



HAL
open science

Modélisation hydro-sédimentaire du site de Miribel-Jonage à l'aide des modèles numériques Mage et Adis-TS

E. Andries, B. Camenen, J.B. Faure, M. Launay, Jérôme Le Coz

► **To cite this version:**

E. Andries, B. Camenen, J.B. Faure, M. Launay, Jérôme Le Coz. Modélisation hydro-sédimentaire du site de Miribel-Jonage à l'aide des modèles numériques Mage et Adis-TS. [Rapport de recherche] irstea. 2012, pp.48. <hal-02597380>

HAL Id: hal-02597380

<https://hal.inrae.fr/hal-02597380v1>

Submitted on 15 May 2020

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

MODÉLISATION HYDRO-SÉDIMENTAIRE DU SITE DE MIRIBEL-JONAGE À L'AIDE DES MODÈLES NUMÉRIQUES MAGE ET ADIS-TS

Auteurs :

E. Andries, B. Camenen, J.-B. Faure, M. Launay, J. Le Coz
Irstea Lyon, Unité de Recherche Hydraulique Hydrologie



Partenaires au sein de l'Action :



TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	5
1.1	Projet Axelera PCB.....	5
1.2	Le Grand Lyon.....	5
1.3	Travail réalisé par Irstea.....	6
2	Contexte de l'étude.....	8
2.1	Le Haut-Rhône.....	8
2.2	Chasses du Rhône à l'aval de Genève.....	9
2.3	Historique des chasses	10
2.4	Cadre administratif de la chasse de mai 2012.....	12
3	Zone d'étude de Miribel-Jonage.....	14
3.1	Problématique.....	14
3.2	Réseau hydraulique.....	15
3.3	Caractéristiques hydrauliques.....	15
3.4	Colmatage et captages.....	19
4	Stratégies pour minimiser le colmatage du lit.....	20
4.1	Minimiser l'entrée de matières en suspension.....	20
4.2	Minimiser le dépôt de matières en suspension.....	20
4.3	Scénarios de gestion.....	21
5	Recueil des données.....	22
5.1	Données topographiques et bathymétriques.....	22
5.1.1	Origine des données.....	22
5.1.2	Problèmes et limites.....	24
5.2	Données hydrologiques et sédimentaires.....	25
5.3	Caractéristiques des sédiments.....	26
6	Modélisation hydraulique : paramétrisation.....	28
6.1	Coefficients de Strickler.....	28
6.2	Répartition des débits aux diffluences.....	29
6.2.1	Brèche de Neyron, entre le Canal de Miribel et le Vieux Rhône.....	29
6.2.2	Diffluence entre le Canal Sud et le Vieux Rhône.....	30
6.3	Création d'un casier.....	31
6.4	Modélisation des ouvrages hydrauliques.....	32
7	Modélisation sédimentaire : paramétrisation.....	34
7.1	Principales caractéristiques.....	34
7.1.1	Type de sédiment.....	34
7.1.2	Diamètre médian.....	34
7.1.3	Masse volumique.....	34
7.1.4	Porosité.....	35
7.2	Coefficient cinétique de disparition d'un élément.....	35
7.3	Coefficients pour la loi de dépôt érosion.....	35
7.4	Coefficient de dispersion.....	36
7.5	Conditions aux limites et Conditions initiales.....	37
7.5.1	Conditions aux limites.....	37
7.5.2	Conditions initiales.....	37
8	Simulations et résultats.....	38
8.1	Variation du débit entrant dans le Vieux-Rhône.....	38

8.2 Variation de la hauteur du seuil BPN.....	40
8.3 Résultats caractéristiques pour un débit réservé de 30 m ³ /s.....	41
8.3.1 Lieux de dépôt.....	41
8.3.2 Variation de la hauteur du seuil.....	43
9 Conclusions & perspectives.....	45
10 Références.....	47

INDEX DES TABLES

Tableau 1: Coefficients de Strickler utilisés dans le modèle (les deux valeurs du coefficient de Strickler présentée correspondent respectivement au lit mineur et lit moyen).....	28
Tableau 2: Ouvrages et modélisation intégré dans le modèle Mage de Miribel-Jonage.....	32
Tableau 3: Caractéristiques des sédiments du Rhône à Jons utilisés pour la modélisation.	35
Tableau 4: Coefficients a, b et c pour les formules du coefficients de dispersion.	36
Tableau 5: Pourcentage du dépôt de chacune des classes de sédiments par rapport au dépôt total et en fonction du débit (dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud).....	40

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Localisation des sites pilotes et principaux ouvrages du Rhône aux alentours.....	7
Figure 2 : Localisation du site de Miribel Jonage sur le Rhône, Wikipedia (a) et aménagements hydroélectriques sur le Haut-Rhône français, Hydratec (b).....	8
Figure 3 : Confluence du Rhône (à gauche) et de l'Arve (à droite) chargée en sédiments à Genève. Photo : SIG, crue de l'Arve, août 2005.....	10
Figure 4: abaissement des plans d'eau de Verbois, Chancy-Pougny et Génissiat	13
Figure 5 : Site de Miribel-Jonage, Geoportail (a) et évolution de la zone de 1850 à 2000, CNR (b). 14	14
Figure 6 : Schéma du réseau hydraulique de Miribel-Jonage modélisé avec Mage.....	15
Figure 7: Usine hydroélectrique de Cusset.....	16
Figure 8: Barrage de Jons.....	16
Figure 9: Seuil de Villeurbanne.....	17
Figure 10: Vue aérienne du seuil (SM1), canal de Miribel aval, photo google (a) et photos du seuil SM1 (b).....	17
Figure 11: Photo du seuil sur le Canal de Miribel Amont (SM2).....	18
Figure 12: Lac des Eaux Bleues, Géoportail.....	18
Figure 13 : Représentation des différents ouvrages et des contraintes de débits sur la zone d'étude. 19	19
Figure 14: Exemple de bief sans aucune données issues de la Bdtopo (les profils fournis par la BDTopo sont représentés en bleu sur la figure en bas à droite).....	22
Figure 15 : Profil en long du Canal Sud d'après (a) le relevé bathymétrique 2006 et (b) les données de Burgeap 2001.....	23
Figure 16: Représentation du Rhône entre la frontière et Motz (a) en coordonnées relatives (abscisses/cotes) et avant ajout des nouvelles données, (b) en coordonnées géoréférencées xyz après ajout des nouvelles données.....	24
Figure 17: Débits et concentrations en MES utilisés pour cette étude.....	26
Figure 18 : Distribution granulométrique des MES à Jons lors de la chasse de 2003 (données CNR)	27
Figure 19: Épi à la diffluence entre le Vieux Rhône et le canal de Miribel.....	30

Figure 20 : Bras du Vieux-Rhône amont, entouré en noir, et bassins artificiels situés en rive droite et gauche.....	31
Figure 21: Section en travers du modèle Burgeap correspondant à la zone décrite Figure 20.....	32
Figure 22: dépôt de MES dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud réunis pour différents diamètres.....	38
Figure 23: Dépôt en tonnes des MES (dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud) en fonction des trois classes de diamètres ainsi que du débit transitant dans le canal de Miribel.....	39
Figure 24: Dépôts de MES en tonnes en fonction du diamètre et des différentes hauteurs de seuil (dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud).....	41
Figure 25: Masse déposée en kg/m ² dans différents bras de Miribel Jonage pour un débit réservé dans le canal de Miribel de 30 m ³ /s.....	42
Figure 26: Masse déposée en kg/m ² dans les différents bras du Vieux-Rhône et du Canal Sud pour un débit de 30m ³ /s.....	42
Figure 27: Masse déposée e, kg/m ² dans les différents bras du Vieux-Rhône et du Canal Sud pour un débit de 30m ³ /s en fonction des trois classes de diamètre étudié.....	43
Figure 28: Masse de MES déposée en kg/m ² sur l'ensemble des biefs dans le cas de la baisse de la hauteur du seuil de 50cm et de 1m, pour un débit de 30m ³ /s et un diamètre pondéré.....	44
Figure 29 : Schéma de récapitulatif des principaux résultats.....	45

Ce rapport concerne le site d'étude de Miribel-Jonage, zone de divagation du Rhône à l'amont de Lyon. Ce travail est effectué dans le cadre du projet Axelera PCB. Il fait partie d'un projet qui comprend l'étude et la modélisation de la totalité du Rhône français (voir Andries et al., 2012). Certaines informations de ce rapport ont été reprises ici, telles que l'introduction et le contexte de l'étude.

1 INTRODUCTION

1.1 *PROJET AXELERA PCB*

Le travail qui suit prend place au sein du programme Axelera, pôle de compétitivité à vocation mondiale « Chimie et Environnement Lyon & Rhône-Alpes », créé en 2005 par Arkema, le CNRS, GDF SUEZ, l'IFP Energies nouvelles et Rhodia.

Pour devenir le pôle industriel et scientifique leader européen en 2012, vitrine de l'innovation en chimie-environnement, Axelera rassemble et coordonne les acteurs de l'industrie, de la recherche et de la formation en chimie et en environnement. Sa stratégie de développement est axée sur 5 thématiques :

- la chimie-environnement au service des marchés d'application,
- la préservation des espaces naturels,
- le recyclage et la recyclabilité des matériaux,
- la chimie issue du végétal,
- l'usine du futur.

L'un des nombreux projets portés par Axelera, le projet PCB, a pour but le développement de moyens pour lutter contre la pollution du Rhône par les PCB. Le programme PCB-Axelera a été engagé en décembre 2008 par le ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, qui a confié au pôle de compétitivité Axelera le volet de recherche appliquée sur les techniques de dépollution de son plan national d'actions sur les PCB. Le programme de recherche PCB-Axelera, d'une durée de 40 mois et piloté par Suez Environnement, mobilise au total 30 partenaires autour de 16 actions. Le mois d'avril 2009 a marqué le coup d'envoi des 16 actions qui permettront à terme de fournir des solutions de dépollution efficaces des PCB dans les rivières.

L'action dans laquelle prend place notre étude, est intitulée : « Flux de PCB associés à la dynamique à différentes échelles des phénomènes de transport, de dépôts et de remise en suspension des sédiments fins. Application aux spécificités du Rhône. »

1.2 *LE GRAND LYON*

Au cœur de la région Rhône-Alpes, la communauté urbaine de Lyon regroupe 58 communes, 1,2 million d'habitants et s'étend sur 52 715 hectares. Créée en 1966, la communauté urbaine n'a vraiment vu le jour qu'en 1969 sous le nom de Courly. Depuis 1990, elle a pris le nom de Grand Lyon et intervient dans de nombreux domaines qui affectent la vie quotidienne de ses habitants, notamment la voirie, la propreté mais aussi les transports ou la gestion de l'eau.

Le Grand Lyon a été un partenaire privilégié dans ce projet, dû à son implication sur le Rhône au niveau de Lyon, pour, entre autre, l'alimentation en eau potable de la ville. En effet l'eau captée provient de la nappe d'alluvions récentes du Rhône, les alluvions étant dotées d'un excellent pouvoir filtrant vont naturellement épurer l'eau. C'est dans le cadre d'un travail commun qu'un site spécifique d'étude a été établi au niveau des champs captant situés dans une zone de divagation du Rhône.

1.3 TRAVAIL RÉALISÉ PAR IRSTEA

Cette action vise à mettre à profit les avancées récentes de la modélisation numérique hydro-sédimentaire pour analyser la dynamique des transferts de PCB dans les eaux et les sédiments fins d'un cours d'eau, à différentes échelles spatiales (de quelques centaines de mètres à plusieurs centaines de kilomètres). Les modalités de stockage et de reprise des sédiments fins sont examinées (casiers, zones situées entre les épis, lônes, etc.) sur la base d'analyses des volumes stockés dans les marges alluviales, et des effets de dépôt/reprise dans les retenues et les casiers. La modélisation est réalisée par des approches adaptées aux différentes échelles :

- une échelle globale à l'aide d'un modèle 1D permettant une modélisation du flux sédimentaire en MES sur le réseau hydrographique du Rhône ;
- une échelle locale à l'aide d'un modèle 2D (voire 3D pour certains cas tests), permettant une analyse des processus hydrosédimentaires locaux et la modélisation détaillée d'un ou deux site(s) pilote(s).

Dans le cadre de ce projet, l'équipe d'Irstea s'est impliquée dans la mise en place du modèle global pendant que l'équipe d'Artelia s'est focalisée sur la modélisation 2D et 3D de sites pilotes.

Une partie importante du travail consiste à obtenir les données nécessaires, en particulier la caractérisation des zones sources, puis des mesures hydrosédimentaires détaillées sur le site (topographie, qualité des sédiments, hydrométrie, concentrations), d'une part pour fournir les données d'entrées et d'autre part pour caler et valider les modèles. Le modèle 1D fournit les conditions aux limites du modèle 2D. Inversement, les résultats du modèle 2D permettent d'appréhender les termes « globaux » de dépôts/érosion à intégrer dans le modèle 1D.

L'estimation des quantités de PCB stockées dans les sédiments et des flux associés nécessite la connaissance des mécanismes de stockage et de transfert des sédiments fins dans le lit du Rhône, dans les casiers, les retenues ou dans les bras secondaires. Des mesures quantitatives, tant concernant le sédiment (évolution des dépôts, concentrations et flux de MES) que la présence de PCB, sont indispensables mais, par leur aspect ponctuel, ne suffisent pas pour appréhender le système dans toute sa complexité spatiale et temporelle.

À une échelle globale, la modélisation 1D permet d'évaluer la migration progressive vers l'aval des stocks sédimentaires et les temps de transit des sédiments fins contaminés. À une échelle fine (représentation très détaillée de la topo-bathymétrie) la modélisation 2D et 3D permet de bien appréhender les processus physiques de stockage/déstockage, les zones préférentielles de dépôt des sédiments dans la section d'écoulement, qu'il s'agisse du lit mineur ou du lit majeur et les effets des structures naturelles et artificielles sur la dynamique des MES et des PCB.

Le travail effectué par Irstea consiste à mettre au point un modèle 1D représentant le transport de sédiment sur le Rhône sur le long terme, ainsi que réaliser l'étude de deux sites pilotes :

- La lône du Beurre, situé à quelques kilomètres à l'aval de Vienne;
- Miribel Jonage, situé dans la partie Nord de l'agglomération Lyonnaise.

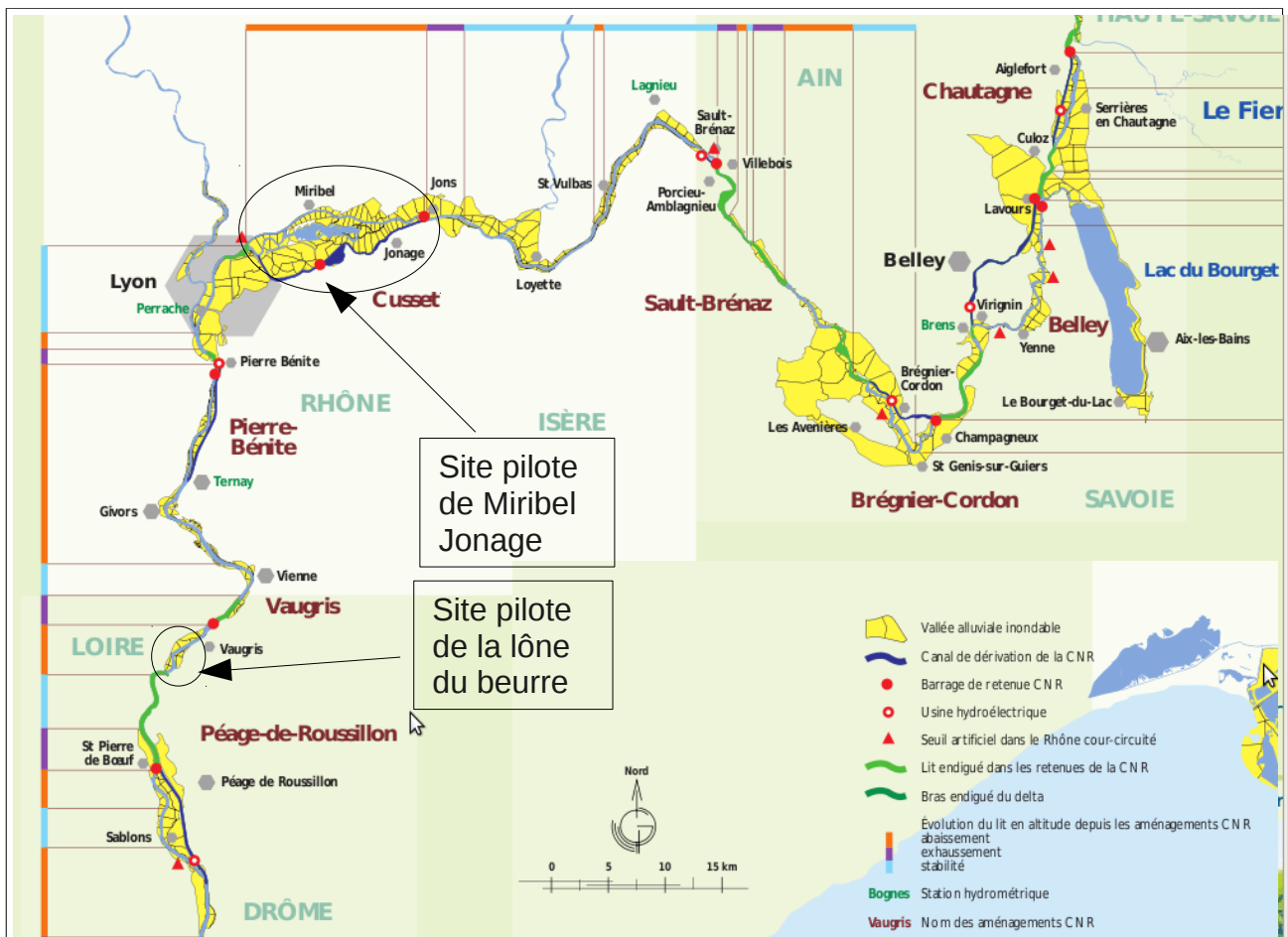


Figure 1: Localisation des sites pilotes et principaux ouvrages du Rhône aux alentours

Dans ce rapport, nous avons détaillé notre travail sur le site pilote de Miribel-Jonage. Dans cette ancienne zone de divagation du Rhône, qui a été chenalisée en plusieurs bras, se situe des captages d'eau potable qui permettent l'alimentation en eau de 80% de l'agglomération lyonnaise.

2 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

2.1 LE HAUT-RHÔNE

Le Rhône prend sa source dans le glacier du Rhône en Suisse. Il parcourt ainsi 290 km jusqu'à la frontière franco-suisse. Après 545 km sur le territoire français, il se jette dans la Mer Méditerranée au niveau du delta de Camargue. On parle de Haut-Rhône pour la région qui s'étend de Genève à Lyon (Figure 2.a).

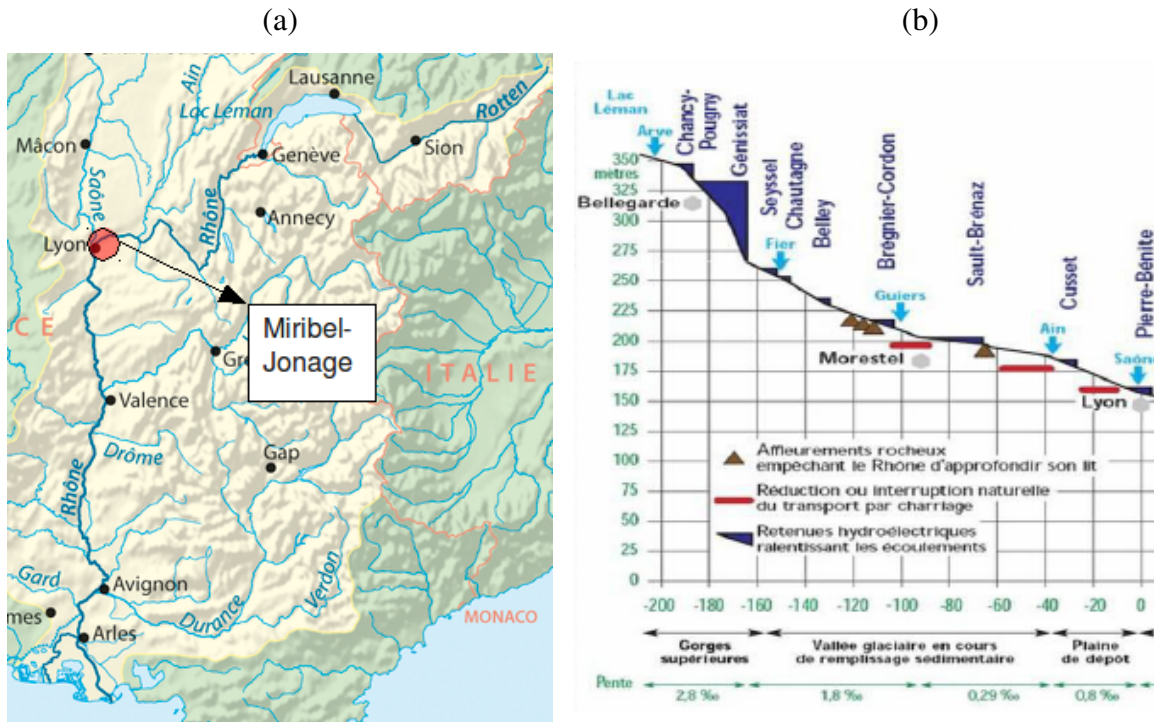


Figure 2 : Localisation du site de Miribel Jonage sur le Rhône, Wikipedia (a) et aménagements hydroélectriques sur le Haut-Rhône français, Hydratec (b)

Le Haut-Rhône est caractérisé par de nombreux aménagements d'ouvrages hydroélectriques, et par deux installations nucléaires (celle de Creys-Malville et celle de Bugey) situées sur les rives, prélevant de l'eau pour assurer leur refroidissement. Le régime hydraulique du Rhône est caractérisé par :

- des maxima automnaux liés aux pluies méditerranéennes,
- des maxima printaniers en raison de la fonte des glaces.

La diversité de son bassin versant se traduit par :

- des apports alpins soutenus,
- des apports océaniques à crues lentes,
- des apports méditerranéens et cévenols à crues violentes d'automne et d'étiages sévères d'été.

Il en résulte un régime hydrologique très complexe et une grande diversité dans la formation des crues et de leur déroulement. Hors crues, on considère un débit inférieur à 335 m³/s au barrage de Chancy-Pougny et à 460 m³/s au niveau du barrage de Sault-Brénaz. La valeur caractéristique d'une crue annuelle du Haut-Rhône au niveau de Chancy-Pougny est de 700 m³/s. (cf. rapport M. Wolf, Irstea 2011).

La dynamique fluviale naturelle du Haut-Rhône et de ses affluents, et la structure des pentes, sont fortement marquées par l'héritage des dernières glaciations. On retrouve la présence de lacs au niveau de zones surcreusées (Lac d'Annecy, Lac Léman, Lac du Bourget). Le transit sédimentaire couvre une large gamme de matériaux à travers deux modes :

- le transport par charriage sur le fond des alluvions grossières (blocs, galets, graviers, sables grossiers),
- et le transport en suspension des sédiments fins (sables fins, limons, argiles).

Avant les grands aménagements hydroélectriques sur le cours du Rhône, les graviers et galets façonnaient le lit du fleuve et constituaient le transit sédimentaire actif. Les MES jouaient un rôle secondaire dans les marges alluviales. Aujourd'hui, seuls les sables jouent un rôle actif dans la dynamique sédimentaire du littoral. Les aménagements CNR contribuent à perturber le régime des pentes dans les retenues et des débits dans les tronçons court-circuités (Figure 2.b). L'aménagement général du Haut-Rhône par la CNR a débuté en 1948 avec la mise en eau du barrage de Génissiat. Le transport solide actuel sur le Haut-Rhône se traduit par le déplacement de près de 100 000 à 110 000 m³ de matériaux grossiers par charriage et de 1,9 à 4,5 Mt de MES. On peut retenir en général pour le Haut-Rhône un transport solide de l'ordre de 1,3 Mm³/an, sachant que pour les chasses de 2012, un apport de 1,7 M m³ est prévu. L'étude porte sur le site de Miribel-Jonage localisé juste en amont de la ville de Lyon (Figure 2.a).

2.2 CHASSES DU RHÔNE À L'AVAL DE GENÈVE

En Suisse à Genève, où le barrage de Chèvres est situé aux abords de la ville, le dépôt de sédiment augmente le risque d'inondation d'une partie de la ville. On observe en effet des apports très importants en sédiments fins provenant de l'Arve dont la confluence est située dans le commune de Genève. De ce fait, des chasses régulières sont nécessaires pour éviter le comblement des retenues et conserver la capacité des réservoirs, ainsi que limiter le risque d'inondation des bas quartiers de Genève. Jusqu'à 2003, les chasses étaient réalisées tous les trois ans. Pour différentes raisons (stratégique, écologique économique et politique), il n'y a pas eu de chasses entre 2003 et la chasse suivante de juin 2012. Après 9 ans sans chasse, les enjeux et les conséquences de cette chasse se sont donc amplifiés, notamment en ce qui concerne les flux de sédiments fins et leurs impacts.

L'aménagement du Rhône genevois, qui a débuté en 1896 avec la création du barrage de Chèvres à l'aval de Genève, a modifié le transit des matériaux entre Genève et les embouchures du fleuve sur la Mer Méditerranée. L'Arve apporte de 1 à 2 Millions de tonnes par an de matériaux minéraux fins au Rhône. Ce transport solide est considéré comme le plus gros apport de matériaux au Haut-Rhône (Figure 3).



Figure 3 : Confluence du Rhône (à gauche) et de l'Arve (à droite) chargée en sédiments à Genève. Photo : SIG, crue de l'Arve, août 2005

Cette rivière au caractère torrentiel a un fort pouvoir érosif. Ces matériaux, principalement des fines en provenance des glaciers du massif du Mont-Blanc s'accumulent en grande partie dans la retenue de Verbois. Il est indispensable d'en assurer régulièrement le transit. En effet, il faut éviter le relèvement préjudiciable des lignes d'eau en crue (inondations de la ville de Genève) et le comblement de la retenue suisse de Verbois. Les chasses sont réalisées entre la fin du printemps et le début de l'été afin qu'elle se déroule dans des conditions optimales (CNR, 2003) :

- les débits doivent être suffisamment élevés pour assurer l'efficacité des chasses,
- les impacts sur le milieu naturel, et notamment la faune piscicole, doivent être minimisés,
- les chasses ne doivent pas empiéter sur la haute saison touristique.

Les conditions hydrauliques idéales pour assurer l'évacuation des MES des retenues de Verbois et Chancy-Pougny, et le transit de ces matériaux au travers des retenues françaises aval sont :

- un débit minimal de 500 à 600 m³/s à l'aval de l'Arve pendant une période de plusieurs jours pour assurer les chasses des retenues suisses,
- un niveau du Lac Léman suffisamment élevé pour moduler convenablement le débit, notamment pour le remplissage des retenues en fin d'opération.

Il est également nécessaire d'assurer l'alimentation en eau de la centrale nucléaire EDF du Bugey par un débit minimal de 140 m³/s , pour son refroidissement.

2.3 HISTORIQUE DES CHASSES

Les premières opérations de chasses des sédiments furent mises en place dès 1913 sur le barrage de Chèvres, en aval immédiat de la ville de Genève (CNR, 2010).

En 1944, la retenue de Verbois est mise en eau. Durant cette période, la direction des opérations se tient en Suisse. Le barrage de Génissiat est mis en eau après la seconde guerre mondiale, en 1948. L'objectif pour les exploitants français est alors d'éviter le stockage massif de sédiments dans les retenues. Les meilleures conditions de transit sont mises en œuvre pour éviter des dommages à l'environnement, en tenant compte des besoins des différents usagers du Rhône et des prescriptions contenues dans les cahiers des charges spéciaux des chutes. Cependant, au cours des 9 chasses suivant la mise en service de Génissiat, d'énormes pollutions du fleuve sont observées (CNR,

2010). Celles-ci seraient dues aux rejets des égouts de la ville de Genève directement dans le fleuve. En 1968, plusieurs Stations d'épuration des eaux usées (STEP) sont installées près du Rhône. Des accords franco-suisses concernant les modalités de chasses et notamment le respect d'une périodicité de trois années, sont établies en 1967.

Lors des chasses de 1972 et 1975, une nette amélioration des taux d'oxygène dissous et des taux de NH₄ a été constatée. La pollution des eaux en aval de Lyon fut quasiment éliminée. Les chasses de 1978 ont été marquées par la vidange quasi-complète de la retenue de Génissiat à l'occasion de la première visite décennale du barrage de Génissiat. Malheureusement, une brutale rétention de débit à Chancy-Pougny a provoqué un abaissement exagéré du niveau de Génissiat. Consécutivement à cet abaissement brutal et aux fortes vitesses d'écoulement qui en ont résulté, des effondrements massifs de murs de vase dans la retenue ont provoqué des pollutions minérales et organiques conséquentes, avec respectivement des pointes de 110 g/l de MES et une valeur nulle de l'oxygène dissous à Seyssel pendant plusieurs heures. Les répercussions de cette opération ont été désastreuses pour l'ensemble du fleuve, avec des mortalités piscicoles particulièrement intenses et perceptibles jusqu'à Lyon.

Avec le bilan déplorable de la précédente chasse, des dispositions strictes ont commencé à voir le jour lors de la chasse de 1981. Bien que les contraintes concernant les concentrations de MES aient été respectées, une majorité des sédiments évacués de Verbois continuent de combler la retenue de Génissiat. Des études poussées ont été réalisées afin de fixer des critères stricts pour la chasse de 1984, de manière à éviter des dépôts trop importants dans les retenues en aval de Verbois, tout en limitant les concentrations en MES pour préserver la faune et la flore aquatique. Cette chasse fut plus longue afin d'assurer une meilleure dilution et un meilleur contrôle des MES.

La chasse de 1987 a été marquée par de forts débits naturels. Commencée dans des conditions difficiles, cette chasse a dû, conformément aux consignes, être interrompue par suite des conditions hydrologiques qui ont rendu impossible le transit des sédiments par la vanne de fond de Génissiat. Aucun impact majeur sur l'environnement n'a été signalé. Lors de la chasse de 1990, l'envasement de l'amont du barrage de Génissiat était tel que les eaux évacuées par la vanne de demi-fond étaient très chargées et ne permettaient plus d'opérer la dilution dans le flux aval.

Un dragage préalable a permis que la chasse de 1993 soit globalement satisfaisante, malgré un taux de rendement faible : sur 1 350 999 tonnes de matériaux entrés dans la retenue de Génissiat, seuls 700 000 tonnes en sont ressorties, soit environ 52 %.

En 1997, le niveau du Lac Léman est inférieur à l'objectif visé et le débit prévu de 600 m³/s n'a pu être atteint (CNR, 1997). De plus, des pêches de sauvetage préventives ont été réalisées sur le Vieux-Rhône de Chautagne mais aucune mortalité massive de poissons n'a été constatée. Lors de cette chasse, l'abaissement de la retenue de Génissiat a été effectué précédemment à ceux des retenues suisses amont.

La chasse de 2000 a nécessité un dragage préalable de l'entonnement de la vanne de demi-fond du barrage de Génissiat (CNR, 2000). Cette opération a permis une bonne dilution des MES par le jeu des vannes de demi-fond et de fond.

Enfin les dernières opérations se sont tenues en mai 2003. Cette chasse s'est bien déroulée malgré une situation hydrologique déficitaire et un petit épisode de crue sur l'Arve et le Fier. Vingt chasses on ainsi été effectuées depuis 1942 et jusqu'en mai 2003.

Pour des raisons administratives, la chasse de 2006 a été annulée. La chasse de 2009 a été repoussée en 2010 puis 2012. La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), service instructeur pour l'accompagnement des chasses suisses sur les ouvrages français,

a posé le cadre réglementaire. La consigne générale des mesures d'accompagnement des chasses suisses est mise en œuvre par la CNR sous le contrôle de la DREAL Rhône-Alpes.

2.4 CADRE ADMINISTRATIF DE LA CHASSE DE MAI 2012

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), adoptée le 23 octobre 2000, permet à l'Union Européenne d'organiser la gestion des eaux intérieures de surface, souterraines, de transition et côtières (CNR, 2010). Ceci en vue essentiellement de prévenir et de réduire leur pollution. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône-Méditerranée (SDAGE), mis à jour en 2009, répond aux ambitions de la DCE en constituant un outil de mise en œuvre. Le SDAGE fixe les objectifs pour chaque masse d'eau du bassin (plans d'eau, tronçons de cours d'eau, estuaires, eaux côtières, eaux souterraines). Plusieurs masses d'eau, superficielle et souterraines, sont définies dans la DCE pour le Haut-Rhône, de la frontière franco-suisse à la confluence avec la Saône. Atteindre le « bon état » en 2015 est un des objectifs généraux. L'état écologique et chimique de ces masses d'eau est estimé, notamment à travers :

- les concentrations en métaux,
- HAP et PCB,
- le taux d'oxygène dissous,
- le taux d'ammonium,
- l'eutrophisation,
- la bactériologie,
- et les MES.

Les MES constituent le principal paramètre déclassant sur l'ensemble des stations de la zone d'étude. Une attention particulière leur est portée car il s'agit du plus potentiellement impactant lors des prochaines opérations de chasses. La mesure de la concentration en MES est réalisée tout au long des chasses du Rhône afin de respecter les contraintes d'environnement et de sécurité imposées au niveau du barrage de Seyssel :

- 5 g/l en moyenne,
- 10 g/l pendant 6 heures maximum,
- 15 g/l maximum absolu pendant 30 minutes.

Le calendrier des opérations d'accompagnement de la chasse suisse de juin 2012 a été établi. Les manœuvres se sont déroulées les semaines 23 et 24 (du 4 au 18 juin). Un repli possible avait été prévu, en cas de conditions hydrologiques défavorables, avec un décalage d'une semaine (semaines 24 et 25, du 11 au 25 juin). Ce décalage n'a pas eu lieu. Les manœuvres ont débutées sur les retenues françaises avec Génissiat, suivi de l'ensemble des autres aménagements CNR en aval. Ces opérations nécessitent une collaboration étroite entre les SIG et la CNR pour l'élaboration du programme des opérations et des documents de communication. Les opérations d'accompagnement des chasses suisses se déroulent en deux phases : (Figure 4)

1. D'abord, les plans d'eau des différentes retenues sont abaissés, ce qui contribue au transit des sédiments. Au cours de cette première phase, la retenue de Génissiat est abaissée en premier afin d'être vidangée avant l'arrivée des matériaux issus des retenues suisses amont, puis les retenues suisses de Verbois et Chancy-Pougny sont abaissées à leur tour.

2. Puis, les retenues sont remontées à leur cote d'exploitation normale, ce qui contribue à une décantation des MES dans les retenues où elles sont piégées (Figure 4) (CNR, 2010). Lors de cette deuxième phase, on remarque la remontée préalable et par palier de la retenue de Génissiat. Ce processus permet le transit des matériaux suisses vers l'aval.

L'ensemble des manœuvres d'abaissement des plans d'eau gérés par la CNR vise à faire transiter, vers l'aval, un volume équivalent au volume de MES ayant franchi la frontière franco-suisse (CNR, 2010). Lors de ces opérations, les écluses de navigation de plaisance de Chautagne, Savières et Belley sont fermées et interdites à la navigation pendant toute la durée de l'opération. À la cote 320 m NGF, les groupes hydroélectriques de Génissiat sont arrêtés. L'essentiel de l'évacuation du débit se fait par la vanne de fond. L'ouverture de cette vanne engagera le démarrage du transit de MES. Un réglage des débits transitant par les vannes de fond et demi-fond permet de doser le flux de MES envoyé à l'aval. Il est ainsi possible de contrôler les taux prévisibles au pont de Seyssel où se trouve la station de référence.

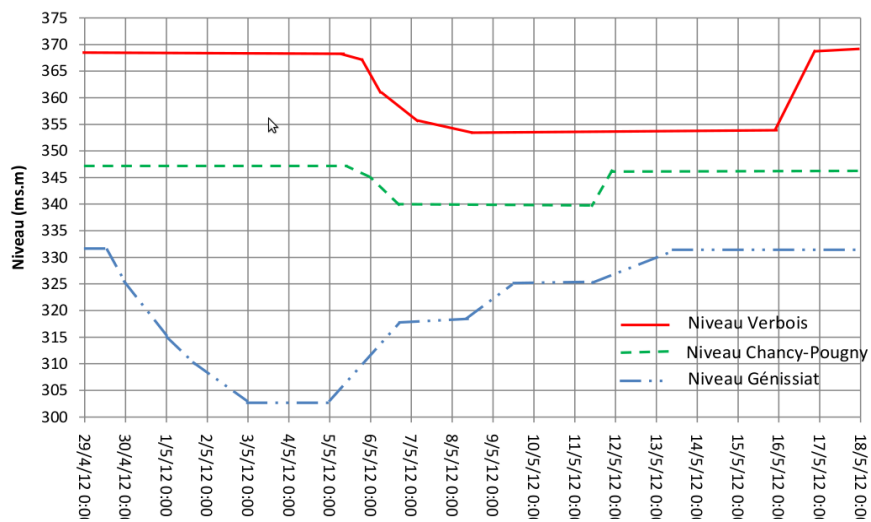


Figure 4: abaissement des plans d'eau de Verbois, Chancy-Pougny et Génissiat

3 ZONE D'ÉTUDE DE MIRIBEL-JONAGE

Le principal impact des chasses sur la zone de Miribel-Jonage est le colmatage du fond du lit, ce qui a pour conséquence de diminuer l'infiltration d'eau au niveau des champs captant et donc de diminuer la recharge de la nappe phréatique. Nous allons décrire ci-dessous différents scénarios de gestion des ouvrages hydrauliques présents aux environs de la zone pour éviter ou diminuer le colmatage du lit par les MES lors des chasses.

3.1 PROBLÉMATIQUE

Le système de Miribel-Jonage est une ancienne zone de divagation du Rhône. Elle se situe dans une zone de faible pente qui a été chenalisée en un système complexe de plusieurs bras (Figures 2 et 5). Dans cette zone, sont localisés plusieurs ouvrages hydrauliques sur différents bras, ainsi que des captages d'eau potable permettant 80% de l'alimentation en eau potable de la ville de Lyon.

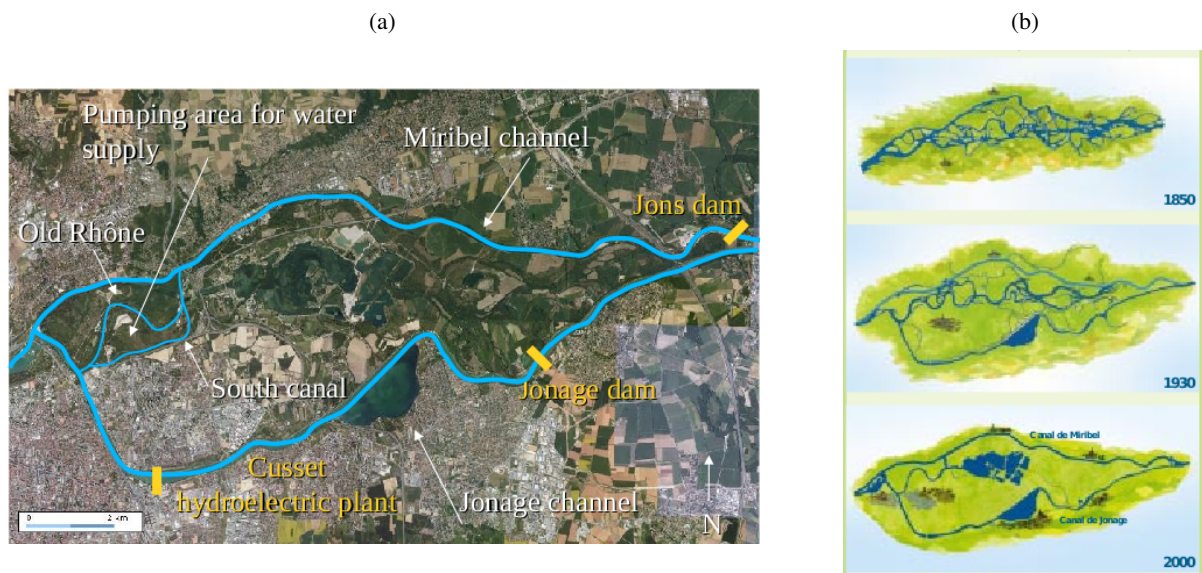


Figure 5 : Site de Miribel-Jonage, Geoportail (a) et évolution de la zone de 1850 à 2000, CNR (b)

Nous allons nous préoccuper dans la suite de l'étude du risque de dépôt de sédiments fins dans le bras du Vieux-Rhône, situé au cœur des captages d'eau potable (Figure 6), lors d'une chasse du Rhône. Pour cela nous allons étudier différents scénarios de gestion des ouvrages hydrauliques de la zone et en évaluer l'impact sur le dépôt de sédiments, en utilisant les conditions de flux de la chasse de 2003.

En utilisant le modèle hydraulique 1D Mage et le modèle de transport de sédiments Adis-Ts (modèles Irtsea), l'objectif est de définir la meilleure gestion possible des ouvrages hydrauliques présents sur la zone pour minimiser le dépôt de sédiments sur la zone de captage. Deux options principales sont proposées :

- minimiser l'entrée de matière en suspension (MES) en diminuant le débit entrant dans le Vieux-Rhône le temps de la chasse,

- minimiser le dépôt de sédiment dans le Vieux-Rhône en augmentant la vitesse.

Chacun de ces scénarios requiert une gestion spécifique des ouvrages hydrauliques et la modification ou construction de nouveaux ouvrages peut être envisagée.

3.2 RÉSEAU HYDRAULIQUE

Le réseau hydraulique correspondant au site de Miribel-Jonage est présenté en Figure 6. Les différents bras de la zone d'étude sont identifiés comme suit :

- JNS-VR2 : Canal de Jonage
- JNS-NEY : Canal de Miribel Amont
- NEY-JAV : Canal de Miribel Aval
- NEY-CS1 : Vieux-Rhône Amont
- CS1-CS2 : Vieux-Rhône Intermédiaire
- CS1-CS2 : Canal Sud
- CS2-VR2 : Vieux-Rhône Aval
- VR2-JAV : Canal de Jonage Aval
- JAV-BPN : Rhône Seuil de Villeurbanne

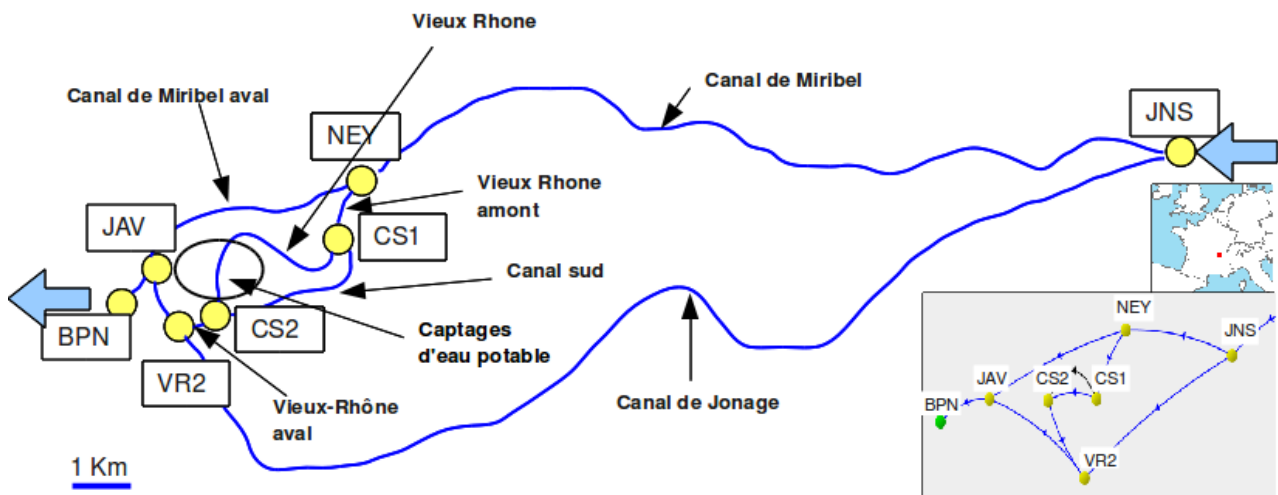


Figure 6 : Schéma du réseau hydraulique de Miribel-Jonage modélisé avec Mage.

3.3 CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES

On dénombre trois ouvrages hydrauliques localisés dans le système de Miribel-Jonage qui influencent le débit dans le Vieux-Rhône :

- L'usine hydroélectrique de Cusset est située sur le Canal de Jonage (Figure 13). Pour permettre son bon fonctionnement, cette usine accepte un débit maximum de 640 m³/s et un débit minimum de 90 m³/s.

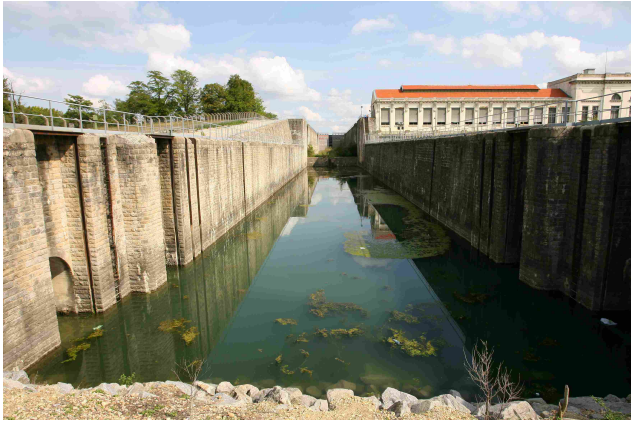


Figure 7: Usine hydroélectrique de Cusset

- A l'amont du Canal de Miribel est localisé le barrage de Jons (Figure 8, voir la localisation Figure 13), qui contrôle le débit entrant dans le canal de Miribel. Dans le cas où le Rhône aurait un débit supérieur à $640 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit maximum accepté par le Canal de Jonage) le barrage permet de diriger l'excès de débit dans le Canal de Miribel.



Figure 8: Barrage de Jons

- A l'aval du système (point BPN de la Figure 6) se trouve un seuil qui a une forte influence sur l'écoulement à l'aval du système, en particulier dans le tronçon du Vieux-Rhône Aval où il peut induire de très faibles vitesses.



Figure 9: Seuil de Villeurbanne

On peut également noter la présence de deux autres seuils situées pour l'un dans le Canal de Miribel Aval (noté SM1 dans Mage, Figure 10) et pour l'autre dans le Canal de Miribel Amont (noté SM2 dans Mage, Figure 11).

(a)



(b)



Figure 10: Vue aérienne du seuil (SM1), canal de Miribel aval, photo google (a) et photos du seuil SM1 (b).



Figure 11: Photo du seuil sur le Canal de Miribel Amont (SM2)

En dehors des périodes de crue ou de sécheresse, le débit transitant dans le Canal de Miribel est de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit transitant dans le canal de Miribel est lié au niveau d'eau dans le lac des Eaux Bleues (Figure 12). Si le niveau du lac est supérieur à une certaine cote fixée, alors le débit dans Miribel sera de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, sinon de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit est le débit minimum qui permet de respecter la faune et la flore des lieux ainsi que de maintenir l'alimentation de la nappe dans laquelle les captages d'eau potable pompent.



Figure 12: Lac des Eaux Bleues, Géoportail.

Pour résumer les débits à respecter dans les deux canaux sont :

- débit dans le Canal de Miribel $\geq 60 \text{ m}^3/\text{s}$, ou parfois débit $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,
- débit dans le Canal de Jonage : $90 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 640 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il y a trois difffluences entre le début de notre zone d'étude et l'arrivée dans le Vieux-Rhône (Figure 13) :

- au point JNS : le barrage de Jons permet la distribution des débits entre les deux canaux,
- au point NEY : la répartition naturelle des débits est réglée par un épi fixe (dépend à la fois de la géométrie et de la pente de chaque bras et est tributaire des conditions d'écoulement à l'aval),

- au point CS1 : répartition naturelle des débits (de même que précédemment, la répartition dépend à la fois de la géométrie, de la pente, et des conditions d'écoulement à l'aval).

Donc, si pendant la chasse on veut jouer sur le débit transitant dans le Vieux-Rhône, c'est seulement au niveau du barrage de Jons que l'on pourra intervenir. Une modification du débit dans le Vieux-Rhône signifiera obligatoirement une modification du débit à l'amont dans le Canal de Miribel (ainsi que dans le Canal de Jonage).

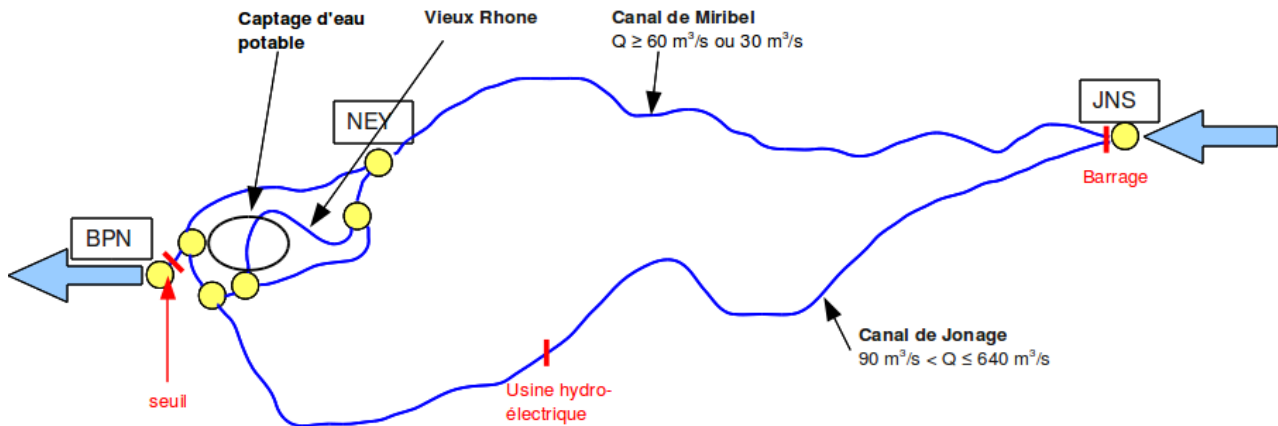


Figure 13 : Représentation des différents ouvrages et des contraintes de débits sur la zone d'étude

3.4 COLMATAGE ET CAPTAGES

La zone de captage d'eau potable est située de part et d'autre du Vieux-Rhône (Figure 13). La nappe phréatique dans laquelle puisent les captages est alimentée par infiltration de l'eau provenant du Vieux-Rhône. Si la concentration et le dépôt de sédiment dans le Vieux-Rhône est important alors la capacité d'infiltration à travers le fond va diminuer et la capacité en eau potable également. Ce phénomène est d'autant plus marqué à cause de :

- la faiblesse de la vitesse due à la faible pente (moyenne de 0,3% sur la zone et localement 0,04%) et au retour hydraulique du seuil BPN,
- l'effet de succion dû aux pompages.

Ces caractéristiques favorisent le colmatage du lit dans le Vieux-Rhône.

Le colmatage du Vieux-Rhône intervient lors des épisodes de chasse du Rhône mais également lors de crues naturelles. En effet, lors de crues naturelles, la concentration en sédiments peut s'avérer élevée. Nous allons toutefois baser notre étude sur la chasse de 2003 pour laquelle nous possédons des données. Mais les conclusions et les propositions de gestion peuvent tout aussi bien être valable dans le cadre d'une crue.

Avant la chasse de 2003, il n'y avait pas de suivi scientifique sur les dépôts de sédiments fins dans Miribel-Jonage. En 2004, une étude sur le colmatage de la zone relevait un important dépôt de sédiments fins dans le Vieux-Rhône (Burgeap). À la suite de quoi une coûteuse opération de nettoyage mécanique a été réalisée en 2007. Lors de cette opération il a été observée une infiltration de vase jusque sur 3 m d'épaisseur. Finalement il est impossible d'être sûr que les chasses sont la seule cause de colmatage. Les crues peuvent également jouer un rôle important.

4 STRATÉGIES POUR MINIMISER LE COLMATAGE DU LIT

4.1 MINIMISER L'ENTRÉE DE MATIÈRES EN SUSPENSION

La première option, pour minimiser le dépôt de sédiment dans le Vieux-Rhône, est de minimiser l'entrée de MES et donc de minimiser le débit entrant. En effet si le débit est très faible la quantité de sédiment entrante sera faible. Par contre si le débit est faible, la vitesse sera également faible et donc le peu de sédiment présent risque de se déposer en grande proportion.

Grâce au barrage de Jons, il est possible de réduire le débit entrant dans le Canal de Miribel et donc dans le Vieux-Rhône. Par contre il est impossible de réduire le débit dans le Canal de Miribel si le débit du Rhône est très supérieur à 640 m³/s, le Canal de Jonage ne pouvant accepter qu'un débit maximum de 640 m³/s.

Cependant, cette solution ne permet pas d'éviter l'influence par l'aval du Canal de Jonage. En effet dans les conditions normales ($Q_{\text{Miribel}} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_{\text{Jonage}} < 640 \text{ m}^3/\text{s}$), le Canal de Jonage influence par l'aval le débit dans le Vieux-Rhône. Donc si le débit dans le Vieux-Rhône est inférieur à la normale, l'influence du Canal de Jonage va être encore plus importante, avec un retour d'eau de l'aval significatif. Ceci est d'autant plus problématique au vu de la présence d'une station d'épuration située sur le Canal de Jonage Aval.

4.2 MINIMISER LE DÉPÔT DE MATIÈRES EN SUSPENSION

Trois options sont possibles pour minimiser le dépôt de MES dans le Vieux-Rhône :

- La première option consiste à minimiser le dépôt de sédiments dans le Vieux-Rhône en augmentant le débit dans le but d'augmenter la vitesse, ce qui a pour conséquence que les MES déposent moins. Augmenter le débit dans le Vieux-Rhône signifie augmenter le débit dans le Canal de Miribel, et diminuer le débit dans le Canal de Jonage (tout en respectant la limite de $Q_{\text{Jonage}} > 90 \text{ m}^3/\text{s}$). Une diminution du débit dans le Canal de Jonage implique une diminution du débit turbiné et donc une baisse de la production hydro-électrique pour EDF.
- La deuxième option consiste à modifier le seuil BPN pour diminuer le niveau d'eau dans le « Rhône Seuil de Villeurbanne » et ainsi augmenter la vitesse et diminuer le risque de retour d'eau. En effet, les faibles vitesses observées à l'aval du fait de la présence du seuil de Villeurbanne participent à l'augmentation du dépôt de sédiment dans ce bras. Actuellement le seuil ne peut pas être modifié, il faudrait donc prévoir la construction d'un nouvel ouvrage ou des modifications importantes sur l'existant. Cette écluse, ou un nouvel ouvrage, pourrait permettre de diminuer la ligne d'eau dans les trois bras du Vieux-Rhône et ainsi augmenter la vitesse.
- Enfin, la dernière option est de procéder, après la chasse du Rhône, à une chasse du Vieux-Rhône à l'eau claire, pour remettre en suspension les sédiments déposés lors de la chasse. Cette chasse à l'eau claire s'effectuerait donc après la chasse du Rhône à proprement parler par l'intermédiaire du barrage de Jons qui permettrait de faire passer un fort débit peu chargé en MES dans le canal de Miribel, et ainsi dans le Vieux-Rhône. L'avantage de cette solution est que le temps durant lequel l'usine hydro-électrique de Cusset tourne au ralenti est moindre que si le basculement du débit se fait durant toute la durée de la chasse du Rhône.

4.3 **SCÉNARIOS DE GESTION**

Concrètement les différentes stratégies pour limiter le dépôt de MES se traduisent par :

- Faire varier le débit dans le canal de Miribel autour du débit habituel de 60 m³/s. On choisit donc de travailler avec les cinq débits suivants, 30, 60, 90, 150 et 210 m³/s;
- Faire varier la hauteur du seuil BPN, en la diminuant de 50 cm puis de 1m ;
- Effectuer un rinçage à l'eau claire sur dans le canal de Miribel et dans le Vieux-Rhône après la période de la chasse hydraulique.

5 RECUEIL DES DONNÉES

5.1 DONNÉES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMÉTRIQUES

Pour la mise en place de notre modèle hydraulique de Miribel-Jonage, nous avons eu recours à différentes sources de données topographiques et bathymétriques.

5.1.1 ORIGINE DES DONNÉES

Pour une grande partie de la géométrie du lit et de la rivière, nous avons utilisé les données de l'IGN issues de la Banque de Données Topographiques Rhône (BDT Rhône). Par l'intermédiaire de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, l'IGN a regroupé le maximum de données disponibles sur le Rhône auprès des différents acteurs tels que la CNR, EDF, VNF. Ainsi nous avons pu construire la majorité du modèle à partir de données fiables.

Cependant certains secteurs n'étaient pas couverts par la BDT Rhône, tel que le Vieux Rhône Amont et le Canal Sud (voir Figure 14). Sur ces secteurs nous avons donc utilisé les informations topographiques de Burgeap, qui avait construit un modèle de la zone en 2001.

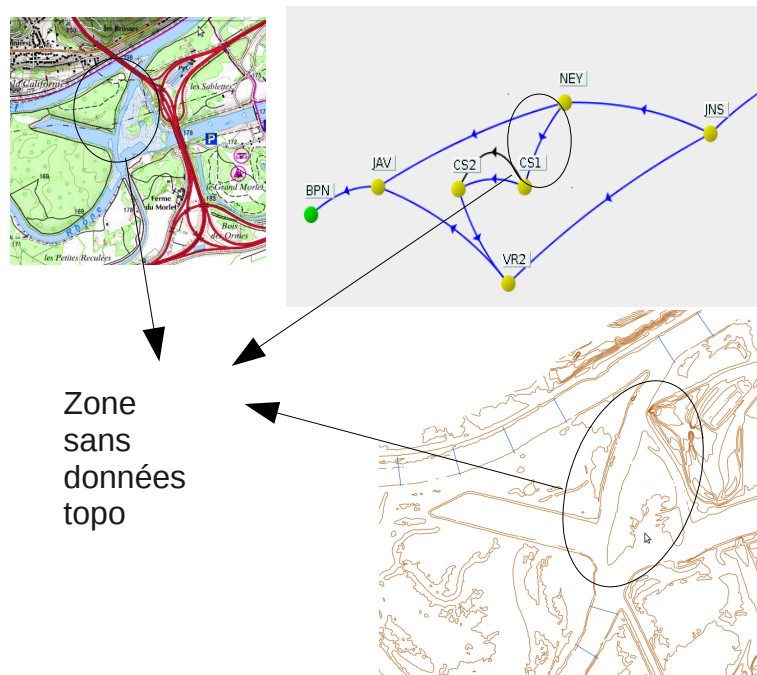


Figure 14: Exemple de bief sans aucune données issues de la Bdtopo (les profils fournis par la BDTopo sont représentés en bleu sur la figure en bas à droite).

Nous avons également eu accès à des données bathymétriques du Canal Sud par le Grand Lyon. Cependant, le levé bathymétrique ayant une précision altimétrique de 50 cm, le profil en long est en « marche d'escalier » (voir Figure 15a), ce qui est donc source d'imprécisions. De plus, nous n'avons pas d'informations sur les berges complémentaires à ce levé bathymétrique ; il faudrait donc faire une approximation de la hauteur et de la pente des berges pour compléter les profils en travers. Le levé bathymétrique étant plus récent que les données de Burgeap (2006 contre 2001), nous avons

pris le temps d'observer les deux profils en long, pour voir si en 5 ans une évolution importante du canal sud était avérée, et si les données bathymétriques du Grand Lyon étaient intéressantes à intégrer au modèle (voir Figure 15).

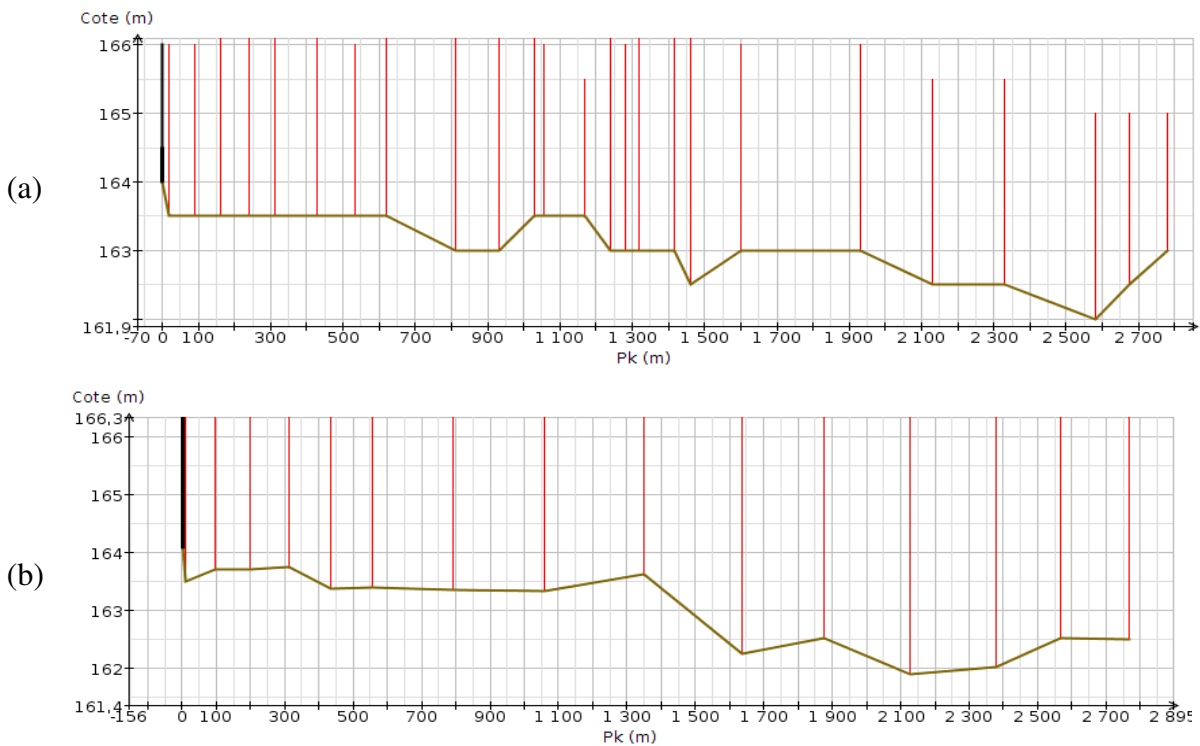


Figure 15 : Profil en long du Canal Sud d'après (a) le relevé bathymétrique 2006 et (b) les données de Burgeap 2001.

Globalement, il apparaît que le profil en long n'a pas beaucoup évolué avec des évolutions globalement inférieures à 30cm. Étant donné les imprécisions liées aux données issues du levé bathymétrique (peu de précision altimétrique et pas de données concernant les berges), nous avons décidé de travailler avec les données Burgeap.

Nous avons également complété ces données par des mesures topographiques de terrain, que nous avons réalisées avec les techniciens de Irtsea. Ces mesures ont été effectuées sur le Vieux Rhône, au niveau des bras du Vieux Rhône Amont, du Vieux Rhône et du Canal Sud, pour permettre de mieux modéliser les difffluences entre les différents bras.

La topographie de la BDT Rhône a donc permis de compléter légèrement les données de Burgeap 2001 sur le Vieux-Rhône. En comparant cet ensemble de données avec nos mesures de terrain, nous pouvons évaluer l'évolution du lit depuis 10 ans. Les différences topographiques observées sont les suivantes :

- Pour le Canal Sud où nous nous sommes basés sur les données Burgeap de 2001 : on remarque un exhaussement à l'entrée du Canal Sud de l'ordre d'un demi mètre. A l'embouchure la topographie de 2001 donnait le fond du lit à une altitude de 163,6 m tandis que nos mesures donnent 164,1m, soit 50cm de plus. Pour le deuxième profil réalisé 10 mètre plus loin, les altitudes sont similaires à celles de 2001, à savoir une altitude de fond du lit de 163,5m.

- Pour le Vieux Rhône, où nous avons peu de données issues de la BDT Rhône, nous avons utilisé un mélange des deux jeux de données en privilégiant le plus récent (2006) si deux profils proches étaient vraisemblablement incohérents entre eux (différence d'altitude importante, etc.). Nous disposons, sur le Vieux Rhône, de deux profils mesurés sur le terrain par Irstea en 2010 : un à 50 m de la diffluence avec le canal sud et l'autre au niveau du lieu dit « la plage », soit à 1800 m de la diffluence. On observe pour le profil à la diffluence un très fort exhaussement de 2,60 mètres. Ceci correspond à la formation du dépôt de gravier à l'entrée du Vieux-Rhône. Nous avons donc confirmation que celui-ci a grossi depuis 10 ans. Le profil réalisé à la plage est quant à lui cohérent avec les données du modèle 2001, avec peu de changement de géométrie et d'altitude.

On en déduit donc qu'en dix ans un important dépôt de graviers s'est créé ou s'est intensifié à l'entrée du bras du Vieux Rhône, et qu'un léger exhaussement est également apparu à l'entrée du Canal Sud.

5.1.2 PROBLÈMES ET LIMITES

- Système de coordonnées

Les différentes données topographiques n'étant pas dans le même repère, de légères modifications et de légères erreurs de conversion sont possibles. En effet les données de la BDT Rhône sont géoréférencées et exprimées en Lambert 93. Pour chaque point d'un profil un jeu de coordonnées X, Y et Z permet une localisation spatiale du tracé du Rhône (voir Figure 16b) tandis que les données de Burgeap sont exprimées, pour chaque point, en coordonnées « relatives » : abscisses/côte associées à un point kilométrique qui permet de savoir à quelle distance de l'extrémité du bief nous sommes. Les coordonnées Burgeap ne sont donc pas localisées spatialement dans un système (voir Figure 16a).

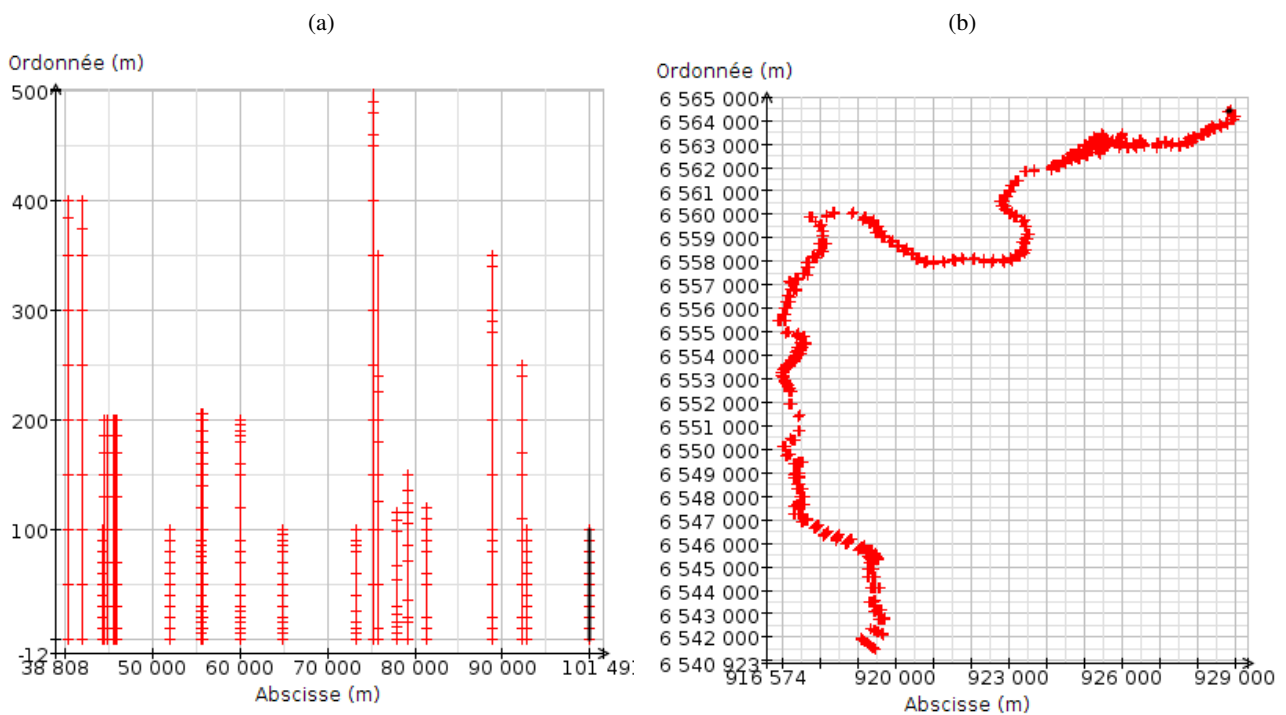


Figure 16: Représentation du Rhône entre la frontière et Motz (a) en coordonnées relatives (abscisses/cotes) et avant ajout des nouvelles données, (b) en coordonnées géoréférencées xyz après ajout des nouvelles données.

Pour avoir des données homogènes, nous avons géolocalisé les profils en travers de Burgeap dans le système de coordonnées de la BDT Rhône (Lambert 93). La définition des coordonnées par Burgeap nous a permis de localiser de manière assez précise les profils, mais ne permet pas d'éviter une marge d'erreur dans leur géolocalisation.

Enfin, les données issues de la CNR et Burgeap et celles issues de la BDTopo ne sont pas basées dans le même système altimétrique. La CNR produit ses données en altitude orthonormée, tandis que l'IGN nous les a fourni en NGF. Un léger décalage altimétrique, variant selon les zones, est donc à prendre en compte entre les données de différentes origines.

- Berges

Sur certains tronçons issus de la BDT Rhône, les berges sont peu ou pas représentées dans les profils en travers du Rhône. Il a donc fallu extrapoler des cotes de berges, grâce à la carte IGN ou grâce à des visites de terrain qui permettent d'estimer la hauteur des berges.

5.2 DONNÉES HYDROLOGIQUES ET SÉDIMENTAIRES

Les chroniques de débits et de concentrations en MES utilisées dans cette étude sont basées sur les observations de la chasse de 2003.

- Pour les concentrations en MES, nous avons utilisé les données de Burgeap, issues du suivi réalisé à Jons lors de cette chasse.
- Pour la chronique de débit, étant donné qu'il n'y a pas de station de mesure de débit à Jons, nous avons récupéré les relevés de la CNR (Compagnie Nationale du Rhône) à la station de Anthon, à 7 km à l'amont de Jons. Cette station est jugée fiable pour les débits moyens à forts. Grâce au modèle Mage du Rhône, nous avons déterminé le temps de transit des débits entre Anthon et Jons qui est de 1h20min. Pour obtenir une chronique de débit à Jons et avoir ainsi des données homogènes, nous avons décalé de 1h20min la chronique pour passer de Anthon à Jons.

Nous avons ainsi deux jeux de données fiables et complets tout au long de la durée de la chasse de 2003.

A partir de ces données, nous avons constitué de nouvelles chroniques de débits et de MES pour nos simulations en simplifiant les chroniques de la chasse de 2003. De plus nous avons dû apporter une modification à la chronique de débit, en ce qui concerne les valeurs extrêmes de débits. En effet, une des options de gestion de la chasse de 2012 est de faire transiter un fort débit dans le Canal de Miribel pour obtenir de fortes vitesses et donc minimiser le dépôt de sédiments dans le Vieux-Rhône (voir partie 4.2). Un de nos scénarios est de faire passer un débit de 210 m³/s dans le Canal de Miribel. Pour respecter le débit minimum dans le Canal de Jonage (90 m³/s), il faut donc avoir un débit du Rhône de 300 m³/s. Un autre de nos scénarios est de faire passer de très faibles débits dans le Canal de Miribel : 30 m³/s. Or il faut respecter le débit maximum qu'est capable d'accepter le Canal de Jonage (640 m³/s). On obtient ainsi un débit maximum de 670 m³/s.

Il faut donc respecter le critère de débit : $300 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{\text{Rhône}} < 670 \text{ m}^3/\text{s}$ durant les chasses pour pouvoir simuler nos différents cas de répartitions de débits compris entre 30 m³/s et 670 m³/s. En effet :

- $Q_{\text{Rhône}} > 300 \text{ m}^3/\text{s}$ pour réaliser notre solution où $Q_{\text{miribel}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$, étant donné que le débit minimum dans Jonage est de 90 m³/s.

- $Q_{Rh\acute{o}ne} < 670 \text{ m}^3/\text{s}$ pour respecter le débit maximum dans Jonage tout en réalisant notre solution $Q_{\text{miribel}} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les effets de cette modification des débits, par rapport à la chronique originale, sur le dépôt de sédiments sont considérés négligeables, du fait que les modifications interviennent :

- pour le Q_{max} : sur des durées de temps très restreintes et dans des ordres de grandeurs mineurs,
- pour le $Q_{\text{min}} > 300 \text{ m}^3/\text{s}$: lors de périodes de basses concentrations en sédiments uniquement (voir Figure 17).

On obtient ainsi les débits et concentrations (Figure 17) que l'on va utiliser pour les simulations des différents scénarios de gestion.

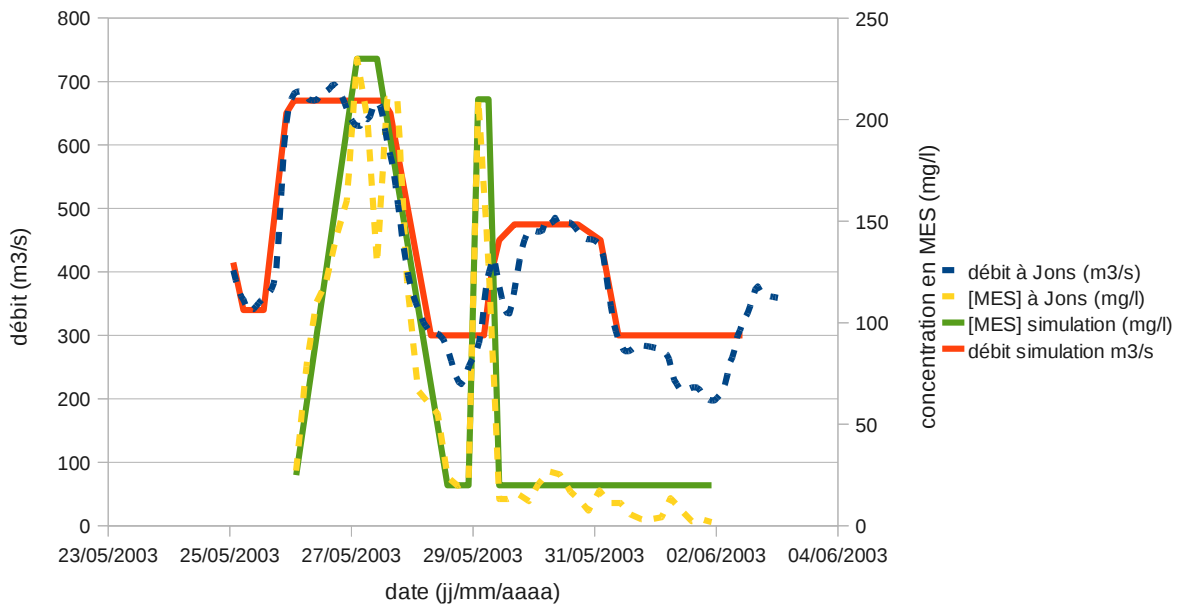


Figure 17: Débits et concentrations en MES utilisés pour cette étude

5.3 CARACTÉRISTIQUES DES SÉDIMENTS

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR, 2009) a pris des échantillons de MES en plusieurs endroits pendant la chasse de 2003.

La Figure 18 représente la courbe granulométrique réalisée sur les MES prélevées à Jons au cours de cette chasse. Cette courbe permet de connaître les caractéristiques des sédiments retrouvés à Jons.

	%
Argiles (0 – 2 µm)	13,1
Limons fins (2 – 20 µm)	61,9
Limons grossiers (20 – 50 µm)	19,3
Sables fins (50 – 200 µm)	5,1
Sables grossiers (200 – 2000 µm)	0,6
total	100

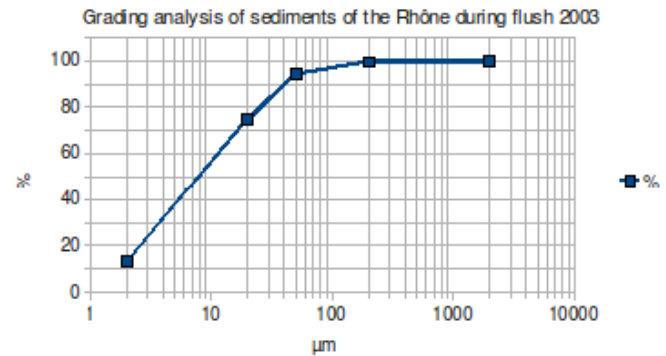


Figure 18 : Distribution granulométrique des MES à Jons lors de la chasse de 2003 (données CNR)

Les valeurs remarquables que l'on déduit de ces mesures (Figure 18) sont :

- plus de 90 % des MES correspondent à des argiles et des limons ($d < 50 \mu\text{m}$),
- le diamètre médian des MES est environ $8 \mu\text{m}$.

Dans nos simulations nous avons utilisé 3 classes de sédiments ayant le diamètre moyen suivant :

- $d = 8 \mu\text{m}$, qui correspond à 65% des sédiments en suspension observés à Jons,
- $d = 20 \mu\text{m}$, qui correspond à 25% des sédiments en suspension observés à Jons,
- $d = 50 \mu\text{m}$, qui correspond à 10% des sédiments en suspension observés à Jons.

On effectue ensuite une combinaison des résultats de dépôt pour calculer le résultat correspondant à un mélange de ces 3 classes comprenant 65% de sédiments avec $d = 8 \mu\text{m}$, 25% de sédiments avec $d = 20 \mu\text{m}$, et 10% de sédiments avec $d = 50 \mu\text{m}$, soit :

$$M_{\text{dépôt}} = 0,65 M_{\text{dépôt } 8\mu\text{m}} + 0,25 M_{\text{dépôt } 20\mu\text{m}} + 0,10 M_{\text{dépôt } 50\mu\text{m}} \quad .$$

6 MODÉLISATION HYDRAULIQUE : PARAMÉTRISATION

Dans cette section, nous décrivons les principales paramétrisations du modèle hydraulique MAGE qui sont nécessaires pour représenter l'écoulement du Rhône.

6.1 COEFFICIENTS DE STRICKLER

Sur la zone de Miribel Jonage, nous avons utilisé les coefficients de Strickler qui avaient été calés par Burgeap en 2011. Les différents coefficients utilisés sont présentés dans le tableau ci-dessous par tronçon, le Strickler variant linéairement sur certain tronçon.

Tableau 1: Coefficients de Strickler utilisés dans le modèle (les deux valeurs du coefficient de Strickler présentée correspondent respectivement au lit mineur et lit moyen).

Tronçon	PK début	PK fin	Strickler début	Strickler fin
JNS-VR2 : Canal de Jonage	0	18 700	(20.0, 20.0)	(20.0, 20.0)
	26 750	25 400	(28.0, 28.0)	(28.0, 28.0)
	25 400	25 200	(20.0, 28.0)	(20.0, 28.0)
	25 200	24 900	(20.0, 25.0)	(20.0, 25.0)
	24 900	24 600	(22.0, 15.0)	(22.0, 15.0)
	24 600	24 200	(18.0, 15.0)	(18.0, 15.0)
	24 200	23 700	(13.0, 13.0)	(13.0, 13.0)
	23 700	23 350	(20.0, 15.0)	(20.0, 15.0)
	23 350	22 700	(13.0, 22.0)	(13.0, 22.0)
	22 700	22 500	(13.0, 25.0)	(13.0, 25.0)
	22 500	22 000	(30.0, 28.0)	(30.0, 28.0)
JNS-NEY : Canal de Miribel Amont	22 000	19 600	(25.0, 25.0)	(25.0, 25.0)
	19 600	19 200	(28.0, 25.0)	(28.0, 25.0)
	19 200	18 600	(30.0, 25.0)	(30.0, 25.0)
	18 600	18 400	(28.0, 25.0)	(28.0, 25.0)
	18 400	18 200	(24.0, 20.0)	(24.0, 20.0)
	18 200	17 800	(22.0, 20.0)	(22.0, 20.0)
	17 800	15 800	(30.0, 28.0)	(30.0, 28.0)
	15 800	15 000	(28.0, 28.0)	(28.0, 28.0)
	15 000	14 000	(25.0, 28.0)	(25.0, 28.0)
	14 000	13 400	(25.0, 13.0)	(25.0, 13.0)
	13 400	13 000	(13.0, 13.0)	(13.0, 13.0)

Tronçon	PK début	PK fin	Strickler début	Strickler fin
NEY-JAV, Canal de Miribel Aval	13 000	11 000	(13.0, 13.0)	(13.0, 13.0)
	12 200	11 600	(13.0, 15.0)	(13.0, 15.0)
	11 600	11 300	(15.0, 15.0)	(15.0, 15.0)
	11 300	10 000	(18.0, 18.0)	(18.0, 18.0)
	10 000	9 000	(18.0, 20.0)	(18.0, 20.0)
NEY-CS1 : Vieux-Rhône Amont	0	860	(18.0, 18.0)	(18.0, 18.0)
CS1-CS2 : Vieux-Rhône	0	3 350	(26.0, 26.0)	(26.0, 26.0)
CS1-CS2 : Canal Sud	0	2 767	(30.0, 30.0)	(30.0, 30.0)
CS2-VR2 : Vieux-Rhône Aval	3350	3 720	(25.0, 25.0)	(25.0, 25.0)
VR2-JAV : Canal de Jonage Aval	3750	4 750	(24.0, 24.0)	(24.0, 24.0)
JAV-BPN : Rhône Seuil de Villeurbanne	0	250	(25.0, 25.0)	(25.0, 25.0)

6.2 RÉPARTITION DES DÉBITS AUX DIFFLUENCES

Comme décrit au paragraphe 3.3, il y a trois difffluences dans le modèle, une où la répartition des débits est gérée par le barrage de Jons, et les deux autres pour lesquelles la répartition des débits se fait de façon naturelle sous les contraintes de géométrie et d'écoulement à l'aval de chacun des bras défluent de façon à conserver l'égalité des niveaux à l'endroit de la séparation des flux. Pour ces dernières nous avons réalisé des mesures de débit pour savoir si la répartition du débit dans le modèle est proche de la réalité.

6.2.1 BRÈCHE DE NEYRON, ENTRE LE CANAL DE MIRIBEL ET LE VIEUX RHÔNE

La difffluence à la brèche de Neyron, entre le Canal de Miribel et le Vieux Rhône est donnée sur la Figure 6 par le point NEY. Les répartitions suivantes ont été observées et modélisées :

- mesures de terrain
 - 71% du débit part dans le Canal de Miribel Aval,
 - 29% du débit se retrouve dans le Vieux-Rhône.
- selon le modèle :
 - 36% du débit part dans le Canal de Miribel Aval,
 - 64% du débit se retrouve dans le Vieux-Rhône.

Le résultat est donc insatisfaisant. Cependant la première version du modèle ne représente pas le seuil existant au niveau de la difffluence à l'entrée du Vieux-Rhône. Étant donné que nous n'avons aucune information concernant ce seuil, ni la possibilité d'effectuer des mesures complètes au vu de l'importance de l'écoulement à ce niveau là, nous nous sommes basé sur les observations de terrain. Nous avons donc pris en compte la présence de l'épi à l'entrée du Vieux Rhône ainsi que de l'angle de la section d'entrée par rapport à l'écoulement (voir Figure 19). Voici les résultats obtenus avec le seuil naturel modélisé :

- selon le modèle avec seuil naturel :
 - 69% du débit part dans le Canal de Miribel Aval,
 - 31% du débit se retrouve dans le Vieux-Rhône.

Si l'on prend en compte les incertitudes de mesure (environ 5 % sur les jaugeages), le résultat est tout à fait satisfaisant.

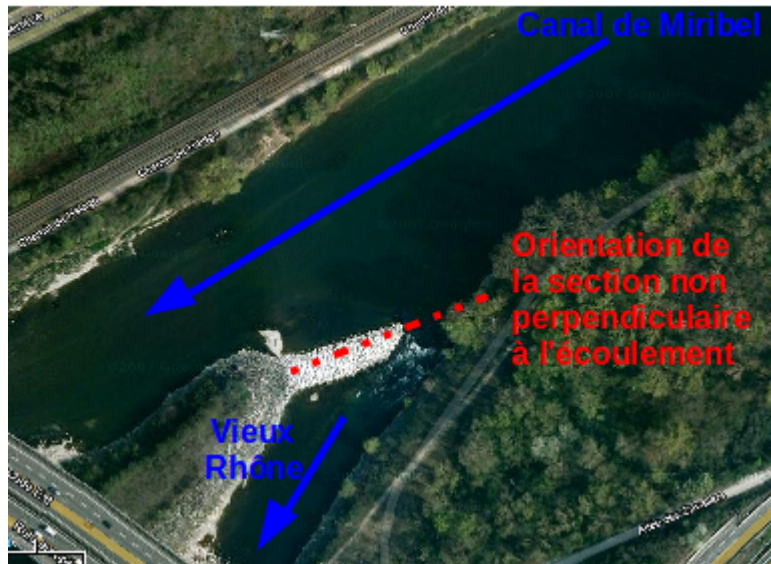


Figure 19: Épi à la difffluence entre le Vieux Rhône et le canal de Miribel

6.2.2 DIFFLUENCE ENTRE LE CANAL SUD ET LE VIEUX RHÔNE

La difffluence entre le Canal Sud et le Vieux Rhône est donnée sur la Figure 6 par le point CS1. Les répartitions suivantes ont été observées et modélisées (pour un débit entrant dans le canal de Miribel de $60 \text{ m}^3/\text{s}$) :

- Mesures de terrain
 - 20% du débit part dans le Canal Sud,
 - 80% du débit se retrouve dans le Vieux-Rhône.
- Selon le modèle avant actualisation de la topo
 - 4% du débit part dans le Canal Sud,
 - 96% du débit se retrouve dans le Vieux-Rhône.

Pour améliorer les résultats, nous avons réalisé des relevés topographiques de sections (voir paragraphe 5.1.1) que nous avons ensuite ajoutés au modèle. Ces relevés ont été effectués sur le Vieux Rhône, aux niveaux des bras du Vieux Rhône Amont, du Vieux Rhône et du Canal Sud, pour permettre de mieux modéliser les difffluences entre les différents bras. Malgré ces nouveaux profils plus récents, on observe toujours une différence dans la répartition des débits, mais on note également une réelle amélioration :

- Selon le modèle après actualisation de la topo,

- 10% du débit part dans le Canal Sud,
- 90% du débit se retrouve dans le Vieux-Rhône.

Au final, on obtient des résultats très satisfaisants à la difffluence au point NEY, et des résultats un peu moins satisfaisants au point CS1. Ceci peut être mis en relation avec le dépôt de gravier observé sur le terrain à l'entrée du Vieux-Rhône (voir paragraphe 5.1.1). La topographie semble donc expliquer ce qui était soupçonné, à savoir que le dépôt de gravier à l'entrée du Vieux-Rhône a pour conséquence de diminuer le débit entrant dans le Vieux-Rhône et d'augmenter celui transitant dans le canal sud. La deuxième explication à cette différence de résultats entre notre modèle et la réalité, peut également être relié à l'orientation des vitesses, au niveau de la difffluence avec le canal sud, qui n'est pas pris en compte dans un modèle 1D et qui pourrait être mieux modéliser grâce à un modèle 2D.

Par la suite, il pourrait être intéressant de mener une étude plus approfondie sur les coefficients de Strickler utilisés et voir si un meilleur calage ne permettrait pas de trouver des résultats plus proches de la réalité.

6.3 CRÉATION D'UN CASIER

Par rapport au modèle initial réalisé par Burgeap, et au vu de ce que l'on trouve sur le terrain, nous avons créé un casier au niveau du bras du Vieux-Rhône Amont.

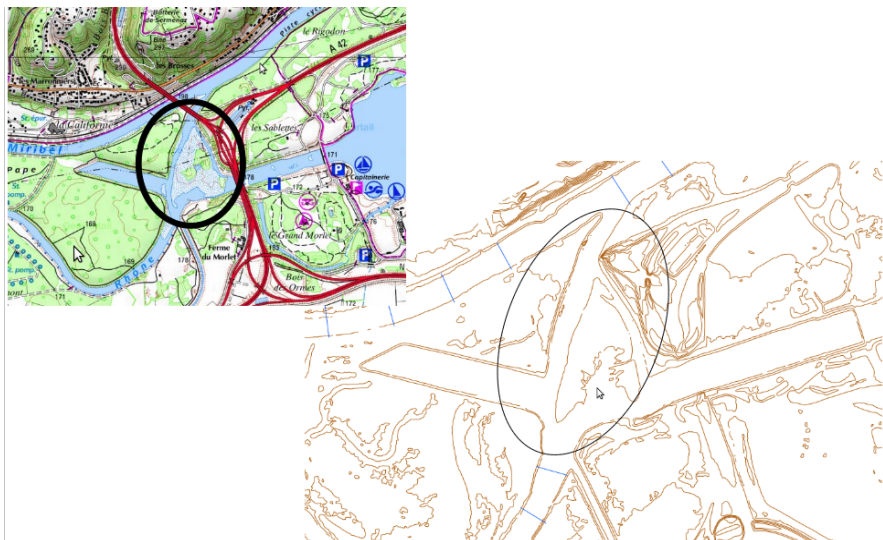


Figure 20 : Bras du Vieux-Rhône amont, entouré en noir, et bassins artificiels situés en rive droite et gauche

Comme on peut voir sur la Figure 20, deux bassins se situent de part et d'autre du Vieux-Rhône Amont. Dans la version de Burgeap ces bassins faisaient partie intégrante du lit majeur du Vieux-Rhône Amont en cet endroit (Figure 21). Dans le cadre de l'utilisation du logiciel Adis-TS, ce brusque élargissement induisait des vitesses très faibles et donc un très fort dépôt de sédiment dans cette zone. Ceci n'est pas réaliste car l'écoulement ne se fait quasiment que par le chenal principal. Nous avons donc décidé de créer un casier représentant la retenue d'eau des deux bassins, pour ainsi sortir cette zone du lit moyen.

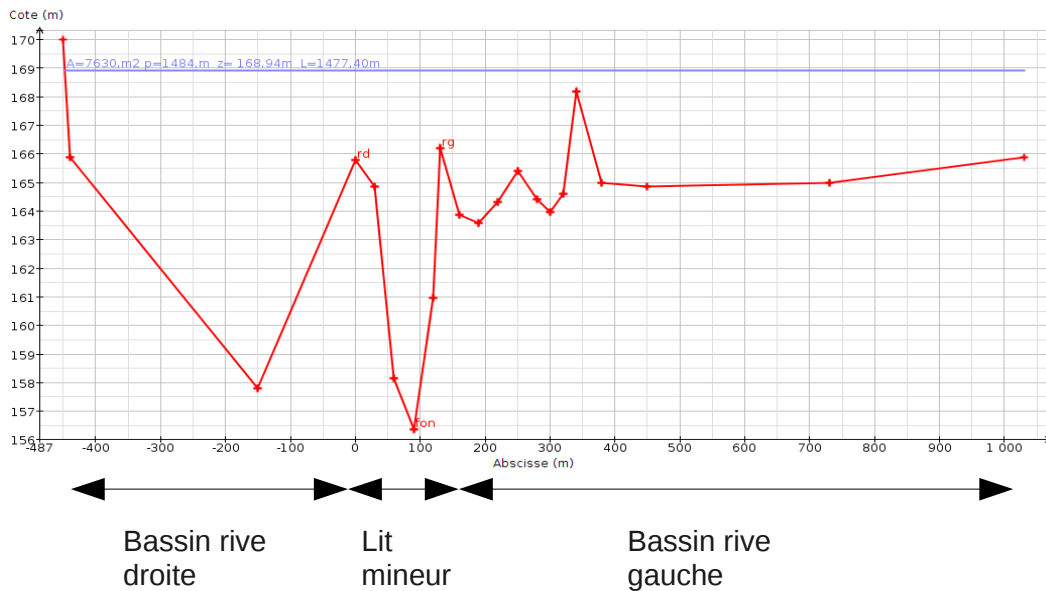


Figure 21: Section en travers du modèle Burgeap correspondant à la zone décrite Figure 20.

6.4 MODÉLISATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Comme dit au paragraphe 3.3, nous sommes en présence de plusieurs ouvrages hydrauliques : un barrage, une usine hydro-électrique et deux seuils, l'un à l'entrée du Vieux-Rhône, l'autre à aval du modèle. Nous avons définis ces différents ouvrages, par une représentation simplifiée qui permet de respecter le fonctionnement moyen, comme suit :

- Les seuils sont modélisés par : une loi de « seuil/déversoir à crête horizontale »
- les barrages sont modélisés par une combinaison de deux lois :
 - « seuil/déversoir à crête horizontale » (loi de seuil standard avec possibilité de passage régimes noyé <-> dénoyé)
 - et « orifice rectangulaire » (loi d'orifice standard avec possibilités de transitions surface libre <-> charge et noyé <-> dénoyé)
- les usines hydro-électriques : « seuil/déversoir à crête horizontale »

Tableau 2: Ouvrages et modélisation intégré dans le modèle Mage de Miribel-Jonage

Nom	Ouvrage	Modélisation
JON	Barrage de Jons (voir Figure 8)	Seuil/déversoir à crête horizontale + Orifice rectangulaire/déversoir orifice
CUSS	Usine de cusset (voir Figure 7)	Seuil/déversoir à crête horizontale
SM2	Seuil du Pk 14 avant la brèche de Neyron (canal de Miribel amont, voir Figure 12)	Seuil/déversoir à crête horizontale
SM1	Seuil du Pk 9.2 (canal de Miribel aval). Seuil double pour représenter deux hauteurs de seuil sur la me section (voir	Seuil/déversoir à crête horizontale + Seuil/déversoir à crête horizontale

	Figures 10 et 12).	
EPI	Seuil de la brèche de Neyron (difffluence entre le Vieux-Rhône et le canal de Miribel). Voir Figure 19.	Seuil/déversoir à crête horizontale
BPN	Seuil du boulevard périphérique nord (voir Figure 9)	Courbe de tarage

7 MODÉLISATION SÉDIMENTAIRE : PARAMÉTRISATION

Dans cette partie, nous décrivons les différents paramètres qui ont servis à la mise en place de la modélisation du transport sédimentaires par le modèle d'advection diffusion Adis-TS

7.1 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

La première étape consiste à décrire les sédiments modélisés par les principales caractéristiques sédimentaires, à savoir :

- le type de polluant ou MES,
- le diamètre median (d_{50}),
- la masse volumique (ρ_s),
- et la porosité.

7.1.1 TYPE DE SÉDIMENT

Le type de polluant ou sédiment est classé en 8 catégories variant de 0 à 7 comme suit :

0. soluté (polluant dissous),
1. particules sphériques,
2. galets lisses,
3. sable naturel,
4. sable concassé,
5. cylindres longs,
6. limon et particules cohésives,
7. floes.

Ce choix a pour principal impact l'estimation de la vitesse de chute de la particule. Pour notre simulation nous avons choisi les types 6 et 3 selon les différentes classes de sédiments modélisées (voir tableau 3). Les particules les plus fines ($< 50 \mu\text{m}$) sont assimilées à des limons alors que les particules les plus grossières ($\geq 50 \mu\text{m}$) à des sables naturels.

7.1.2 DIAMÈTRE MÉDIAN

Le diamètre médian, ou d_{50} , est le diamètre caractérisant une classe de sédiments pour laquelle 50 % des particules en masse ont un diamètre supérieur à celui-ci.

Dans notre cas nous avons donc choisi trois diamètres différents : $d_{50} = 8 \mu\text{m}$, $d_{50} = 20 \mu\text{m}$ et $d_{50} = 50 \mu\text{m}$ (voir paragraphe 5.3).

7.1.3 MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique ρ_s est déterminée par le rapport m/V où m est la masse de la substance homogène occupant un volume V .

La masse volumique ρ_s a été prise d'une valeur de 2650 kg/m^3 pour les trois classes de sédiments représentés. Cette valeur correspond à la masse volumique de la silice SiO_2 , composant largement prédominant des matériaux inorganiques en rivière. Les flux de matières organiques (carbone, azote...) ne sont pas considérés dans cette étude.

7.1.4 POROSITÉ

La porosité est l'ensemble des interstices (connectés ou non) d'une roche ou d'un autre matériau pouvant contenir des fluides (liquide ou gaz). La porosité est également la valeur numérique qui caractérise ces interstices, c'est à dire le rapport du volume des vides du matériau divisé par le volume total. La valeur de la porosité d'un mélange de sédiments se situe entre 0,1 (matériau très compacté) et 0,6 (matériau très lâche). Ce choix impacte uniquement sur l'estimation de l'épaisseur des dépôts à partir des masses déposées calculées. Dans notre cas, la porosité a donc été prise arbitrairement à 0,5.

Voici un tableau récapitulatif des caractéristiques décrits ci-dessus :

Tableau 3: Caractéristiques des sédiments du Rhône à Jons utilisés pour la modélisation.

Diamètre	Pourcentage masse	Type	Porosité	Masse volumique
8 μm ,	65%	6	0.5	2650
20 μm ,	25%	6	0.5	2650
50 μm	10%	3	0.5	2650

7.2 COEFFICIENT CINÉTIQUE DE DISPARITION D'UN ÉLÉMENT

Le coefficient de disparition cinétique d'un élément (a priori un soluté) permet de prendre en compte une possible disparition de cette élément du fait d'une dégradation ou transformation physico-chimique. Il est défini par deux valeurs : une pour le cas de la rivière et l'autre pour le cas d'un casier :

- cdc_riv : coefficient de disparition cinétique du soluté (inactif si $type > 0$) en rivière
- cdc_cas : coefficient de disparition cinétique du soluté (inactif si $type > 0$) en casier

Dans notre cas, comme nous travaillons avec des sédiments fins non réactifs, nous avons donc pris $cdc_riv = 0$ et $cdc_cas = 0$.

7.3 COEFFICIENTS POUR LA LOI DE DÉPÔT ÉROSION

La loi de dépôt érosion utilisée dans Adis-TS est décrite dans le rapport Axelera Andries et al., 2012. En première approximation, on suppose le dépôt uniforme sur le lit majeur et le lit mineur. Les taux de dépôt et d'érosion de l'équation peuvent être estimés ensemble comme suit :

$$(P - D)W = a_{PD} e_{disp,m} (C_{eq,m} - C) \frac{W_s}{H_m} W_m + a_{PD} e_{disp,M} (C_{eq,M} - C) \frac{W_s}{H_M} W_M \quad (1)$$

où a_{PD} est un coefficient de calage, $e_{disp,m/M}$ un coefficient indiquant la disponibilité de dépôt dans le canal ($e_{disp,m/M} = 0$ si il y a érosion et si $M_{fs,m/M} = 0$; $e_{disp,m/M} = 1$ sinon), $C_{eq,m/M}$ la concentration d'équilibre, W_s la vitesse de chute du sédiment, $H_{m/M}$ la profondeur moyenne dans le lit mineur / lit majeur et $W_{m/M}$ est la largeur mouillée du lit mineur / lit majeur. On considère ici la concentration C homogène dans toute la section. Finalement :

- il y a érosion si la concentration d'équilibre C_{eq} est supérieur à la moyenne de la concentration C calculée grâce au modèle ;

– il y a dépôt si $C_{eq} < C$.

La concentration d'équilibre dans les lits mineur et majeur $C_{eq,m/M}$ peut être estimée en fonction du la contrainte de cisaillement $\tau_{m/M}$ calculée par le modèle, comme suit :

$$C_{eq,m/M} = a_c \left(\frac{\tau_{m/M}}{\tau_{cr}} - 1 \right)^{b_c} \quad (2)$$

où a_c et b_c sont des paramètres de calage ($b_c = 1$ comme première approximation, cf. Camenen, 2011).

Voici les caractéristiques des trois coefficients à fixer dans le cadre de la modélisation :

- $a_{pd} = 0,1$: coefficient de la loi de dépôt-érosion,
- $a_c = 0,001$: coefficient de la loi pour la concentration à l'équilibre ; homogène à une concentration
- $b_c = 1$: exposant de la loi pour la concentration à l'équilibre.

Les valeurs données ici sont issues d'un premier calage réalisé sur une chasse des barrages de l'Arc en Maurienne. Une validation plus rigoureuse serait nécessaire mais nécessite un jeu de données (topographiques et sédimentaires) très détaillé en temps et dans l'espace. Des améliorations sont donc toujours possibles même si les premiers résultats obtenus restent tout à fait cohérents.

7.4 COEFFICIENT DE DISPERSION

Il est possible d'utiliser quatre méthodes différentes d'évaluation des coefficients de dispersion dans Adis-TS. On peut utiliser différentes méthodes pour chacune des parties du modèle au cours d'une même simulation. Chaque méthode utilise un coefficient de proportionnalité qui sert de coefficient de calage. Les trois premières méthodes proposées consistent en application de formules semi-empiriques : Elder (1959), Fisher (1967) et Iwasa & Aya (1991). Chacune de ces formules peut s'écrire de la forme suivante (Camenen, 2011) :

$$\frac{D_f}{H_{m/M} U_{*m/M}} = a \left(\frac{U_{m/M}}{U_{*m/M}} \right)^b \left(\frac{W_{m/M}}{H_{m/M}} \right)^c \quad (3)$$

où a , b et c sont des paramètres de calage variant selon les auteurs, $U_{m/M}$ la vitesse moyenne dans le lit mineur / lit majeur, $U_{*m/M}$ la vitesse de frottement dans le lit mineur / lit majeur ($U_{*m/M} = \sqrt{\tau_{m/M} / \rho}$).

Tableau 4: Coefficients a , b et c pour les formules du coefficients de dispersion.

Formules	Coefficient a	Coefficient b	Coefficient c
Elder (1959)	100	0	0
Fisher (1967)	0,011	2,0	2,0
Iwasa & Aya (1991)	2	0	1,5

La quatrième méthode utilise un coefficient de dispersion constant. Dans ce cas, le coefficient de dispersion est la valeur fournie par l'utilisateur, il ne dépend d'aucune variable provenant des conditions d'écoulement. Le coefficient de dispersion final est toujours la somme du coefficient de diffusion moléculaire (fixé à 10^{-6} m²/s) et du coefficient fourni par la formule de calcul choisie.

Nous avons utilisé différentes méthodes selon les biefs :

- Canal de Miribel : méthode constante fixé à 15 (voir Andries et al., 2012 ; Launay et al., 2012),
- Canal de Jonage et Vieux-Rhône : méthode constante fixé à 10 (voir Andries et al., 2012 ; Launay et al., 2012),
- Pour le reste nous avons utilisé par défaut la méthode de Elder avec le coefficient par défaut 100.

7.5 **CONDITIONS AUX LIMITES ET CONDITIONS INITIALES**

7.5.1 *CONDITIONS AUX LIMITES*

Il s'agit des conditions aux limites amont qui définissent les apports de masse dans le modèle. Ces conditions ne s'appliquent que si le débit liquide est entrant. Dans le cas des nœuds amont du modèle, il faut fournir une concentration en fonction du temps. On peut aussi définir des apports dans les nœuds intermédiaires. Dans ce cas il s'agit d'un débit massique fonction du temps. Donc :

- si le nœud est un nœud amont (une entrée du modèle), il faut fournir une concentration en fonction du temps (unité : kg/m³ ou g/L),
- si le nœud est interne (non aval), il faut fournir un débit massique en kg/s,
- pour chaque nœud où aucune loi n'est fournie, l'apport est nul.

Les conditions aux limites aval (sorties) sont des conditions de type Neumann homogènes et donc ne requièrent aucune donnée.

Dans notre cas nous avons utilisé uniquement une concentration en fonction du temps au nœud amont de notre modèle, telle que l'on peut la trouver au paragraphe 5.2.

7.5.2 *CONDITIONS INITIALES*

Les conditions initiales définissent l'état initial pour chaque classe de sédiments. L'état initial comprend la concentration en tout point du réseau et les masses déposées au fond

- dans le lit mineur,
- dans le lit majeur gauche,
- et dans le lit majeur droit.

La définition des conditions initiales est faite à deux niveaux :

- définition de valeurs par défaut globales,
- définition des valeurs pour certains tronçons par surcharge des valeurs par défaut.

On définit chaque fois 4 valeurs :

- une concentration en g/L,
- 3 épaisseurs de sédiment déposées au fond, en lit majeur gauche, lit mineur et lit majeur droit. Ces épaisseurs sont indiquées en mètre.

Dans notre simulation nous sommes parti du cas où le dépôt initial est nul ainsi que la concentration, étant donné que nous nous concentrons sur la quantité de dépôt et non sur l'évolution du dépôt du fond du lit.

8 SIMULATIONS ET RÉSULTATS

Plusieurs simulations ont été effectuées en faisant varier les différents paramètres comme suit :

- Débit : le débit transitant dans le canal de Miribel va successivement être de 10, 30, 60, 90, 210 m³/s (cf. paragraphe 4.3).
- Diamètre : 8, 20, 50 μm (cf. paragraphe 5.3).
- Hauteur du seuil : h_{seuil} , $h_{seuil} - 0.5m$, et $h_{seuil} - 1.0m$.

Avec ces différents critères de simulations nous pouvons reproduire les scénarios de gestion proposés pour minimiser le dépôt de MES dans le Vieux-Rhône.

Nous vous présentons dans les parties ci dessous les résultats de ces simulations.

8.1 VARIATION DU DÉBIT ENTRANT DANS LE VIEUX-RHÔNE

Comme expliqué dans le paragraphe 4, diminuer le débit entrant dans le Vieux-Rhône permet de minimiser l'entrée de MES et augmenter le débit permet de minimiser le dépôt du fait des vitesses plus élevées. Augmenter le débit permet d'augmenter la vitesse et donc de minimiser le dépôt de MES, bien qu'augmentant la quantité de MES.

On peut voir sur la Figure 22 que la solution qui permet le moins de dépôt de MES dans la zone Vieux-Rhône (c'est à dire le Vieux-Rhône amont + le canal sud + le Vieux-Rhône + le Vieux-Rhône aval) est celle pour laquelle le débit est fixé à 30 m³/s entrant dans le canal de Miribel au niveau du barrage de Jons. L'impact sur les dépôts d'un débit croissant est apparemment supérieur à l'impact lié aux vitesses décroissantes. Il est donc plus intéressant de choisir l'option qui consiste à minimiser l'entrée de MES dans le bras plutôt que de minimiser le dépôt en augmentant la vitesse.

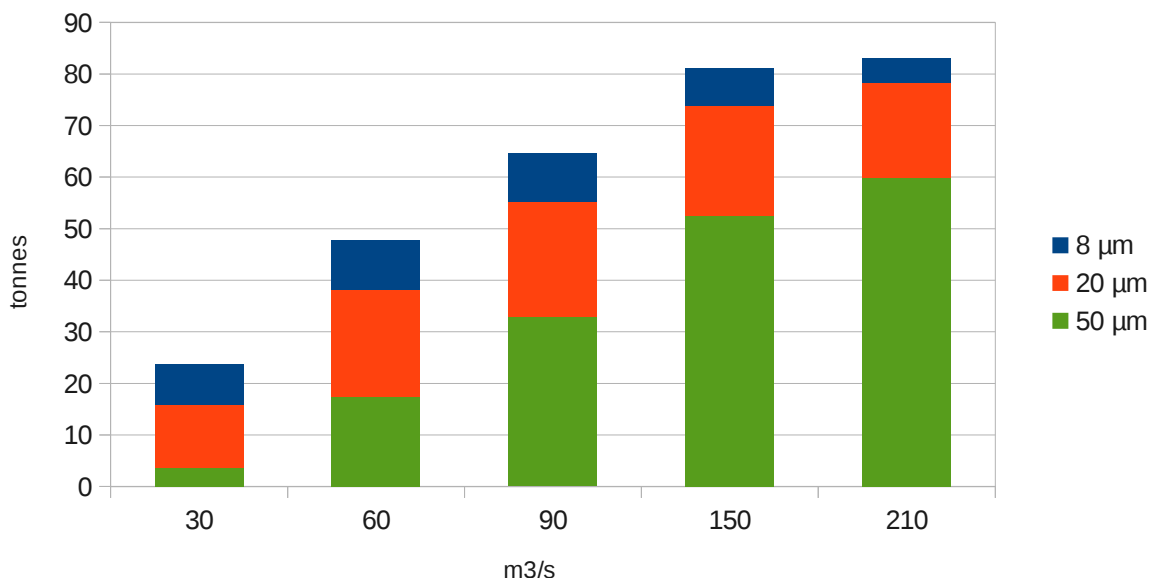


Figure 22: dépôt de MES dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud réunis pour différents diamètres.

Par contre, on peut également voir qu'il y a un comportement différents en fonction des classes de sédiments (Figure 23).

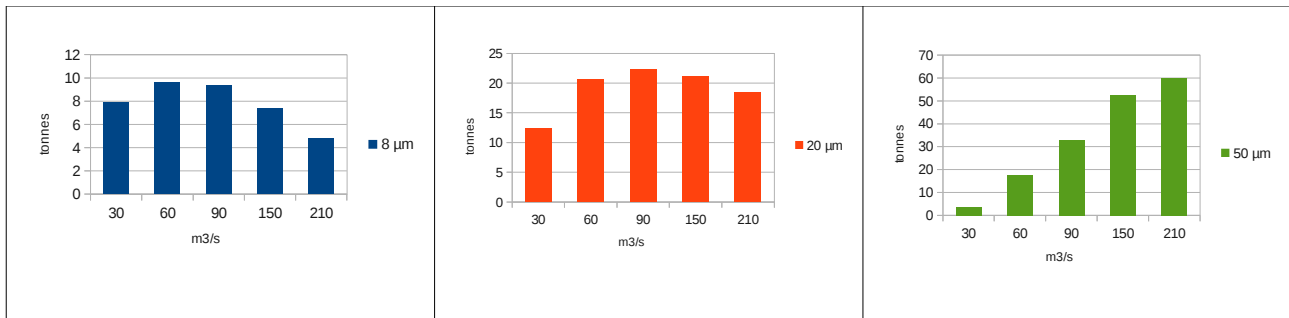


Figure 23: Dépôt en tonnes des MES (dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud) en fonction des trois classes de diamètres ainsi que du débit transitant dans le canal de Miribel.

Tandis que les sédiments ayant un diamètre moyen de 50 µm dépose de plus en plus quand le débit augmente, on voit que l'impact sur les sédiments de diamètre moyen 8 et 20 µm est différent. Après avoir augmenté avec le débit, la quantité de dépôt pour les sédiments fins diminue pour les forts débits :

- diminution très légère pour les sédiments de diamètre 8 µm dès 60 m³/s puis plus importante à partir de 150 m³/s,
- diminution légère partir de 90 m³/s pour les sédiments de diamètre 20 µm.

Ceci est directement lié à la vitesse de chute des sédiments. Les sédiments grossiers se déposent plus largement dans les bras du Vieux-Rhône et Canal Sud du fait des vitesses de frottement insuffisantes pour les maintenir en suspension. Le taux de dépôt est ainsi directement lié au débit. Pour les particules les plus fines, leur vitesse de chute étant plus faible, seule une partie du flux entrant se dépose dans les bras du Vieux-Rhône et Canal Sud.

On remarque ainsi que, bien que les sédiments de diamètre moyen 8 µm représente 65 % des sédiments présents dans la zone, ils ne représente qu'une petite partie du dépôt total :

- 6 % pour un débit de 210 m³/s entrant dans le canal de Miribel,
- 14 % pour un débit de 90 m³/s entrant dans le canal de Miribel,
- mais tout de même 1/3 pour un débit de 30 m³/s entrant dans le canal de Miribel.

Les dépôts de sédiments de diamètre moyen 20 µm, qui représente 25 % des sédiments présents dans la zone, représente quand à eux une partie déjà plus importante du dépôt total entre :

- 52 % pour un débit de 210 m³/s entrant dans le canal de Miribel,
- 35 % pour un débit de 90 m³/s entrant dans le canal de Miribel,
- 22 % pour un débit de 30 m³/s entrant dans le canal de Miribel.

Enfin les sédiments de diamètre moyen de 50 µm, qui représente 10 % des sédiments présents dans la zone, constitue la majeure partie du dépôt total pour les forts débits et une partie plus négligeable pour les faibles débits :

- 15 % pour un débit de 210 m³/s entrant dans le canal de Miribel,
- 51 % pour un débit de 90 m³/s entrant dans le canal de Miribel,
- 72 % pour un débit de 30 m³/s entrant dans le canal de Miribel.

Voici un tableau reprenant toutes les valeurs citées ci dessus et complété avec les valeurs pour les autres débits testés :

Tableau 5: Pourcentage du dépôt de chacune des classes de sédiments par rapport au dépôt total et en fonction du débit (dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud).

	Pourcentage du dépôt des particules de 8 µm sur le dépôt total	Pourcentage du dépôt des particules de 20 µm sur le dépôt total	Pourcentage du dépôt des particules de 50 µm sur le dépôt total
30 m ³ /s	33 %	52 %	15 %
60 m ³ /s	20 %	43 %	37 %
90 m ³ /s	14 %	35 %	51 %
150 m ³ /s	9 %	26 %	65 %
210 m ³ /s	6 %	22 %	72 %

Enfin, bien que la proportion de particules les plus fines (8 µm), les plus dangereuses en ce qui concerne le colmatage du fond du lit, diminue avec l'augmentation du débit, quantitativement, le dépôt de particules les plus fines est plus faible pour les débits de 30 m³/s et 210 m³/s. Le comportement des particules de diamètre 20 µm, qui ont également un fort pouvoir de colmatage, n'est pas le même : le dépôt dans le cas d'un débit de 210 m³/s entrant dans le canal de Miribel est largement supérieur que pour 30 m³/s : 18,4 tonnes contre 12,3 respectivement.

Tout cela sans compter que faire passer un débit de 210 m³/s dans le canal de Miribel est beaucoup plus coûteux pour le gestionnaire de barrage (EDF) du fait de la perte de productivité électrique au niveau de leur centrale située sur le canal de Jonage.

En conclusion, il est à tout point de vue plus intéressant de diminuer le débit entrant dans le canal de Miribel à 30 m³/s durant la chasse.

8.2 VARIATION DE LA HAUTEUR DU SEUIL BPN

Une autre solution présentée au paragraphe 4, consiste à baisser la ligne d'eau par l'intermédiaire du seuil pour accélérer la vitesse et diminuer le dépôt de sédiments.

Nous avons testé cette solution sur les différents diamètres et voici ici présenté (Figure 24) les résultats pour les débits de 30 m³/s et 60 m³/s entrant dans le canal de Miribel.

On peut voir sur la Figure 24 que la modification de la hauteur du seuil n'apporte pas d'intérêt pour diminuer la quantité de MES déposé dans le Vieux-Rhône. Au contraire, soit le dépôt est plus important, soit il reste équivalent.

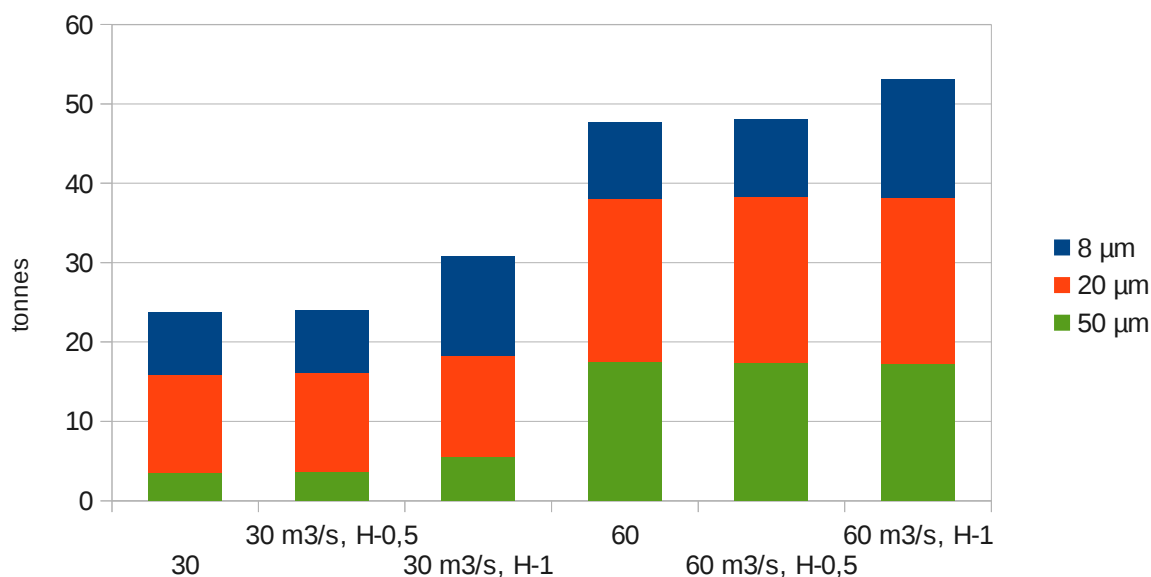


Figure 24: Dépôts de MES en tonnes en fonction du diamètre et des différentes hauteurs de seuil (dans les bras du Vieux-Rhône amont du Vieux-Rhône du Vieux-Rhône aval et du Canal Sud).

Cependant, un doute subsiste sur ces simulations, car dans une précédente étude (Andries et al, 2011) les résultats étaient encourageants et présentaient une baisse des dépôts lorsque l'on diminuait le niveau d'eau (donc le seuil). Cette différence de résultats peut s'expliquer par une instabilité hydraulique repérée au niveau de l'entrée dans le Vieux-Rhône amont lorsque l'on diminue le niveau du seuil. Il serait donc intéressant par la suite de procéder à une nouvelle mise à jour du modèle hydraulique pour voir si les résultats s'en trouvent modifiés.

8.3 RÉSULTATS CARACTÉRISTIQUES POUR UN DÉBIT RÉSERVÉ DE 30 M³/S

Voici plus précisément les résultats que l'on obtient pour un débit réservé de 30 m³/s dans le canal de Miribel.

8.3.1 LIEUX DE DÉPÔT

Voici un graphique (Figure 25) reprenant toutes les masses déposées au bout de 10 jours de chasse sur les biefs de la zone de Miribel Jonage. Pour plus de lisibilité, nous avons regroupé les bras :

- canal de Miribel amont + canal de Miribel aval,
- canal de Jonage amont + canal de Jonage aval,
- le Vieux-Rhône amont (Vieux-Rhône de NEY à casier + Vieux Rhône de casier à CS1) + le Vieux-Rhône + le Canal Sud + le Vieux-Rhône aval.

On observe donc, par l'intermédiaire de la Figure 25 que le dépôt aux environs du Vieux Rhône est le plus faible au m². Ceci confirme l'intérêt du choix d'un débit faible et de la préservation de l'alimentation de la nappe au cours de la chasse. Proportionnellement, les particules les plus fines s'y déposent plus que dans les autres bras, mais la quantité au m² reste inférieure.

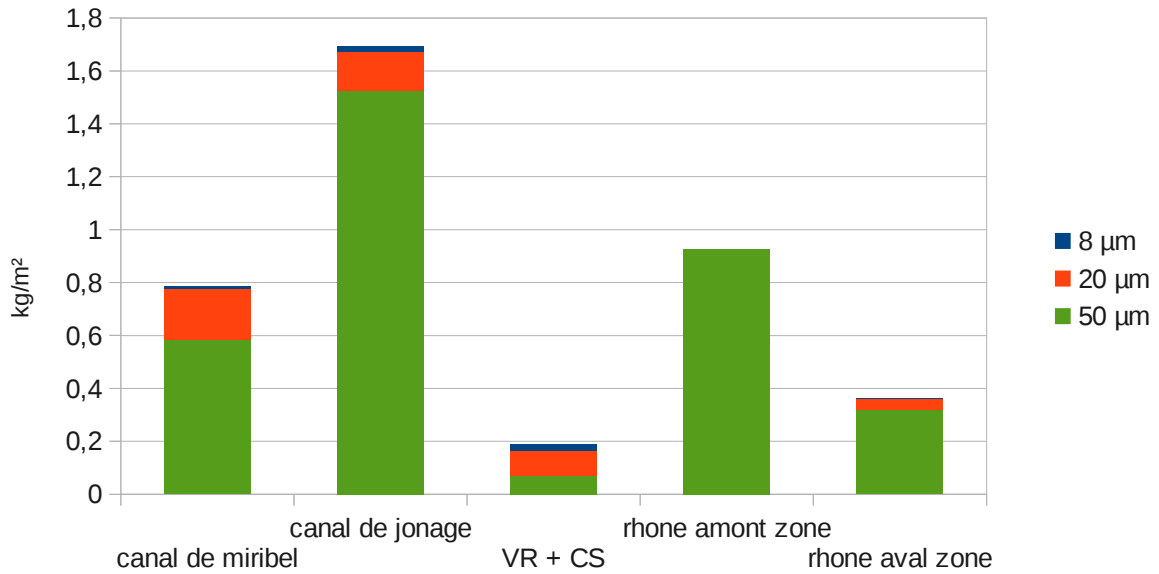


Figure 25: Masse déposée en kg/m² dans différents bras de Miribel Jonage pour un débit réservé dans le canal de Miribel de 30 m³/s

Pour finir, la Figure 26 indique les résultats sur la zone sensible du Vieux-Rhône, c'est à dire les 5 biefs composant le Vieux-Rhône et Canal Sud.

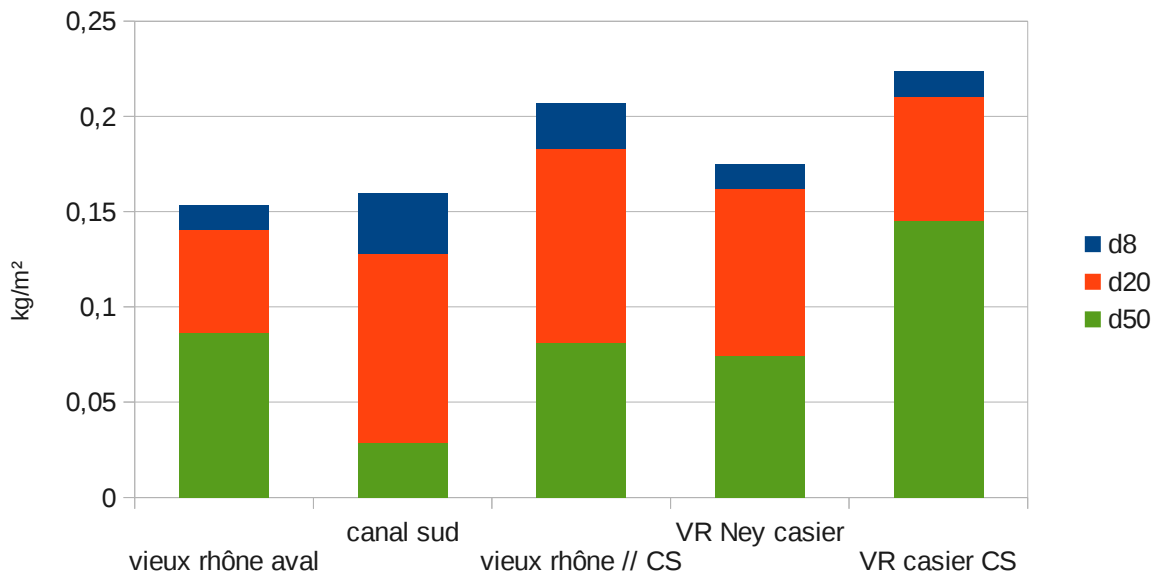


Figure 26: Masse déposée en kg/m² dans les différents bras du Vieux-Rhône et du Canal Sud pour un débit de 30m³/s

Nous pouvons donc voir, Figures 26 et 27, que les dépôts dans les différents bras sont relativement homogènes avec comme principales différences :

- pour les sédiments de diamètre moyens 50 μm : un faible dépôt au m^2 dans le canal sud et un plus important dans la moitié aval du Vieux-Rhône Amont (Vieux-Rhône du casier jusqu'au canal sud),
- pour les sédiments de diamètre moyen 8 μm : un dépôt au m^2 plus important est observé dans le Vieux-Rhône (bras parallèle au Canal Sud), mais surtout dans le Canal Sud,
- et pour les sédiments de diamètre moyen 20 μm , on retrouve un dépôt au m^2 moins important dans le Vieux-Rhône Aval.

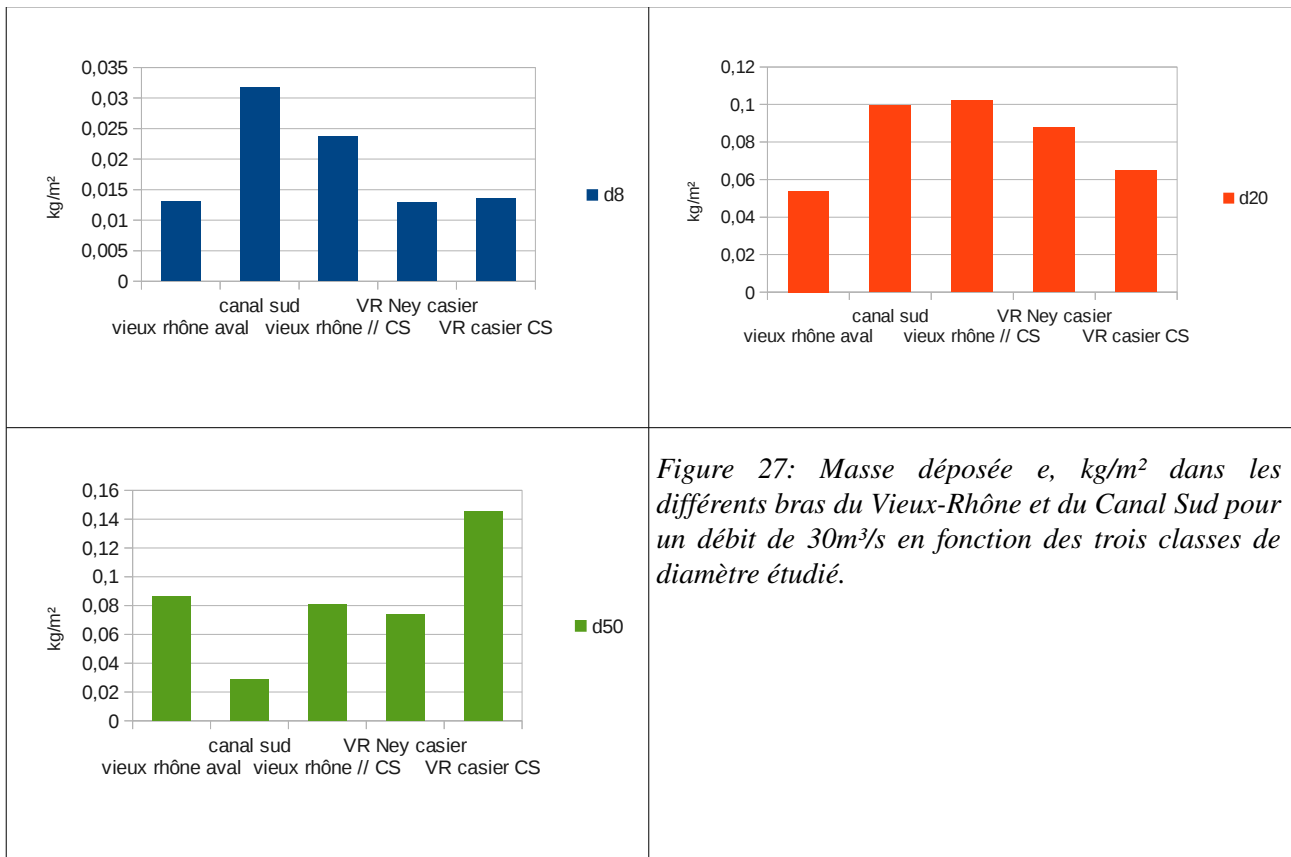


Figure 27: Masse déposée e, kg/m^2 dans les différents bras du Vieux-Rhône et du Canal Sud pour un débit de $30\text{m}^3/\text{s}$ en fonction des trois classes de diamètre étudié.

8.3.2 VARIATION DE LA HAUTEUR DU SEUIL

Toujours dans le cadre de l'analyse plus fine des dépôts de sédiments pour un débit de $30\text{ m}^3/\text{s}$ entrant dans le canal de Miribel, nous analysons maintenant l'effet de la baisse de la ligne d'eau. Les résultat sur toute la zone sont regroupés par biefs comme suit :

- canal de Miribel amont + canal de Miribel aval,
- canal de Jonage amont + canal de Jonage aval,
- Le Vieux-Rhône amont (Vieux-Rhône de NEY à casier + Vieux Rhône de casier à CS1) + le Vieux-Rhône + le Canal Sud + le Vieux-Rhône aval.

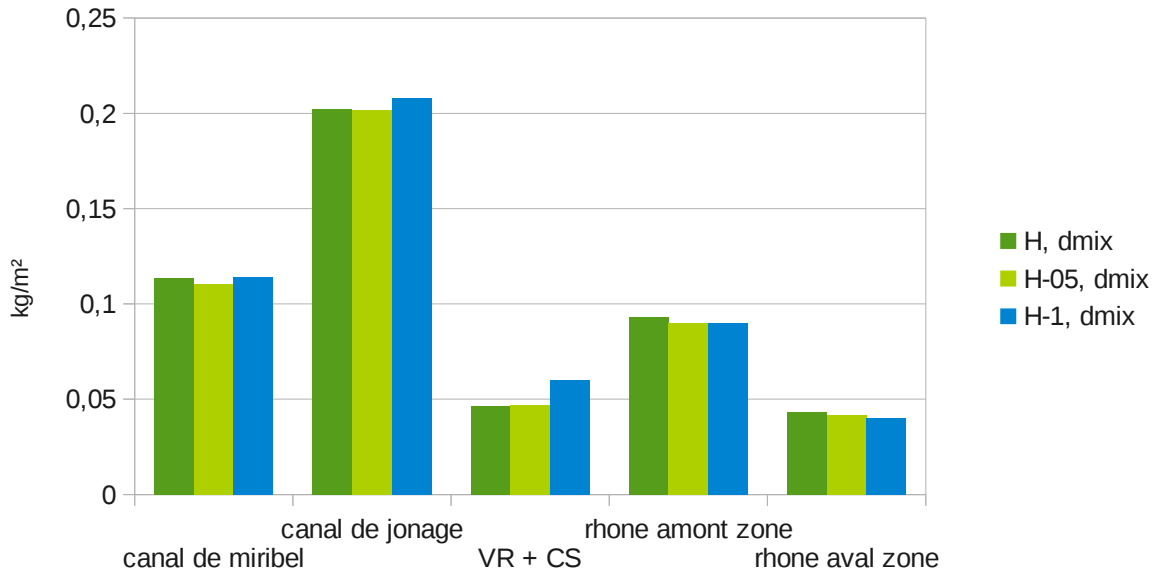


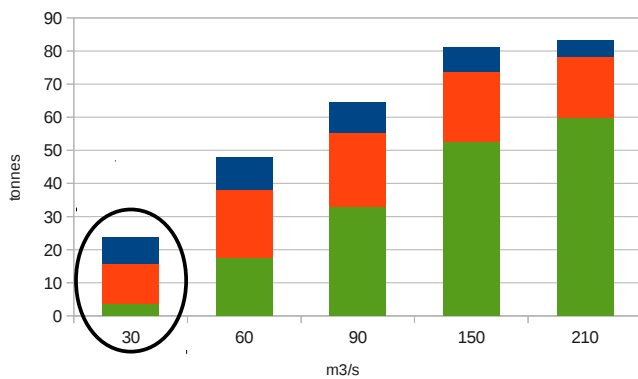
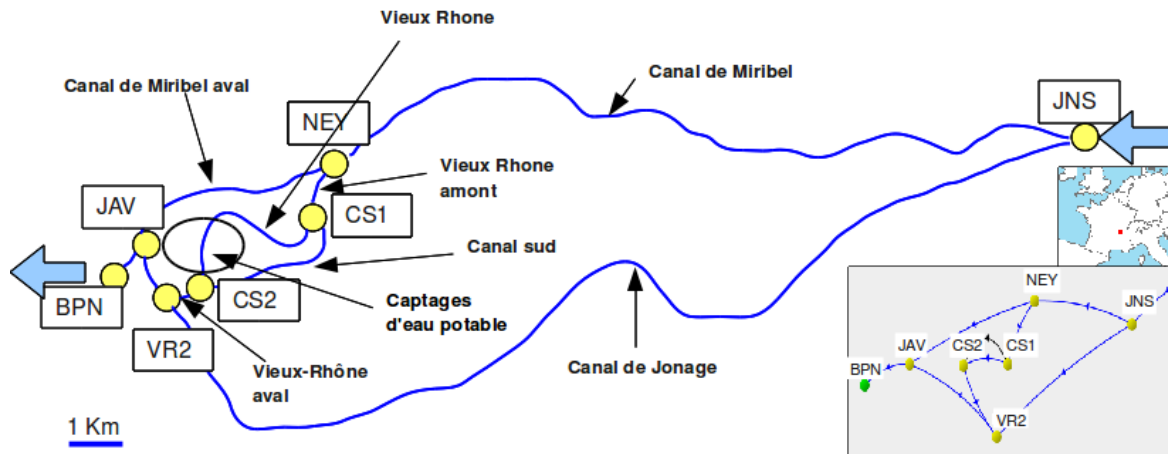
Figure 28: Masse de MES déposée en kg/m^2 sur l'ensemble des biefs dans le cas de la baisse de la hauteur du seuil de 50cm et de 1m, pour un débit de $30\text{m}^3/\text{s}$ et un diamètre pondéré

On observe donc que dans la zone du Vieux-Rhône et du Canal Sud, la baisse de la ligne d'eau s'accompagne d'une hausse des dépôts de sédiments, faible pour une baisse de 50 cm et plus marquée pour une baisse de 1m. Par ailleurs, sur les autres secteurs, on peut noter une très légère baisse des dépôts de sédiments mais peu significative.

Cependant, comme expliqué dans la partie 8.2, une instabilité est observée dans le modèle hydraulique lors de la diminution de la hauteur du seuil. Cette instabilité ainsi que des résultats contradictoires sur un ancien modèle de Miribel-Jonage (Andries et al, 2011) nous poussent à douter de ces résultats et nous encourageant par la suite à poursuivre cette étude en effectuant une mise à jour du modèle avec de nouvelles données plus précises.

9 CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

La figure 29 présente un récapitulatif des résultats obtenus pour le site pilote de Miribel-Jonage quant aux risques de colmatage au cours d'une chasse ou d'une crue.

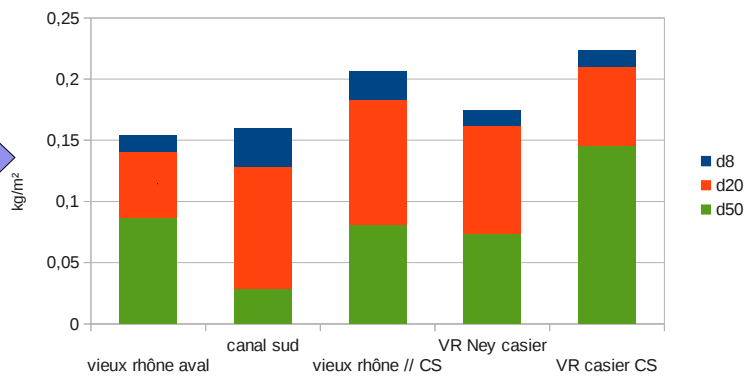


Dépôt minimisé pour débit minimal dans Miribel (30 m³/s)

Une majorité de limons fins (20 µm) dans les dépôts

Dépôt de MES en kg/m² dans les différents bras constituant le Vieux Rhône :

- Vieux Rhône amont (VR Ney casier + VR casier CS)
- Vieux-Rhône
- Canal Sud
- Vieux Rhône aval



Taux de dépôt homogènes dans tous les biefs du Vieux-Rhône

Figure 29 : Schéma de récapitulatif des principaux résultats

La meilleure des solutions techniques et donc de faire passer un débit de 30 m³/s dans le canal de Miribel pour ainsi limiter les dépôts autour du champ captant et préserver leur capacité de pompage.

Ce rapport permet de dresser un premier bilan sur la zone et de répondre à la problématique. Mais d'autres pistes restent à étudier pour affiner le résultat ou proposer d'autres solutions, telles que :

- Le rinçage à l'eau claire de la zone après les chasses : qui pourrait sans doute s'avérer utile pour remettre en suspension une partie des sédiments déposés lors de la chasse.
- La variation de la hauteur du seuil : elle s'avère ici ne pas être une solution adaptée, mais la reproduction du seuil dans le modèle est à améliorer, ainsi que le tronçon du Vieux-Rhône amont qui présente une instabilité hydraulique. Il se pourrait qu'avec une nouvelle mise à jour du modèle hydraulique on obtienne des résultats différents du point de vue sédimentaire.
- L'amélioration du modèle : Certains paramètres du modèles, comme les coefficients de frottements, sont à vérifier et réactualiser.
- Une modélisation en 2D ou 3D permettrait sans doute d'obtenir des résultats plus précis sur cette zone complexe qui pourrait tout à fait nécessiter un niveau de modélisation plus élevé pour représenter au mieux son fonctionnement.

10 RÉFÉRENCES

- Andries, E., Le Coz, J., Faure, J.B., Camenen, B. & Launay, M. (2011). Impact of dam flushes on bed clogging in a secondary channel of the Rhône river. RCEM conference, Pékin, Chine, CDRom, 8 pages.
- Andries, E. Faure, J.B. & Camenen, B. (2012). Modélisation hydro-sédimentaire du Rhône à l'aide des modèles numériques Mage et Adis-TS. Rapport Axelera
- Burgeap (2011). Étude préalable aux opérations de chasses hydrauliques du Rhône amont – Analyse des échanges Rhône-nappe. Rapport technique 15, pp. 1-5.
- Bravard J.-P. & Clément A. (2008) Le Rhône en 100 questions. ZABR (Zone Atelier du Bassin du Rhône), 295, pp. 84-85.
- Camenen B. (2007). A simple and general formula for the settling velocity of particles in suspension. *J. Hydraulic Eng*, 133(2), pp. 229-233.
- Camenen B. (2011). Parametrization of the source terms in an advection diffusion model. Document non publié, 6 pages
- Camenen, B., Andries, E., Faure, J.B., de Linares, M., Gandilhon F. & Raccasi G. (2012). Etude des transferts de sédiments fins dans le système Rhône : L'île du Beurre. Rapport Axelera
- CNR. (2009). Opérations d'accompagnement sur les aménagements CNR du haut-Rhône des chasses suisses de Verbois. Rapport technique, 48, pp.24-30.
- CNR. (2000). Opérations d'accompagnement sur les aménagements français du Haut-Rhône des chasses de la retenue de Verbois : campagne 2000. rapport de synthèse, Lyon.
- CNR. (1997). Chasses franco-suissees du Haut-Rhône : campagne 1997. rapport de synthèse, Lyon.
- CNR. (2010). Mesures d'accompagnement des chasses suisses 2012 : Notice technique de la consigne générale d'exploitation des ouvrages CNR. DR-B 10-1282a, Lyon.
- Degoutte, G. (2006). Diagnostique, aménagement et gestion des rivières – hydraulique et morphologie fluviales appliquées. Edition Tec et Doc, Lavoisier.
- Elder, J. (1959). The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow, *J. Fluid Mechanics* 5(4), 544–560.
- Faure J.-B. (2009). Résolution des équations de Barré de Saint-Venant 1D en réseaux complexes. Rapport Technique, 190, pp. 9-10.
- Fisher, H. B. (1967). The mechanics of dispersion in natural streams, *J. Hydraulic Division* 93(6), 187–216.
- Giraud, F. M., Faure, J.B., Zimmer, D., Lefeuvre, J.C. & Skaggs, R.W. (1997). Hydrologic modeling of a complex wetland, *J. Irrigation and Drainage Eng.* 123 : 5, 344-353.
- Iwasa, Y. & Aya, S. (1991). Predicting longitudinal dispersion coefficient in open-channel flows, dans 'Int. Symp. on Environmental Hydraulics', IAHR, Hong Kong, pp. 505-510.
- Launay, M., Le Coz J., Angot H., Dramais G., (2012). Traçage à la rhodamine WT pour étudier l'advection et la diffusion d'un polluant dans le Rhône à Miribel-Jonage. Rapport non publié, Irstea.
- Nicollet G. & Uan M. (1979). Steady open channel flows in compound channels [Écoulements permanents à surface libre en lits composés]. *La Houille Blanche* (1):21-30
- SIG Énergies Production Électrique (2009). Barrage de Verbois, chasse 2010. Dossier de demande d'autorisation. Rapport technique, 75, pp. 22-33.
- Simon, L. (1995). Contribution à la modélisation numérique du transport de polluants en rivière. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussée, Paris.

- Souhar O. & Faure J.-B., (2009). Approach for uncertainty propagation and design in Saint-Venant equations via automatic sensitive derivatives applied to Saar river. *Can. J. Civ. Eng.* Vol. 36, p. 1144–1154.
- Souhar, O. & Faure, J.B. (2010). Automatic differentiation strategy for the local sensitivity analysis of a one-dimensional hydraulic model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 16 p.
- Soulsby R. (1997). *Dynamics of marine sands, a manual for practical applications*. Thomas Telford, London, UK. ISBN 0-7277-2584 X.
- Tanguy J.-M. (2010). *Environmental Hydraulics Modeling Software*, ISTE and Wiley, ; Vol. 5, chapters 16, 19 and 21.
- Ternat F., Boyer P., Anselmet F. & Amielh M. (2008). Erosion threshold of saturated natural cohesive sediments : Modeling and experiments, *Water Resources Res.* 44(W11434), 1-18.
- Wolf M. (2011) Évaluation de la modélisation 1D pour rendre compte d'une chasse de la retenue de Génissiat. Rapport de fin d'étude Polytech Paris UMPC, Cemagref/CNR.