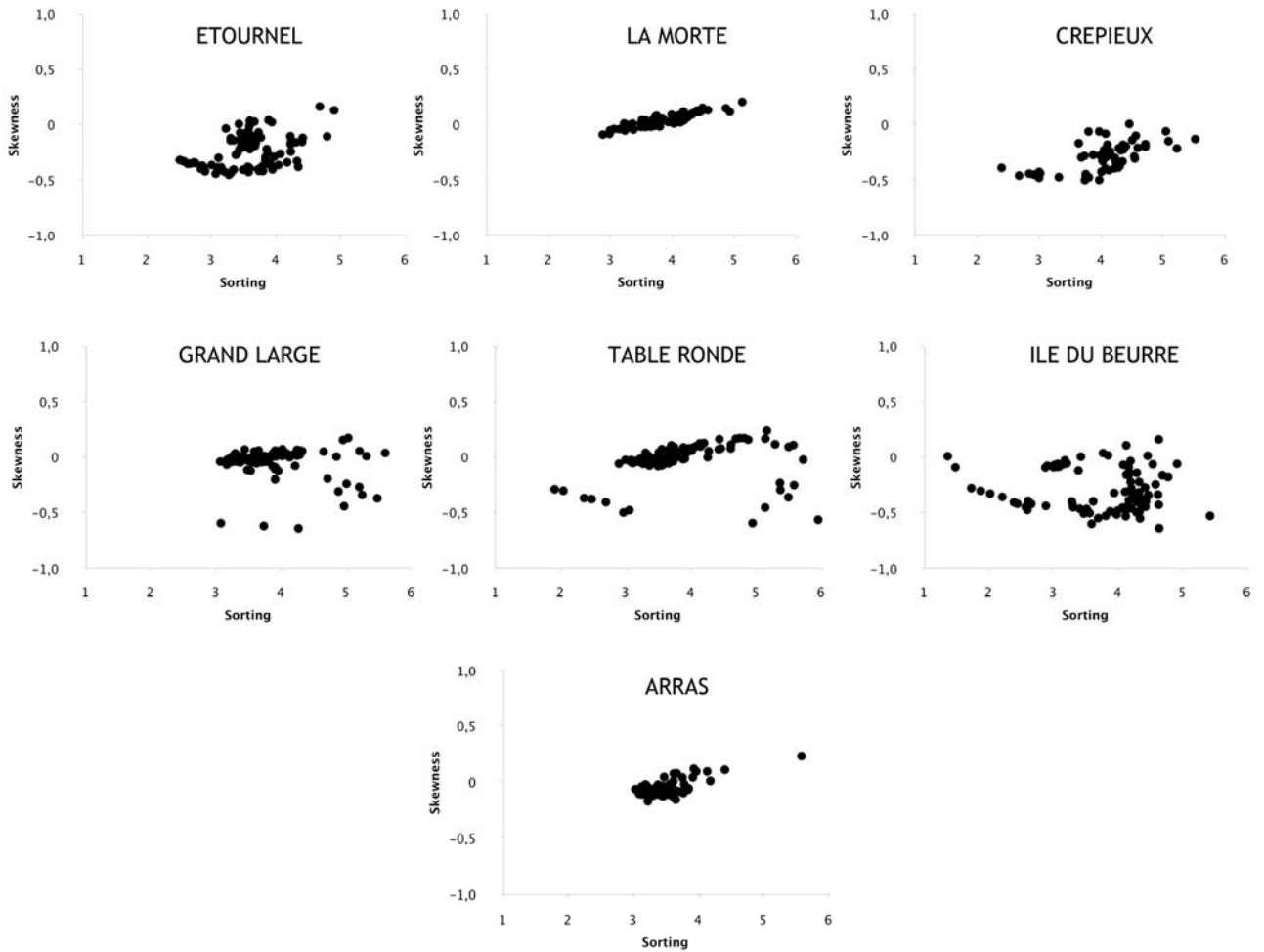


Figure 36 : Relation Classement-Asymétrie sur les 7 carottes étudiées

Les images de Passega sont utilisées pour déterminer les modalités dans lesquelles les sédiments se sont stockés dans ces annexes. Basé sur les relations entre le percentile supérieur et la médiane (D50) obtenues à partir d'une courbe cumulative, le diagramme comprend plusieurs branches correspondant à des transports et des modes de sédimentations fluviatiles variés. La classification originelle est la suivante : SR - suspension uniforme ; RG - suspension graduée ; QP - suspension et roulement ; PO - roulement et suspension ; ON - roulement. La figure 36 montre l'image de Passega de la sédimentation continue des 7 carottes (environ 400 échantillons). Les niveaux de crue ont été exclus puisque nous explorons, via cette méthode, les différences des conditions de sédimentation inter-sites. La Morte et Arras, compte tenu de leur connexion aval, fournissent une image de Passega centrée au dessus de la branche dédiée aux suspensions uniformes. Des interprétations complémentaires seront transmises ultérieurement.

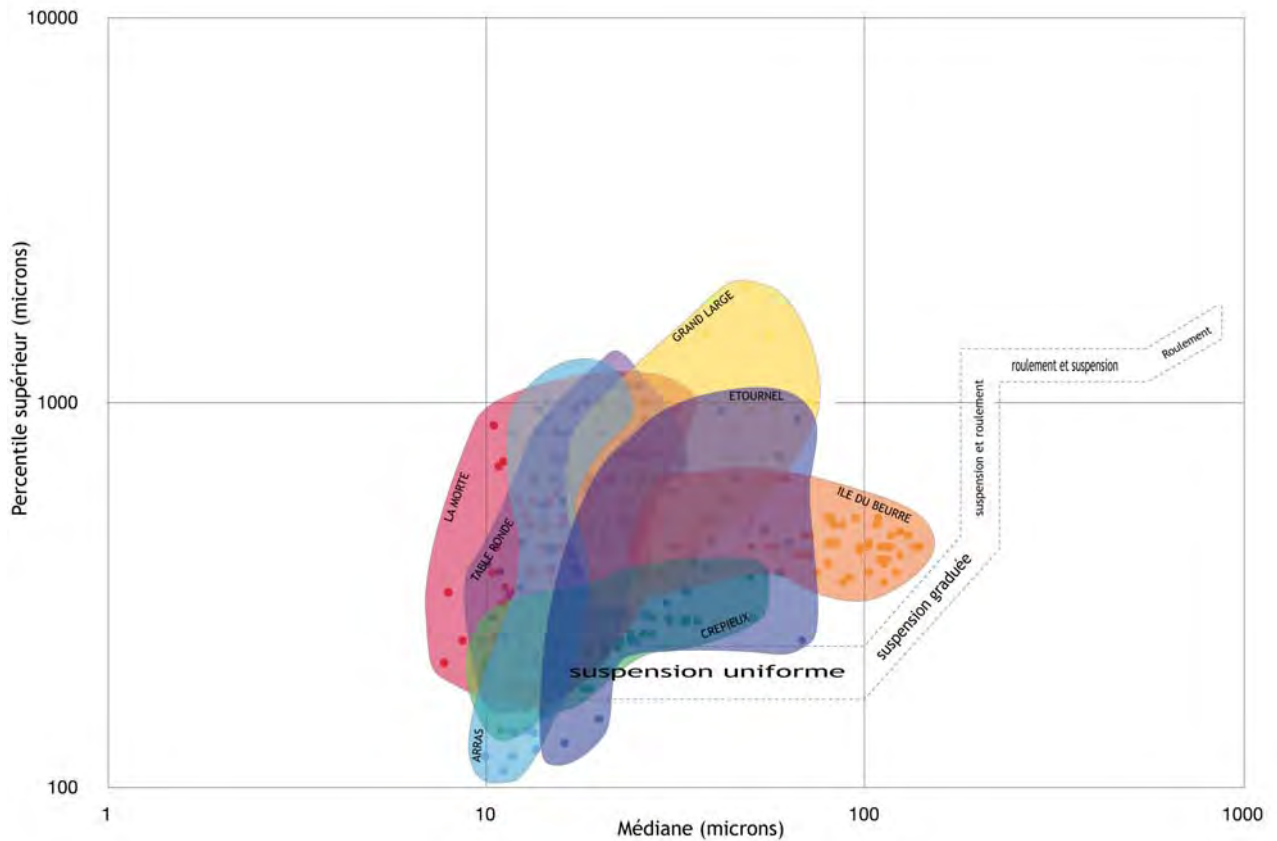


Figure 37 : Image de Passega des 7 carottes (hors niveaux de crues)

Les analyses XRF des échantillons sur carotte et sur laisses de crues donnent des diagrammes très inégaux, certains ne pouvant faire l'objet d'interprétations minéralogiques. Trois types ont été distingués :

- Diagrammes où la réflexion basale se distingue clairement du bruit de fond
- Diagrammes pour lesquels réflexion basale et bruit de fond sont proches
- Diagrammes sans réflexion

Ce dernier type s'explique par une faible proportion d'argiles dont les feuillets ont été détériorés par le transport solide. Trois minéraux, Illite, Chlorite et Quartz ont pu être identifiés à plusieurs reprises. La hauteur des pics et les surfaces associées ont permis d'estimer dans chaque échantillon la proportion de chacun d'entre eux (l'aire des pics est une fonction liée à l'intensité de la réflexion basale). A titre d'exemple, il est remarquable de constater que la carotte prélevée à Etournel en aval de la confluence, est caractérisée par un pourcentage d'Illite proche de 50 % (Figure 37). L'échantillon prélevé sur une laisse de crue de l'Arve ne montre pas de tendance significative : il n'est donc pas aussi intégrateur qu'une carotte sur le Rhône. Il convient aussi de préciser que le site de la Morte, situé une centaine de kilomètres en aval, ne présente plus d'anomalie en illite, attestant ainsi du pouvoir de dilution de la charge solide du Rhône.

ETL 10 - 02	0 - 5	1285	46	734	27
ETL 10 - 02	37 - 42	1800	44	1066	26
ETL 10 - 02	65 - 67	828	40	592	29
ETL 10 - 02	72 - 77	1001	44	507	22
MTE 08 - 05	0 - 5	681	28	856	35
MTE 08 - 05	10 - 15	505	30	683	41
MTE 08 - 05	20 - 25	1074	37	851	29
MTE 08 - 05	30 - 35	930	36	909	35
MTE 08 - 05	40 - 45	681	25	887	32
MTE 08 - 05	50 - 55	889	30	991	33

Figure 38 : Comparaison des cortèges argileux dans les sédiments de la carotte ETL 10-02 et MTE 08-05 ; colonne 1 : nom de la carotte ; colonne 2 - intervalle dans la carotte ; colonne 3 et 4 : intensité (aire du pic) et pourcentage des pics d'illite ; colonne 5 et 6 : intensité et pourcentage des pics de kaolinite

Les pourcentages en Illite et en Kaolinite restent inchangés en aval dans le secteur de Crépieux (Figure 38). Cette carotte prélevée dans une darse connectée au canal de Miribel est affectée par des crues majeures comme celle d'octobre 2010. Nous avons donc échantillonné dans ce niveau de crue pour préciser l'origine potentielle des sédiments qui se sont déposés au cours de cet événement. On note qu'il s'agit de la plus forte concentration en Kaolinite dans l'ensemble des sédiments analysés (de la confluence de l'Arve à celle de l'Isère. Compte-tenu des débits de la station de Ternay (pas d'autres stations disponibles entre Crépieux et la confluence de la Saône à Perrache), il s'agirait d'un épisode qui aurait affecté un bassin versant du Jura Méridional, constitué de plate-formes carbonatées du Malm (Jurassique Supérieur). Les argiles peuvent donc être utilisées, dans certains cas, à l'identification des sources de sédiments stockés dans les annexes fluviales.

CPX 08 - 02	1 - 6	1002	33	1055	34
CPX 08 - 02	20 - 25	982	33	1026	34
CPX 08 - 02	50 - 55	1344	35	1267	33
CPX 08 - 02	70 - 73 (flood)	580	19	1380	45

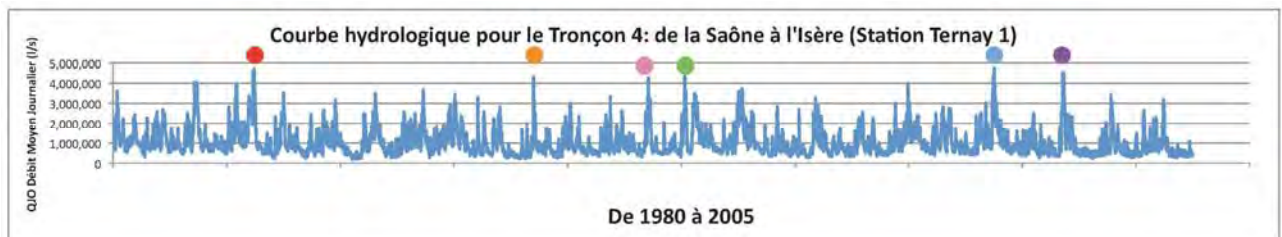


Figure 39 : Pourcentages d'illite (colonne 4) et de Kaolinite (colonne 6) dans 4 niveaux de la carotte CPX 08-02. Débit journalier du Rhône à Ternay (le point orange correspond à la crue de 1990 identifiée dans la carotte CPX 08-02 (intervalle 70-73 cm)

c) Reconstituer l'histoire des contaminations sur un remplissage sédimentaire

Le barrage d'Arras a été construit en 1973 et nous avons carotté au printemps 2010 une annexe du Vieux-Rhône adossée au barrage. La base du remplissage a été atteinte à 140 cm de profondeur ce qui constitue un point de calage pour l'élaboration du modèle d'âge (fig. 11). 26 échantillons ont fait l'objet d'un comptage gamma mettant ainsi en évidence un pic de Césium 137 à 96 cm lié à l'accident de Chernobyl (Figure 39). La chronologie de la carotte a été confirmée par un calage des paramètres granulométriques sur les crues affectant ce tronçon hydrologique. Le taux de sédimentation est de 4,05 cm/a.



Figure 40 : Carotte sédimentaire extraire avec le carottier piloté UWITEC

Dix-huit congénères de PCBs ont été mesurés sur les 26 échantillons (sur sédiment total). La décroissance observée à la base de la carotte correspond à la diminution générale des PCBi dans l'environnement depuis les années 1970 (Figure 40). Deux pics sont présents sur l'enregistrement (fig. 12) : (i) le premier dans les années 1985 et (ii) le second en 1995. S'agissant d'une pollution historique, à caractère chronique et diffuse, nous ignorons l'origine de ces contaminations. Nos études amont devraient permettre de proposer une hypothèse concernant ces deux événements.

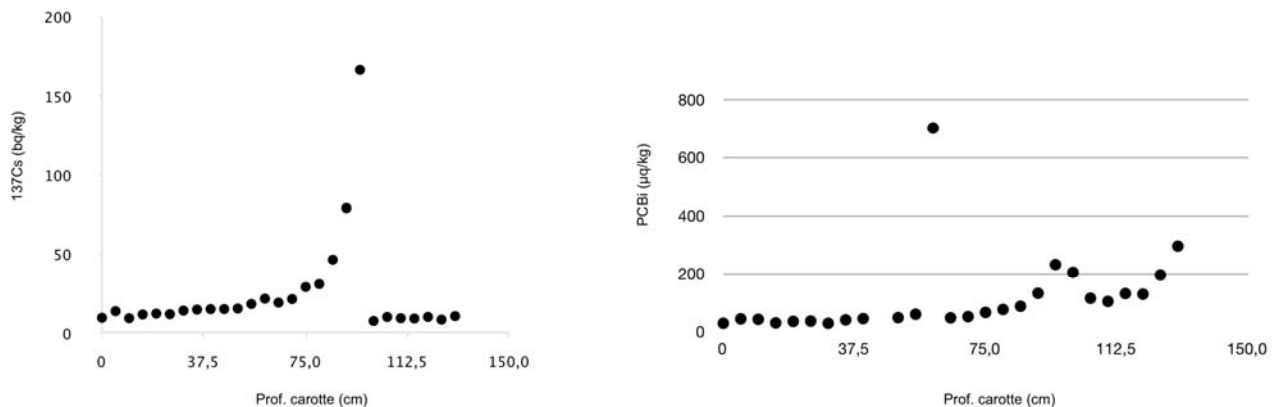


Figure 41 : Profil de Césium 137 et de PCBi dans la carotte ARS 10-02

5. Synthèse et conclusions pratiques

La synthèse est déclinée selon les quatre objectifs fixés dans le cadre de cette action.

a) Préciser la géométrie du chenal et les volumes sédimentaires piégés en amont des barrages :

La géométrie du chenal, fournie à travers les profils bathymétriques de la CNR, a été réalisée sur l'ensemble des 18 retenues du Rhône. Compte tenu de l'espacement des profils (kilométriques pour la plupart des retenues), les cartes isobathes et isopaques associées sont très mal contraintes. Il s'avère que la forme actuelle du chenal a probablement évolué depuis la mise en place du protocole CNR ; ceci se traduit par des ancrages imprécis des PK (des profils en rive droite) au cours du temps. Les volumes ne sont donc que des estimations, d'autant que les deux méthodes utilisées (Surfer et Hypack) fournissent des valeurs très différentes. Dès lors, il convient de mettre en place une réflexion autour de protocoles communs utilisables pour l'évaluation des volumes sédimentaires piégés en amont des barrages et retenues. En terme de perspective, ces travaux préliminaires accompagneront l'étude collaborative UMR 5600-CEREGE-CNR dont l'objectif est de quantifier les stocks sédimentaires dans le chenal du Rhône à partir des données bathymétriques à maillage très serré.

b) Identifier des séquences sédimentaires historiques :

Le chenal du Rhône n'est pas propice à un enregistrement continu puisque le transport solide est caractérisé par une unique charge de fond ; les matières en suspension ne font que transiter et ne sont pas archivées. Dès lors, des campagnes de reconnaissance ont permis de faire l'inventaire des sites potentiels répondant à cinq critères :

- Annexes fluviales connectées
- faible débit impliquant une décantation des fines
- mise en eau permanente
- absence de curages et dragages
- présence d'un remplissage sédimentaire ≥ 40 ans

En particulier, le secteur du barrage d'Arras (ouvrage de Saint-Vallier) présentant les caractéristiques mentionnées, a fait l'objet d'un carottage court permettant de recouvrer la séquence déposée depuis la construction de l'ouvrage (1973). Concernant les perspectives pour l'année II, une campagne de terrain complétera le continuum sédimentaire vers l'aval par la réalisation d'un carottage sur le vieux Rhône de Montélimar (Lône de la grange écrasée). L'étude sera effectuée en collaboration avec l'IRSN.

c) Déterminer les processus de déposition et l'origine de sédiments stockés :

Cette problématique a été abordée via l'analyse de paramètres texturaux, granulométriques et minéralogiques de sédiments prélevés par (i) carottage dans les annexes fluviales et (ii) échantillonnage de laisses de crue dans les confluent. L'interprétation des résultats sur carottes

sédimentaires a permis de comparer les courbes granulométriques aux courbes hydrologiques fournies par la banque Hydro selon différents tronçons hydrologiques. Les niveaux de crues ont pu être identifiés, permettant ainsi de raffiner le modèle d'âge obtenu grâce au Césium 137. L'ensemble des processus de déposition a été déterminé selon les relations de classement, d'asymétrie et d'image de Passega des sédiments. Concernant les paramètres minéralogiques (analyse des cortèges argileux), l'origine et la source du matériel sédimentaire a pu être identifiée dans des niveaux de crue archivés dans les carottes. Cette approche ayant été validée dans le cadre de cette étude, la carotte prélevée sur le vieux Rhône de Montélimar (année II) complètera la détermination des processus de déposition et de l'origine des sédiments stockés sur ce site.

d) Reconstituer l'histoire des contaminations sur un remplissage sédimentaire

Le carottage court du secteur du barrage d'Arras a permis de récupérer une séquence sédimentaire de 140 cm sur laquelle les radionucléides (Césium 137) et les PCBs ont été dosés selon un pas d'échantillonnage contraint par le taux de sédimentation (4.05cm/an). Compte-tenu des processus de déposition (décantation d'une suspension uniforme), on considère que les mesures de contaminants peuvent être interprétées en terme de chronique historique. L'événement de Chernobyl (avril 1986) est présent à 96 cm. L'évolution de la concentration en PCBs présente deux pics (1985 et 1995). Bien que les valeurs ne soient pas normalisées par rapport au COT (calcul d'un facteur d'enrichissement), le pic le plus récent correspond à une teneur dix fois supérieure à la valeur la plus élevée observée sur le site de la Morte en amont de la confluence de l'Ain. L'année à venir donnera lieu à la reconstitution de l'archivage annuel des contaminants de la lône de la Grange Ecrasée. Les deux séquences historiques (Arras et Grange écrasée) pourront être prises en compte dans la mise en place d'une géohistoire des contaminants à l'échelle du bassin versant (collaboration UMR 5600 - H. Piegay).

D.Axe IV : Outils communs et communication

En tant qu'observatoire, l'OSR collecte et accumule des données au grès des opérations de recherche. Afin d'archiver et de stocker ces données, mais également de les valoriser et de les transmettre, des outils de gestion de l'information sont apparus indispensables. Dans cette perspective une action technique visant à établir une plate-forme d'échange des informations avait été programmé. Cet outil a donc pour vocation de partager des données entre les différentes équipes de l'OSR, mais également avec les partenaires techniques et financiers.

Au-delà, de la définition technique d'outils portant sur les données, cet axe IV « Outils communs et communication » a permis de soutenir l'animation globale du projet. Les outils mis en place ont participé à assister l'animation du projet, permettant à toutes les équipes d'accéder aux documents administratifs et comptables. Enfin, cet axe a participé activement à la valorisation des travaux de recherche par des actions de communication, qui ne sont explicitement décrites ici, mais qui n'en reste pas moins importante : définition d'une charte graphique, réalisation d'une plaquette de communication, communication sur l'extérieur via le site web...

7. Mise en place d'un espace d'échange des informations au sein de l'OSR

Équipes impliquées :

Unité Mixte de Recherche Environnement, Ville, Société (EVS)
Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences et de l'Environnement (CEREGE)

Responsable scientifique

Hervé Piégay – Directeur scientifique de l'OSR
Ecole Normale Supérieure de Lyon – Site Descartes – 15 Parvis R. Descartes, BP 7000 –
69 342 Lyon cedex 07
herve.piegay@ens-lyon.fr

Mireille Provansal – Directrice scientifique de l'OSR
CEREGE UMR 6635, Av. Louis Philibert - Europôle de l'Arbois, BP 80 - 13 545 Aix-en-
Provence
provansal@cerege.fr

Autres personnes ressources

Guillaume Fantino – Ingénieur d'étude
Ecole Normale Supérieure de Lyon – Site Descartes – 15 Parvis R. Descartes, BP 7000 –
69 342 Lyon cedex 07
guillaume.fantino@ens-lyon.fr

1. Contexte

L'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) est un programme de recherche portant sur l'ensemble du corridor rhodanien qui a été lancé dans un premier temps sur une année, mais qui dès le départ avait vocation à perdurer. Un système d'observation tel que l'OSR nécessite des outils communs pour la centralisation, le partage et la mise à disposition d'informations produites ou collectées par les différents membres du projet (scientifiques et gestionnaires du fleuve). Le partage de l'information répond donc à différents enjeux qui sont i) le bon déroulement du programme d'actions, ii) l'assistance à la recherche par un accès facilité aux données, et iii) la valorisation des résultats auprès des partenaires du projet et de la société civile.

2. Objectifs

L'objectif de cette action était donc de bâtir une réflexion méthodologique pour définir les outils les plus adéquats à la centralisation, au partage et à la mise en valeur des informations collectées et produites par le système d'observation de l'OSR. La définition des outils à utiliser devait prendre en compte des éléments inhérents au projet de l'OSR, à savoir son objet d'étude, son caractère pluri-partenarial et pluridisciplinaire. Dans cette perspective, un diagnostic était à réaliser pour lister les besoins, les types de données et les outils à mettre en œuvre.

Enfin, dans un second temps, le but de cette action était la mise en œuvre opérationnelle d'une plateforme d'échanges des informations au sein de l'OSR.

3. Méthodologie

a) Diagnostic initial

Le diagnostic initial visant à définir les contours de la plate-forme d'échange de l'information s'est basé dans un premier temps sur la définition de ces objectifs. Pour cela nous avons cherché à connaître les besoins et les contraintes des futurs utilisateurs. Cette phase a été possible par une série d'entretiens avec les différents partenaires techniques et financiers du projet. Ils ont été réalisés au cours du dernier semestre 2009. La même démarche a été appliquée avec les équipes de recherche grâce à des échanges fréquents concrétisés notamment lors des Comités Scientifiques et de différentes réunions de travail.

Un travail recensant les informations transitant au sein de la plate-forme d'échange a également été entrepris. Ce dernier a d'abord reposé sur un recensement des données existantes et disponibles auprès des différents partenaires. Cette étape s'est concrétisée par un inventaire de travaux déjà réalisés (ENSMSE/CEMAGREF de Lyon, 2005 ; Citterio, Vassas, 2005). Cette démarche a été complétée par des recherches sur les données externes à l'OSR via le web ou la prise de rendez vous auprès d'autres producteurs de données (commercial comme l'IGN mais aussi d'autres structures d'observation : GIP Seine Aval, OHM du Bassin Minier de Gardagne, Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine, syndicats intercommunaux de gestion des affluents).

Les caractéristiques de l'objet d'étude de l'OSR, à savoir les dynamiques sédimentaires du Rhône sur l'ensemble du linéaire français, ont également été prises en compte dans le diagnostic. Les

recherches de l'OSR porte sur une large gamme d'échelles spatio-temporelles. Les outils à développer doivent donc pouvoir gérer cette spécificité.

Une fois les groupes d'utilisateurs potentiels et les types de données identifiés, nous avons cherché à établir une liste des outils disponibles, en tenant compte de leur pertinence pour répondre aux objectifs de la plate-forme, des moyens techniques à mettre en œuvre pour les rendre opérationnels et de leurs coûts. Nous nous sommes basés pour cette étape, entre autres, sur des analyses déjà effectuées (ENSMSE/CEMAGREF de Lyon, 2004 & 2005 ; Delile, 2009, Etude du Projet « Créateur de Drôme », 2009). Un croisement qualitatif des ces différents paramètres nous ont guidés pour le choix des outils.

b) Mise en place des outils

Pour le développement des outils, nous avons largement collaboré avec les différentes composantes des équipes associées au projet en vue de bénéficier de leurs compétences techniques. Les plates-formes ISIG de l'UMR 5600 et SIG EAU de l'UMR 6635 ainsi que le Service Informatique de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon ont été sollicités pour des appuis techniques, spécialement pour les installations serveurs des outils en ligne. Pour les solutions retenues demandant moins de compétences techniques, nous avons fait appel à des prestataires de services.

Nous avons ensuite procédé aux tests de ces outils. Ces derniers ont été menés en parallèle avec d'autres programmes de recherche afin d'avoir une gamme plus large de retours d'expérience au regard des besoins-utilisateurs. Ces tests ont porté sur la validation des différents formats standards de métadonnées, sur la compréhension des fiches de métadonnées par les utilisateurs, sur l'optimisation de l'utilisation des services cartographiques et enfin sur les potentialités des traitements géographiques en ligne.

Outre ces premières vérifications, la mise en place des différentes solutions technique est suivie par un bêta-test (équivalent à une « période d'essai ») pendant laquelle les outils sont évalués via leur manipulation courante par les utilisateurs eux-mêmes.

4. Résultats

a) Type de données et fonction de la plate-forme

Le diagnostic initial a mis en évidence les d'informations à partager pour satisfaire les trois enjeux liés à la mise en place d'outils communs à l'OSR, à savoir le bon déroulement du projet, l'assistance à la recherche dans sa démarche d'observation et la valorisation des résultats. Il s'agit des informations contextuelles, des métadonnées et des données elles-mêmes.

Ces dernières peuvent se définir ainsi :

- Informations contextuelles : Informations dont le porter à connaissance est nécessaire pour le bon déroulement du programme de l'OSR. L'information contenue n'est pas directement liée à l'objet de l'observation (exemple : la date d'un rendez vous/événement ou un compte rendu de réunion). Leur collecte est aisée via le travail d'animation de l'OSR

- Données scientifiques ou techniques : Informations décrivant l'objet de l'observation, leurs formats peuvent être très variés (photos, tableaux, documents, bases de données relationnelles, couches SIG, ...). Elles peuvent avoir un caractère stratégique pour la plupart des partenaires du projet. Pour les équipes scientifiques, l'enjeu porte sur la protection des travaux scientifiques et leur valorisation. Pour les partenaires financiers, il peut soit découler de la nature industrielle des données (partenaire privé) ou de leur validation avant diffusion (partenaire publique). Ces données sont donc moins facilement disponibles. Leur transformation apporte un résultat scientifique, qu'il est possible de considérer comme un sous-type de données.
- Les métadonnées : Informations décrivant des données, leurs caractéristiques, leur localisation, leur propriétaire, etc. Leur format est normalisé (ISO 19115 dir. INSPIRE). Leur collecte demande une bonne connaissance de la donnée afférente. Elle peut donc s'avérer difficile.

L'utilité de gérer ces informations sur une plate forme est de répondre à trois types de besoin qui découlent des objectifs initiaux. Dans un premier temps, la fonction principale de cette plate forme est d'archiver, de centraliser et de structurer les données. Cette dimension est la fonction principale de cette plate-forme, outil nécessaire pour instituer le projet OSR comme un véritable observatoire de recherche sur le long terme. Les deux autres fonctions de la plate-forme sont la valorisation des données et leur traitement. Elles intéressent également l'OSR en tant que projet pour communiquer sur son activité et assurer une assistance aux équipes de recherche sur les données.

Ces fonctions servent des utilisateurs aux attentes différentes. Les partenaires techniques et financiers du projet ont un intérêt pour les deux premières fonctions (centralisation/archivage – valorisation). Les scientifiques sont a priori beaucoup moins intéressés par ces trois fonctions. En effet, ce sont les principaux possesseurs des données, donc leur mise à disposition les concerne moins. Ils réalisent eux-mêmes les traitements sur les données et la principale valorisation de leur résultat passe par d'autres canaux (publication scientifique). En revanche, à long terme, l'archivage des données sera une plus-value scientifique pour les recherches de demain.

Face à l'hétérogénéité des intérêts portés aux fonctions de la plate-forme d'échange, il est nécessaire d'encadrer les flux d'informations entre les partenaires sur la plate-forme, condition sine qua none à son opérationnalité. Mais la présentation des solutions techniques retenues est nécessaire au préalable puisqu'elles conditionnent les flux d'informations.

b) Solutions techniques retenues

L'OSR est un programme pluri-partenarial avec des équipes de recherches et de partenaires répartis sur l'ensemble du corridor rhodanien. Il était donc impératif, dans la mesure du possible de se baser sur des outils en ligne. Ces outils doivent être au maximum interopérables avec d'autres solutions pour rester ouverts aux outils préexistants et ne pas bloquer des développements ultérieurs du projet ou de la plate forme. Par ailleurs, nous avons vu que certaines données ou informations ne pouvaient pas être librement diffusables, un système de sécurité doit permettre pour chaque outil de protéger en partie son contenu.

i. Web-OSR

Pour la gestion des informations contextuelles, un site web a été mis en place. Dans un premier temps, deux sites internet ont été imaginés, un site très collaboratif pour les équipes de recherche et un site « vitrine » pour les partenaires. Le site collaboratif a été créé à l'aide des outils de la suite collaborative en ligne Google. Mais le retour d'expérience de la « période d'essai » a montré que l'auto-implémentation du site par les utilisateurs n'est pas affective par manque de temps. De plus cet outil ne permettait pas un accès restreint. Il a finalement été décidé de créer un site internet unique. Egalement collaboratif (site SPIP), l'outil est un peu moins ergonomique pour les administrateurs. En revanche, des espaces spécifiques par groupes d'utilisateurs sont accessibles via un accès sécurisé.

ii. BD-OSR & Géo-OSR

Pour ce qui est des données elles-mêmes, une solution unique permettant de gérer tous les formats n'existe pas. Il faut donc stocker les données sous leur format natif dans une base structurée et hiérarchisée. Cette base sera stockée sur un serveur FTP, sécurisé et sauvegardé sur un serveur hébergé par les services informatiques de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon. Si une solution unique n'existe pas, la quasi-totalité des données ont un caractère spatial. Aussi elles peuvent être insérées dans un Système d'Information géographique(SIG). L'intérêt de l'utilisation d'un SIG pour gérer les données de l'OSR réside dans leur gestion multi-scalaire dans une base unique et la possibilité de réaliser par la suite des analyses spatiales et statistiques. Il s'agit de l'outil le plus intégrateur des différents formats de données produits dans le cadre de l'OSR. En plus les développements récents des applications WebSIG offrent la possibilité de visualiser les données géographiques en ligne ce qui répond aux objectifs de valorisation de l'OSR. Concrètement la solution retenue pour la gestion du SIG de l'OSR repose sur les produits ESRI de la gamme ArcGIS couplé du module WebSIG ArcGis Serveur (AGS). ArcGIS est le logiciel SIG le plus largement utilisé dans la recherche. De plus, les formats de données SIG sont aujourd'hui suffisamment interopérables pour que ce choix ne soient pas handicapant pour les partenaires n'utilisant pas cette solution.

AGS présente à la fois les avantages et inconvénients d'une solution commerciale, à savoir la facilité de prise en main, une présentation attrayante, mais un nonaccès au code source (Fayeaux, 2009, Etude du Projet « Créateur de Drôme », Rapport final, 2009) (Figure 41).AGS a été installé sur un serveur de la plate ISIG de l'UMR 5600 au CRENAM. La sécurité dans AGS est configurable. Ces outils sont dénommés BD-OSR pour la partie base de donnée FTP et GéoOSR pour l'interface WebSIG.

Solutions WEBSIG	Coût de la solution / du déploiement	Administration	Interopérabilité	Fonctionnalités	Ergonomie de l'interface
ArcGIS Server	Facile / 4000€ en licence Advance Enseignement	Complète, Interface Web	Totale (extension data Interoperability)	Visualisation/requête/ cartographie/ Edition/analyse spatiale/network /visu 3D	Très bonne
Dynmap	Facile / 6000 €	Assez complète nécessite un logiciel externe pour l'import de données	Les principaux formats	Visualisation/requête/analyse spatiale/cartographie/édition	Bonne
MapFish	Nécessite programmation / Gratuit	Pas de gestion des utilisateurs (logiciel externe)	Formats vecteurs gérés par Post GIS, formats raster : WMS	Visualisation/requête/network cartographie/édition	Correct
Cartoweb	Nécessite programmation / Gratuit	Pas de gestion des utilisateurs (logiciel externe)	Formats vecteurs gérés par Post Gis, Oracle spatial et ArcSDE, principaux formats raster	Visualisation/requête/cartographie	Correct

Figure 42 : Tableau comparatif de plusieurs solutions WebSIG - Source : Etude du Projet « Créateur de Drôme », Rapport final, 2009

iii. Méta-OSR

En ce qui concerne la gestion des métadonnées, la solution technique retenue a été le logiciel GéoNetwork 4.2.3 (dernière version stable). Il s'agit d'un logiciel libre, en ligne, utilisé par des structures nationales comme le SANDRE (portail national d'accès aux référentiels sur l'eau) et dont le développement est soutenu par une large communauté d'utilisateurs. Le serveur accueillant GéoNetwork est hébergé par les services informatiques de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon. Des difficultés de mise en œuvre de cette solution ont été rencontrées en raison de configurations différentes entre le serveur de développement et le serveur de production. Les métadonnées prennent la forme de fichiers .xml standardisés selon des normes internationales et européennes utilisables par les autres logiciels de gestion des métadonnées. Les normes retenues dans le cadre de l'OSR sont ISO 19119 pour les données géographiques et Dublin Core pour les données documents. GéoNetwork permet d'effectuer des opérations de moissonnage (récupération automatique des données localisées sur d'autres catalogues de métadonnées) ce qui rend cette solution largement ouverte et interopérable. Cette solution est dénommée dans le cadre de plate-forme Méta-OSR.

Ces trois solutions sont interfacées selon les modalités suivantes : le site web offre un accès aux deux autres solutions. Une liste de cartes dynamiques permet de consulter géographiquement les données disponibles et les résultats de recherche. Il renvoie également sur le catalogue de métadonnées. Dans ce dernier, pour chaque fiche de métadonnées, un lien donnera accès soit à la données brutes (si l'utilisateur a les droits d'accès) sur le serveur FTP, soit à leur visualisation sur AGS. La possibilité d'une connexion du WebSIG à GéoNetwork est en cours d'analyse.

c) Architecture de la plate-forme

i. Les utilisateurs

Afin d'assurer le bon fonctionnement de cette plate-forme multi-utilisateurs, il est nécessaire de définir les modalités de la gestion des flux de données.

Les différents utilisateurs sont définis selon leur rôle et leur statut. Le rôle de l'utilisateur correspond à sa capacité à intervenir sur la base de données alors que son statut correspond à son appartenance à un groupe, lui-même défini par son statut dans l'OSR. Les rôles sont :

- administrateur,
- sous-administrateur,
- consultant (ou visualisateur simple des informations).

Ces rôles sont donc des droits d'accès sur la modification de la base de données. Le rôle de sous-administrateur est délivré à des personnes appartenant aux équipes de recherche soit parce qu'elles participent à l'implémentation de Méta-OSR ou de BD-OSR. Le rôle d'administrateur est assuré par l'animation de l'OSR. Il permet de gérer l'ensemble des outils et les comptes utilisateur.

Les groupes d'utilisateurs sont au nombre de quatre :

- scientifiques,
- partenaires techniques et financiers,
- partenaires extérieurs,
- grand public.

Ils correspondent à des autorisations d'accès aux informations. Il a été décidé en Conseil Scientifique de l'OSR qu'un compte utilisateur nominal sera créé pour chaque chercheur associé à l'OSR, et des comptes structure seront délivrés aux autres partenaires du projet. Le groupe grand public correspond à l'absence de compte utilisateur spécifique. Il est possible de noter que de nouveaux groupes d'utilisateurs peuvent être créés (par exemple pour le partage de données pour un groupe de travail impliqué sur une des actions de l'OSR).

ii. Interaction entre les utilisateurs (Figure 42)

La gestion de Web-OSR est assurée par l'animateur de l'OSR. En gestion courante les différents partenaires du projet font remonter les informations contextuelles à l'animateur de l'OSR, qui après leur centralisation, les diffusera sur le site web.

La gestion de Méta-OSR est réalisée par l'administrateur et les sous-administrateurs. Les sous-administrateurs aident à la saisie des fiches de métadonnées. L'administrateur valide ces fiches. Un recensement des métadonnées à saisir est réalisé auprès des partenaires tous les semestres. Les partenaires du projet déclarent obligatoirement les lots de données acquis dans le cadre de l'OSR. Ils

peuvent en plus déclarer des lots des données acquis avant le projet qui touchent à l'objet d'étude de l'OSR. Les fiches de métadonnées sont accessibles par tous, y compris le grand public, sauf en cas de demande spécifique.

Pour ce qui est de BD-OSR, l'administrateur gère les données stockées et assure les publications des services cartographiques sur AGS. Des personnes travaillant directement sur la base de données peuvent être identifiées comme sous administrateur. Le recensement des données est réalisé parallèlement aux métadonnées. La mise à disposition des données relatives à l'objet de recherche de l'OSR est du libre arbitre des différentes équipes de recherche. En revanche, sauf cas particulier, les données qui auront été acquises dans le cadre de l'OSR devront être rendues disponibles dans un délai de deux ans (ce qui permet la valorisation des résultats scientifique par publication). La fiche de recensement spécifie pour chaque lot de données à quel groupe d'utilisateur ou à quel utilisateur ces données peuvent être diffusées. La mise à disposition de données privées (celles de la CNR ou d'EDF par exemple) est encadrée par des conventions. Ces dernières sont encore à élaborer. Elles permettront de spécifier via une fiche de « demande de données » les utilisateurs et les groupes d'utilisateurs qui pourront utiliser ces données. Toute donnée stockée dans BD-OSR devra faire l'objet d'un référencement dans Méta-OSR.

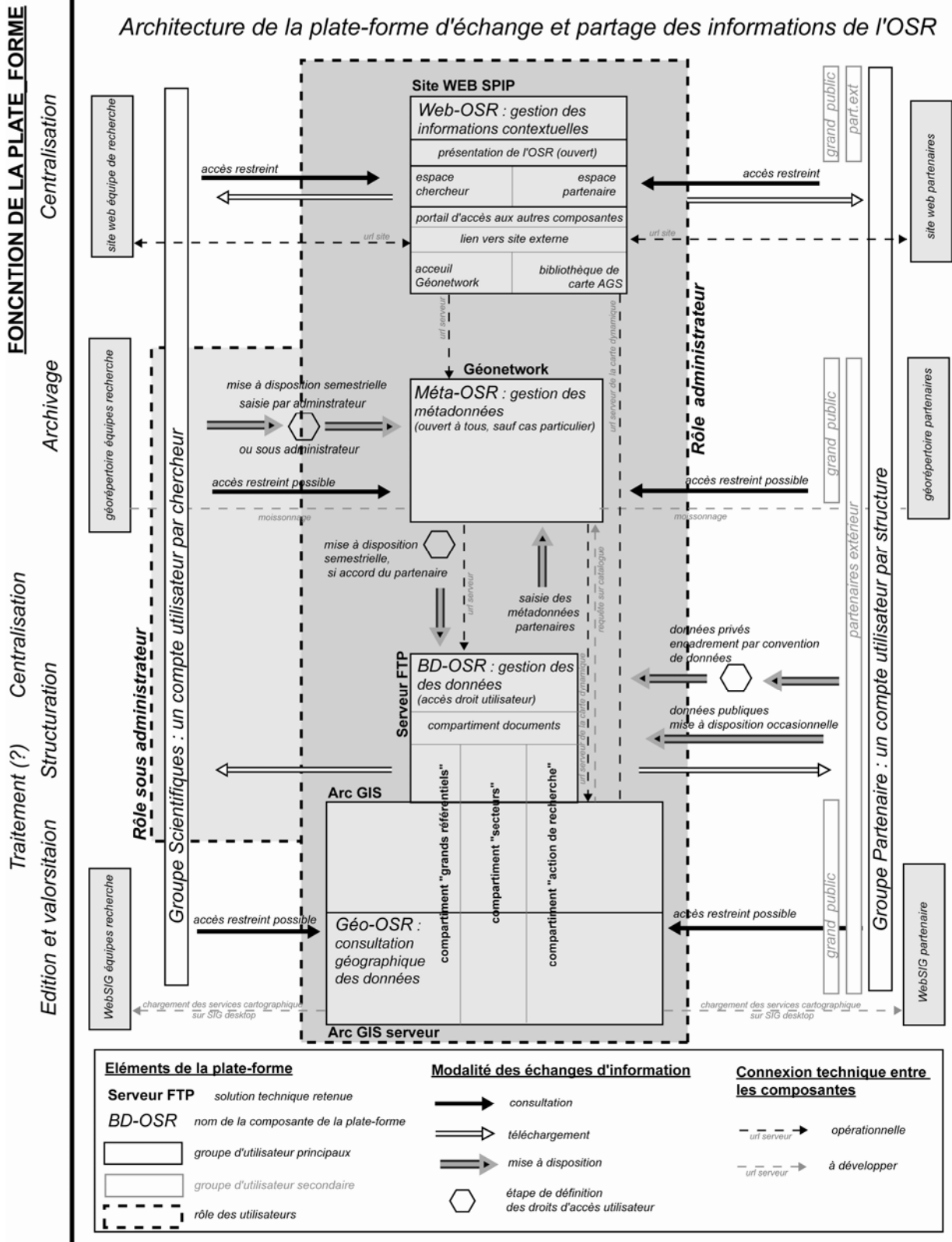


Figure 43 : architecture de la plate-forme et interactions entre les utilisateurs

iii. Structuration de la base de données

La base de données sur le serveur FTP est une arborescence de dossiers classant des fichiers numériques. Cette base de données est en cours de structuration et la mise en routine de la plate-

forme est nécessaire pour valider des choix de classification et d'archivage. Ces derniers devront tenir compte des besoins des utilisateurs finaux. Cependant, il est possible à l'heure actuelle d'esquisser sa structure.

Les données, y compris celles du SIG, sont regroupées dans quatre compartiments. Le premier rassemble la documentation de l'OSR (articles, rapport...). Les deux autres compartiments permettent une double entrée géographique sur les données. En effet, les données sont classées en fonction de leur emprise spatiale, d'une part avec les « grands référentiels » qui correspondent aux données exhaustives sur l'ensemble du linéaire (SCAN 25, Atlas des Ponts et Chaussées de 1980, Atlas des paléo-environnements, BDT Rhône, etc), et d'autre part les données regroupées par « secteur ». Les secteurs sont des sections du fleuve définies principalement par la zone d'influence des ouvrages hydro-électriques (Figure 43). Quatre secteurs ne sont pas directement concernés par des aménagements hydroélectriques: secteur Ain, secteurs Grand Rhône, Petit Rhône et Littoral. Par secteur, les données sont ensuite classées en sous-dossier thématique. Le dernier compartiment rassemble les données et les résultats par actions inscrites dans le triennal programmatif 2010-2013.

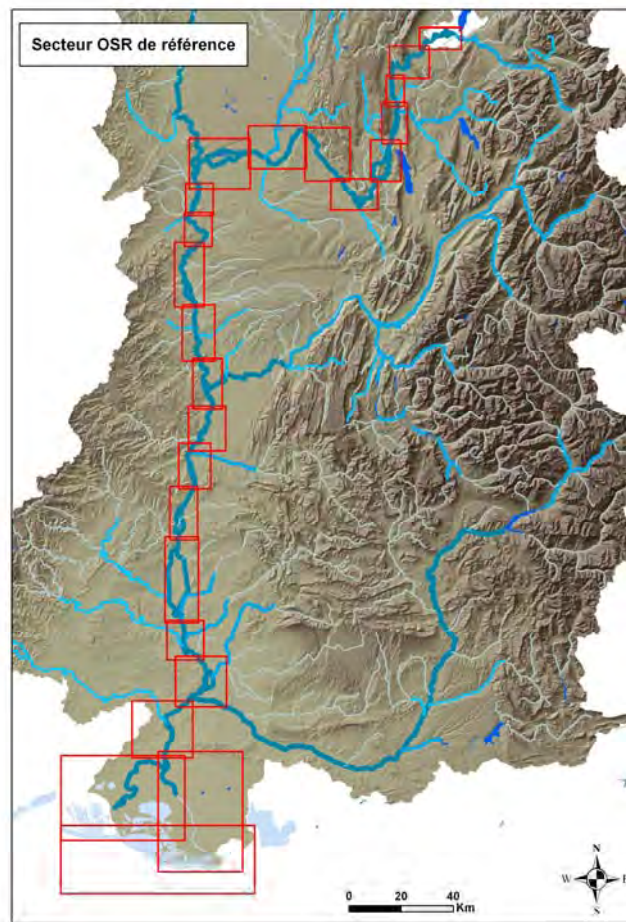


Figure 44 : Secteurs de référence

Pour chaque lot de données « grands référentiels » et pour chaque secteur, les données géographiques sont stockées dans des géodatabases fichiers permettant l'emballage des fichiers et

donc une manipulation plus aisée. Chaque géodatabase est publiée sur AGS dans un service cartographique diffusable en ligne (Figure 44).

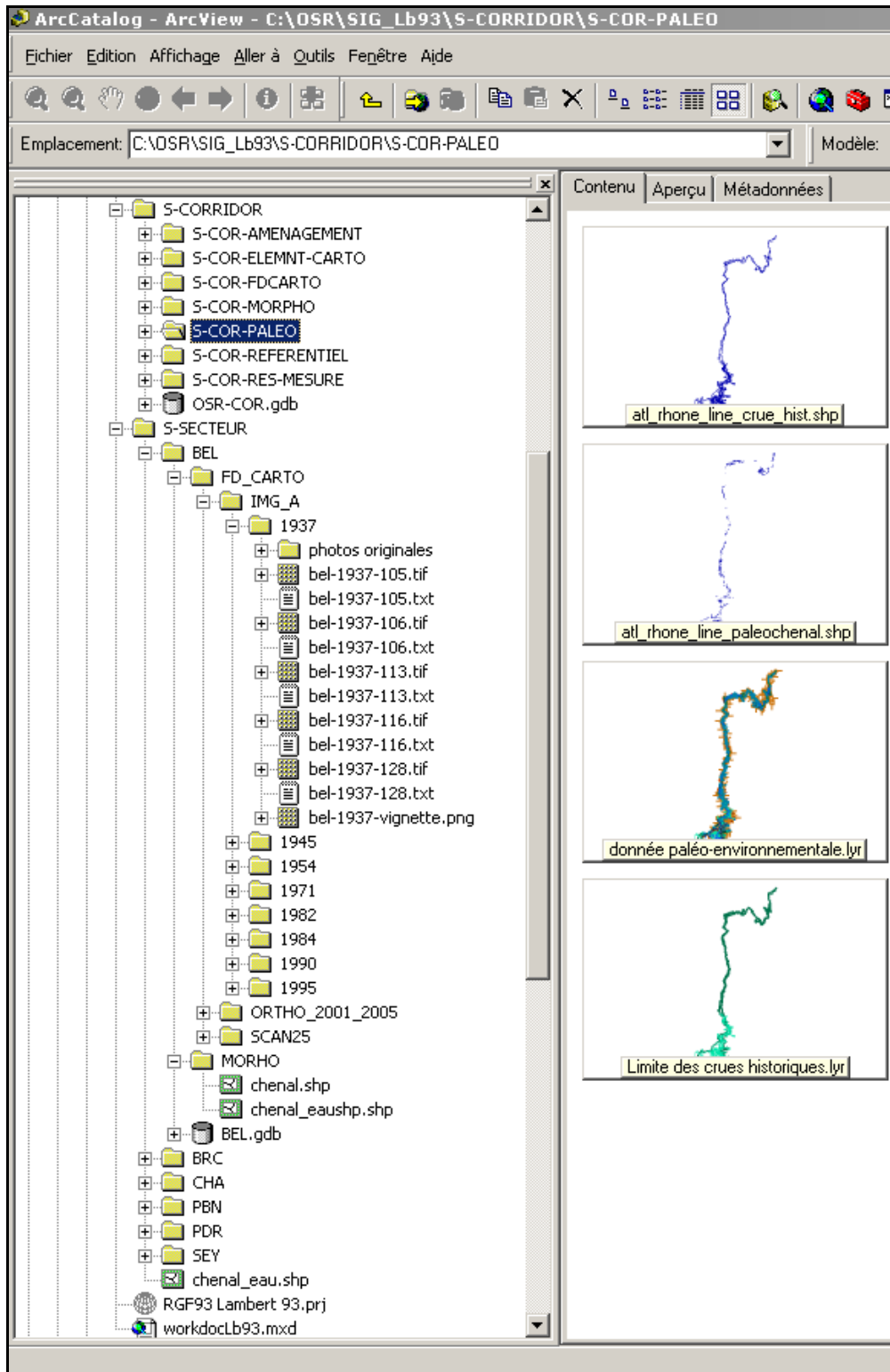


Figure 45 : Structuration de l'arborescence du SIG de l'OSR

5. Synthèse et conclusions pratiques.

Le diagnostic initial pour la mise en place d'une plate-forme d'échange et de mutualisation des informations a permis d'identifier les types de données à gérer et a mis en valeur un contexte multi-utilisateurs où chacun n'a pas le même intérêt vis-à-vis des fonctions de cet outil. Cette plate-forme s'impose, par sa fonction d'archivage/centralisation/structuration comme un outil central dans la démarche d'observation de l'OSR.

Le choix des solutions techniques a été principalement orienté par les types d'information à utiliser. Les besoins d'outils en ligne, collaboratifs et ouverts sur l'extérieur ont également été des critères importants. Quatre outils ont été retenus (Web-OSR, Méta-OSR, BD-OSR et Géo-OSR) qui ensemble composent la plate-forme.

Web-OSR constitue un portail d'accès aux autres outils et permet de diffuser dans des espaces réservés, les informations nécessaires au bon déroulement du projet. Méta-OSR, catalogue de métadonnées, donne une lisibilité et une transparence sur les données relatives à l'objet d'observation, en s'affranchissant en partie des contraintes liées à leur collecte et diffusion. En revanche, cette solution ne peut pas remplacer BD-OSR, seul outil permettant réellement un archivage, une centralisation et une structuration des données. BD-OSR est une base de données stockées sur un serveur FTP. La principale composante de cette base de données est un SIG dont le contenu peut être publié sur des cartes dynamiques en ligne (Géo-OSR). Cette dernière composante permet de répondre aux enjeux liés à la valorisation des résultats.

Enfin, l'assistance aux actions de recherche est l'enjeu le moins bien satisfait et cela pour des raisons organisationnelles et non techniques. En effet, les chercheurs n'ont pour le moment pas de besoins impérieux de la base de données de l'OSR. Son utilité va, en revanche, monter en puissance au fur et à mesure des années d'observation. Dans l'avenir, des demandes d'exploitation de la BD pourraient être formalisées via « des demandes de travail » sur la BD (extraction, traitement, cartographie) adressées au gestionnaire de cette base de données. La cartographie des résultats permettrait de renforcer la visibilité de l'OSR par une homogénéisation de leur présentation.

Enfin, des développements techniques peuvent être envisagés pour améliorer le fonctionnement de la plate-forme. Deux pistes de travail sont à l'heure actuelle à l'étude : la possibilité d'attaquer grâce à une requête le serveur de Géonetwork à partir d'une carte dynamique pour pouvoir consulter les métadonnées chargées dans les services cartographiques. Par ailleurs, pour les couches communes à l'OSR, les traitements cartographiques en ligne (mise à jour des données via AGS, Bennour, 2010) pourraient être développés.

En revanche ces développements techniques sont conditionnés à la phase de mise en routine de la plate-forme. Aujourd'hui les outils techniques ont été choisis, testés. La mise en route opérationnelle de l'ensemble de la plate-forme est prévue pour la fin 2010. Certains points sont encore à travailler pour arriver aux résultats escomptés (finalisation de l'installation de Géonetwork sur un nouveau serveur, mise en ligne du site web construit et finalisé, conventionnement avec les partenaires privés). Enfin, ce travail sur le partage et l'échange des données et des métadonnées n'est possible que par la construction permanente d'un climat de confiance entre les équipes de recherche.

Références bibliographiques

i. Analyse des évolutions morphologique du secteur de Caderousse

Arnaud M., Charmasson S. et Eyrolle F. 2009. Les radionucléides marqueurs des apports solides du Rhône à la mer Méditerranée: Sources, puits et devenir. In : *Le golfe du lion, un observatoire de l'environnement en Méditerranée*. Editions Quae, Versailles, Chapitre 7 : 105-119.

Eyrolle F., Claval D., Gontier G., Antonelli C. 2008. Radioactivity level in major French rivers: summary of monitoring chronicles acquired over the past thirty years and current status. *Journal of Environmental Monitoring* **10** : 800-811.

Eyrolle F., Masson O., Antonelli C., Arnaud M., Charmasson S. 2009. The EXTREME project - Consequences of paroxysmic meteorological climatic events on the translocation of contaminants within the geosphere. *Radioprotection* **vol.44, N°5** : 463-468.

Ferrand E. 2010. Détermination des niveaux historiques en radionucléides et éléments traces métalliques à partir d'enregistrements sédimentaires au sein des marges alluviales du Rhône aval et de la Têt. Contribution au projet EXTREMA (contrat N4 ANR -06-VULN-005-2007-2010), Rapport final de Post Doctorat, Rapport DEI/SESURE 2010-02.

Marion C., Maillet G., Arnaud M., Eyrolle F. 2010. Quantifications des flux solides rhodaniens à l'embouchure: apports de la Durance pendant la crue exceptionnelle de mai 2008. *La Houille Blanche*, in press.

Provansal M., Ferrand E., Eyrolle F., Raccasi G. Spatial variability of sedimentation rates and radionuclide storage in alluvial margin of the lower Rhône River, *Aquatic Sciences*, special issue, submitted 2010.

Provansal M., Villiet J., Eyrolle F., Raccasi G., Gurriaran R, Antonelli C. 2010. High-resolution evaluation of recent bank accretion rate of the managed Rhone: A case study by multi-proxy approach. *Geomorphology* : **117**, 287-297.

Rolland B. 2006. Transfert des Radionucléides artificiels par voie fluviale : Conséquences sur les stocks sédimentaires et les exports vers la Méditerranée. Thèse de Géosciences de l'Environnement de l'Université Paul CEZANNE, 280 p.

ii. Définition de la méthodologie pour l'élaboration du Schéma Directeur de la réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône

Armand 1910. Tableau des pentes moyennes kilométriques de l'étiage de 1867-1868 sur le Haut-Rhône et de l'étiage de 1902-1903 sur le Bas-Rhône. *Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement*.

Bravard J.P., Provansal M., Arnaud-Fassetta G., Chabbert S., Gaydou P., Passy P., Melun G., Valleteau S., Richard F. 2008. Un atlas du paléo-environnement de la plaine alluviale du Rhône de la frontière Suisse à la mer. *Edytem Cahiers du paléoenvironnement* **6**: 101-116.

Bravard J.P. 2010. Discontinuities in braided patterns : The River Rhône from Geneva to the Camargue delta before river training. *Geomorphology* **117** vol 3-4 : 219-233.

Brookes A. 1988. Channelized rivers, perspectives for environmental management. *Wiley, New York*: 326.

Compagnie Nationale du Rhône 2002. Étude Globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône : Modélisation hydraulique hors delta, Diagnostic de la situation actuelle, Rapport: 35.

Compagnie Nationale du Rhône 2006. Ré-activation de la dynamique fluviale sur les marges du Rhône : re-dimensionnement expérimental des ouvrages de chenalisation. *Rapport Technique, Lyon, Direction de l'Ingénierie, Département Eau et Environnement*: 20.

Nadal D. 2008. Mémoire de première année de Master Géographie Interface Homme Nature, Université Lyon 2.

Pont B., Beranger A., Herodet B. 2004. Résultats de quinze ans de veille sur les annexes hydrauliques fluviales. *Rapport de l'Association des Amis de l'Île de la Platière*: 79.

Valé N. 2005. Mémoire de deuxième année de Master Géographie Interface Homme Nature, Université Lyon 2.

iii. Analyses des stocks des retenues

Bravard, J.P., Peiry J.L., 1999. The CM pattern as a tool for the classification of alluvial suites and floodplains along the river continuum. *Geological Society, London, Special Publications*, 163, 259-268.

Doutriaux, E., 2006. Aménagements hydrauliques dans le cours du Rhône français. *Arch. Sci.* 59, 151-160.

iv. Mise en place d'un espace d'échange des informations au sein de l'OSR

Bennour T. 2010. Le service web de géotraitement, Master 2 Centre de Recherche sur l'Environnement et l'Aménagement, Université Jean Monnet – Saint Etienne, dir. T Joliveau, 88p.

FLAYEAUX F. 2009. Mise en place du serveur cartographique ArcGis Serveur, Master 2 Systèmes d'Information Géographie et Gestion de l'Espace, Université Jean Monnet – Saint Etienne, dir. A Honneger, 63 p.

DELILE H. 2009. Guide pour la saisie des métadonnées sous Géonetwrok 2.4, UMR 5600 – EVS, 33p.

Étude du Projet « Créateur de Drôme », Rapport final, 2009, Master 2 Systèmes d'Information Géographie et Gestion de l'Espace, Université Jean Monnet, 29 p.

INSPIRE Metadata Editor User Guide. 2008. Joint Research Centre (JRC) (drafts), <http://www.inspire-geoportal.eu/InspireEditor/INSPIREEditorUserGuide.pdf>

VASSAS C, CITTERIO A. 2005. Accompagnement scientifique pour la mise en place d'un observatoire pour la gestion des sédiments du Rhône : Étude préliminaire : recherches documentaires sur les sédiments du Rhône et premiers éléments de réflexion, ZABR, 34 p.

Compte-rendu scientifique. « Étude relative à la mise en service et l'exploitation d'un géorépertoire de données existantes dans les domaines géomorphologique, hydrologique, biologique, sociologique et économique ». Décision de subvention n° SUB05-10.DR7. Juillet 2005. ENSMSE/CEMAGREF de Lyon. 13 pages.

Rapport de phase 1 & 2 de l'étude « Structuration des données de la ZABR », 2004, ENSMSE/CEMAGREF de Lyon. 81 pages.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des actions du 1er programme OSR.....	5
Tableau 2 : Recensement des données cartographiques	10
Tableau 3 : Rétraction des chenaux de 1860 à 2006.....	12
Tableau 4: Volumes sédimentaires du chenal du Vieux Rhône de Caderousse exprimés en m3/an ...	15

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site de Caderousse – Source : IGN, SCAN 25®	9
Figure 2 : Évolution en plan du chenal du Rhône de Caderousse entre 1860 et 2006	13
Figure 3 : Différence bathymétrique du Vieux Rhône entre 1902 et 2009 – Source : CNR	14
Figure 4 : Description de la carotte CA 1	16
Figure 5 : Description de la carotte CA 2	17
Figure 6 : Activités en 210Pbxs et 137Cs au sein de la carotte CA 1	18
Figure 7 : Activités en 210Pbxs et 137Cs au sein de la carotte CA 2	19
Figure 8 : Carte de localisation des zones d'étude sur le Rhône - Sources : CNR et Euratlas	22
Figure 9 : Unité de la BAH – Source IGN ®	23
Figure 10 : Cartographie des puissances spécifique – Source IGN ®	25
Figure 11 : Puissances spécifiques par période et par Pk.....	25
Figure 12 : Évolution de l'occupation du sol – Source : IGN®	27
Figure 13 : Estimation des volumes déposés – Source IGN®	29
Figure 14 : Casier de sensibilité potentielle à l'inondation et à la sédimentation – Source IGN®	31
Figure 15 : Cartographie des habitats écologiques – Source IGN®	33
Figure 16 : Carte d'analyse paysagère.....	35
Figure 17 : Analyse des paysages a) morcellement des structure b) structures à l'échelle du fleuve..	36
Figure 18 : Faisabilité hydraulique – Source IGN®	37
Figure 19 : Carte de synthèse de la faisabilité – Source IGN®	39

Figure 20 : Tableau de bord de l'avancement du Schéma Directeur de la ré-activation de la dynamique fluvial des marges du Rhône	40
Figure 21 : Application WebSIG du recensement du réseau de mesure turbidimétrique.....	47
Figure 22 : Carte de localisation des stations turbidimétriques présente sur l'Isère	51
Figure 23 : Relations opérationnelles entre turbidité (mesurée en continu) et concentration massique en MES (mesurée par filtration-pesée). Saône à Saint-Georges (a), Isère à Romans (b), Arc à Pontamafrey (c), Arvan aval (d), Arvan amont (e). Les données (symbole) sont issues de prélèvements manuels et automatiques réalisés en 2009-2010. La ligne pointillée indique la relation linéaire opérationnelle, les lignes rouges indiquent les écarts à $\pm 20\%$ de cette relation.....	54
Figure 24 : Concentration volumique mesurée en fonction de la concentration massique équivalente	56
Figure 25 : Comparaison des spectres moyens acquis par Coulter-LS et LISST-Streamside	56
Figure 26 : Concentration en MES avant et après filtrage des données brutes.....	57
Figure 27 : Localisation du Bac de Barcarin et le nouveau bac "Barcarin 5".....	58
Figure 28 : a) Bras de fixation ; b) les instruments sur le bras ; c) PC d'exploitation sur le bac.....	60
Figure 29 : Chronique des crues (période post-1980) et des chasses du Haut-Rhône entre Genissiat et Saint-Pierre de Bœuf	76
Figure 30 : Type de données fournies par la CNR et représentation des profils bathymétriques sur le PK 164 (en amont de Génissiat) de 1984 à 2006	77
Figure 31 : Méthode pour la caclul des coordonnées x ; y des points bathymétriques	78
Figure 32 : Localisation des stocks sédimentaires ayant fait l'objet d'un carottage et/ou d'un prélèvement de surface	79
Figure 33 : Localisation du site de carottage sur le barrage d'Arras.....	80
Figure 34 : Grain moyen, classement et asymétrie selon Blott & Pye, 2001	80
Figure 35 : Exemple d'isobathes (a) 1996, (b) 2006 et d'isopaques en amont de la retenue de Pierre-Benite (1967)	84
Figure 36 : Relation Classement-Asymétrie sur les 7 carottes étudiées	85
Figure 37 : Image de Passega des 7 carottes (hors niveaux de crues)	86
Figure 38 : Comparaison des cortèges argileux dans les sédiments de la carotte ETL 10-02 et MTE 08-05 ; colonne 1 : nom de la carotte ; colonne 2 - intervalle dans la carotte ; colonne 3 et 4 : intensité (aire du pic) et pourcentage des pics d'illite ; colonne 5 et 6 : intensité et pourcentage des pics de kaolinite.....	87

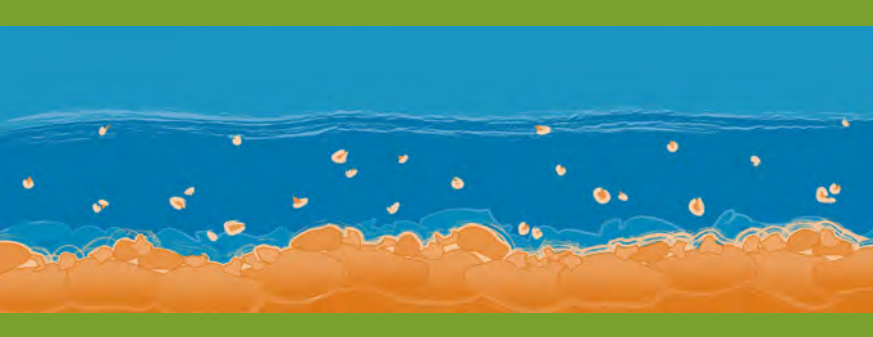
Figure 39 : Pourcentages d'Illite (colonne 4) et de Kaolinite (colonne 6) dans 4 niveaux de la carotte CPX 08-02. Débit journalier du Rhône à Ternay (le point orange correspond à la crue de 1990 identifiée dans la carotte CPX 08-02 (intervalle 70-73 cm).....	87
Figure 40 : Carotte sédimentaire extraire avec le carottier pilot UWITEC.....	88
Figure 41 : Profil de Césium 137 et de PCBi dans la carotte ARS 10-02	88
Figure 42 : Tableau comparatif de plusieurs solutions WebSIG - Source : Etude du Projet « Créateur de Drôme », Rapport final, 2009	96
Figure 43 : architecture de la plate-forme et interactions entre les utilisateurs.....	99
Figure 44 : Secteurs de référence	100
Figure 45 : Structuration de l'arborescence du SIG de l'OSR	101

Table des matières

Sommaire	3
Introduction Générale	3
Contexte et objectifs de l'Observatoire des Sédiments du Rhône	3
Résultats des travaux engagés par l'Observatoire des Sédiments du Rhône	7
A. Axe I : Réhabilitation des marges alluviales	7
1. Analyse des évolutions morphologique du secteur de Caderousse	9
1. Contexte et objectifs	9
2. Méthodologie	10
3. Résultats scientifiques.....	11
i. Évolution en plan (Figure 2 et Tableau 3).....	11
ii. Évolution bathymétrique du Rhône entre 1902 et 2009 (figure 3)	14
iii. Synthèse et Interprétation de l'évolution topo-bathymétrique.....	15
i. Taux de sédimentation (Figures 6 et 7).....	18
ii. Teneurs en radionucléides artificiels au sein des stockages sédimentaires	19
4. Synthèse et conclusions pratiques.....	20
2. Définition de la méthodologie pour l'élaboration du Schéma Directeur de la réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône.....	21
1. Objectifs.....	21
2. Méthodologie.....	24
i. Étude du potentiel marges	24
i. Etude des enjeux locaux.....	32
ii. Étude de la faisabilité hydraulique (Figure 17).....	38
3. Résultats appliqués au Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon.....	40
4. Synthèse et conclusions pratiques	40
B. Axe II : Métrologie des flux.....	43
3. Recensement du dispositif de mesure turbidimétrique	45

1.	Contexte	45
2.	Objectifs.....	45
3.	Résultats:	45
4.	Consolidation du système d'observation	49
1.	Contexte et objectifs	49
2.	Méthodes	50
3.	Résultats scientifiques	50
4.	Synthèse et conclusions pratiques	61
5.	Synthèse du séminaire de travail : Métrologie des flux sur le Rhône : Calcul de flux, modèle, traçage.....	63
C.	AXE III : Retenues et barrages	75
6.	Analyse des stocks des retenues	75
1.	Contexte	75
2.	Objectifs.....	75
3.	Méthodologie	76
4.	Résultats	82
5.	Synthèse et conclusions pratiques	89
D.	Axe IV : Outils communs et communication	91
7.	Mise en place d'un espace d'échange des informations au sein de l'OSR.....	91
1.	Contexte	92
2.	Objectifs.....	92
3.	Méthodologie.....	92
4.	Résultats	93
i.	Web-OSR	94
ii.	BD-OSR & Géo-OSR	95
iii.	Méta-OSR	96
i.	Les utilisateurs.....	97
ii.	Interaction entre les utilisateurs (Figure 42).....	97

iii. Structuration de la base de données	99
5. Synthèse et conclusions pratiques.....	102
Références bibliographiques.....	103
Liste des tableaux.....	107
Liste des figures.....	107
Table des matières	111



RhôneAlpes



Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur



Observatoire des Sédiments du Rhône

École normale supérieure de Lyon
Sites Descartes – 15, parvis René Descartes
BP 7000 – 69342 Lyon Cedex 07
www.osr-rhone.org

Contact : guillaume.fantino@ens-lyon.fr