

## **Actualisation des flux de sédiments (grossiers, sables, fins) du Rhône et des contributions de ses affluents. Quelle continuité sédimentaire viser pour le Rhône de demain?**

Update of sediment flows (coarse, sands, fine) of the Rhône and the contributions of its tributaries. What sediment continuity to to be targeted for the Rhône?

Frédéric LAVAL<sup>1</sup>, Guillaume FANTINO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GINGER-BURGEAP, Agence de Grenoble, 2 rue du Tour de l'Eau, 38400 ST MARTIN D'HERES. [f.laval@groupeginger.com](mailto:f.laval@groupeginger.com)

<sup>2</sup>GEOPEKA, Place de la Passerelle, 69 410 CONDRIEU. [guillaume.fantino@geopeka.com](mailto:guillaume.fantino@geopeka.com)

### **RÉSUMÉ**

Dans le cadre du schéma directeur de gestion sédimentaire du Rhône entre le lac Léman et la mer Méditerranée, porté par un partenariat DREAL-CNR-EDF-Agence de l'Eau, les flux sédimentaires du Rhône ont été actualisés pour ses composantes grossières et fines, et font l'objet d'une première estimation du continuum sableux. Pour ce faire, les travaux de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR4-OSR5) ont été valorisés et confrontés aux bilans sédimentaires des différents tronçons homogènes du Rhône sur les vingt dernières années.

En parallèle, les apports grossiers des affluents ont été estimés à partir des études de leur bassin versant et des opérations de dragages menées à leur confluence ; les tendances à venir de ces apports - stabilité, tarissement ou retour des sédiments - sont mises en évidence.

Ce travail permet aujourd'hui d'obtenir une bonne photographie des intrants et des flux sédimentaires du Rhône. Les points de rupture de la continuité sédimentaire apparaissent, qu'ils soient naturels ou liés aux aménagements anthropiques de la vallée. Cette connaissance actualisée permet de soulever la question de la continuité sédimentaire à viser et des pistes pour y parvenir : sur quels linéaires ? pour quelles granulométries ? avec quelle variabilité et quelle inertie dans le temps ? avec quelles modalités de gestion ?

### **ABSTRACT**

As part of the Rhone sediment management master plan between Lake Geneva and the Mediterranean Sea, supported by a DREAL-CNR-EDF-Agence de l'Eau partnership, the sediment flows of the Rhône have been updated for its coarse and fine components, a first estimate of the sandy continuum is given. The scientific works of the Rhône Sediment Observatory (OSR4-OSR5) has been valued and compared with the sediment balances of the various homogeneous sections of the Rhône over the last twenty years.

At the same time, the coarse inflows from tributaries were estimated from studies of their watershed and dredging operations carried out at their confluence. The future trends of these inputs - stability, drying up or return of sediments - are highlighted.

This work now makes it possible to obtain a good image of the inputs and sediment flows of the Rhône. The points of rupture of the sedimentary continuity appear, whether they are natural or linked to anthropogenic developments in the valley. This updated knowledge makes it possible to raise the question of the sedimentary continuity to be targeted and the tracks to achieve it: on which reaches ? for which grain sizes? with what variability and what inertia over time? with what management methods?

### **MOTS CLES**

Continuité sédimentaire, Rhône, affluents, sédiments grossiers, sables, sédiments fins, mesures de gestion

# 1 METHODOLOGIE D'ELABORATION DU SCHEMA DIRECTEUR

## 1.1 Objectifs

La DREAL Auvergne-Rhône-Alpes intervient comme maître d'ouvrage de l'élaboration du schéma directeur de gestion sédimentaire du Rhône entre le lac Léman et la mer Méditerranée, en partenariat avec CNR, EDF et l'Agence de l'Eau qui participent financièrement au dossier et composent le Secrétariat Technique (SECTECH). L'étude comporte 2 phases : Phase 1 – Etat des lieux et Phase 2 – Elaboration du schéma de gestion sédimentaire.

La Phase 1 est décomposée en 5 missions :

- Mission 1 – Recueil des données et des études existantes sur le périmètre de l'étude ;
- Mission 2 – Synthèse du fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve Rhône ;
- Mission 3 – Identification des enjeux liés à la gestion sédimentaire sur le fleuve en termes d'environnement, de sûreté/sécurité et de développement économique ;
- Mission 4 – Inventaire des modes de gestion actuels sur le fleuve et retours d'expériences des opérations de gestion depuis 50 ans. Mise en évidence des incohérences éventuelles. Evaluation du coût des opérations de gestion actuelles ;
- Mission 5 – Retour d'expérience sur les types de gestion mis en place sur d'autres grands fleuves européens ;

Les résultats de la présente communication sont issus de la Mission 2 dont l'objectif général était de faire une synthèse du fonctionnement hydrosédimentaire du Rhône. L'approche a été structurée autour des dimensions suivantes :

- La trajectoire hydromorphologique du Rhône : quel état « naturel » au 19<sup>ème</sup> siècle ? quelles pressions anthropiques sur le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle à aujourd'hui ? quel fonctionnement actuel ? quelle tendance attendre compte tenu du fonctionnement actuel du Rhône et de ses affluents ? ;
- Les 3 dimensions géographiques que sont l'axe Rhône, les unités hydrographiques cohérentes (UHC), les tronçons homogènes (TH) et les sites de gestion (décrits en détails en Mission 4) ;
- Le rôle des 3 composantes granulométriques : limons (fines), sables et grossiers dans ces différentes évolutions.

## 1.2 Sectorisation du Rhône

Les analyses du fonctionnement hydrosédimentaire sur le Rhône ont été réalisées à plusieurs échelles en tenant compte des caractéristiques géomorphologiques avant aménagement (pente, largeur de vallée, etc.) et après aménagements (navigation, endiguements, hydroélectricité, extractions) :

- Grands tronçons du Rhône : Haut-Rhône, Rhône médian, Rhône aval, Delta ;
- Unités hydrographiques cohérentes : 25 UHC ont été définies entre Genève et la Méditerranée ;
- Tronçons homogènes : 104 tronçons correspondant à une retenue, un Vieux Rhône, un canal de dérivation, ou une portion de Rhône total, et avec un fonctionnement hydromorphologique homogène ont été définies.

Les bilans sédimentaires, ainsi que les estimations de flux moyens annuels, ont été réalisés à l'échelle des tronçons homogènes, ce qui permet d'avoir une vision fine du continuum sédimentaire.

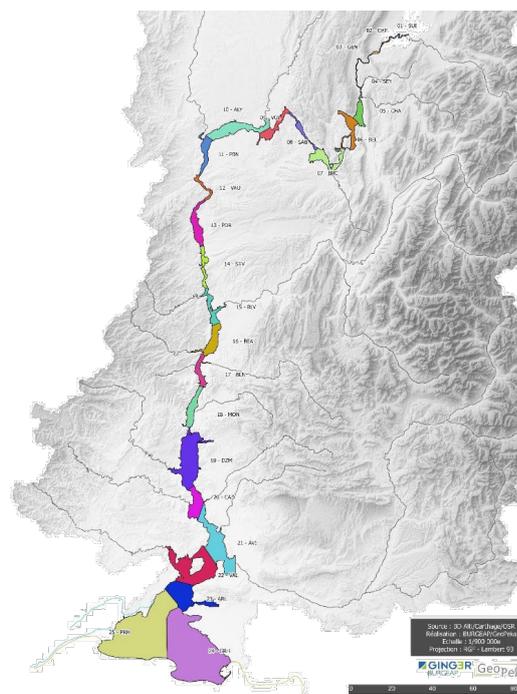


Figure 1 : Sectorisation du Rhône en 25 unités hydrographiques cohérentes

## 2 BILAN DES FLUX SEDIMENTAIRES

### 2.1 Données exploitées

Le travail d'analyse a été mené à partir de données disponibles jusqu'en juin 2019. Il s'agit notamment de travaux de recherche dans le cadre de l'OSR4 et de l'OSR5. Le tableau ci-dessous résume les données théoriques et de validation qui ont été utilisées pour chaque type de flux sédimentaire.

La figure 2 illustre le profil en long de la capacité de charriage moyenne annuelle, calculées (trait noir) et validée à partir de données bathymétriques (trait rouge).

Bilan des données exploitées par type de flux sédimentaire

Cours d'eau	Type de flux	Données théoriques	Données de validation
Rhône	Grossiers	Proportion de grossiers dans la capacité de charriage moyenne annuelle (modèle GTM de Recking, 2016)  Diamètres max remobilisable en crue	Bilan sédimentaire à partir de comparaisons bathymétriques des sections du Rhône  Expertise du fonctionnement
	Sables	Courbes de tarage ponctuelles $Q_s = f(Q)$  Proportion de sables dans la capacité de charriage moyenne annuelle (modèle GTM de Recking, 2016)	Bilan sédimentaire à partir de comparaisons bathymétriques des sections du Rhône  Mesures ponctuelles par prélèvements et/ou AdCP
	Fines (MES)	-	Mesures MES au niveau de réseau de station de suivi du Rhône
Affluents	Grossiers	Etudes de bassins versants (capacités de charriage)	Bilan sédimentaire des volumes dragués aux confluence  Expertise du fonctionnement
	Fines (MES)	Etudes de bassins versants (estimation des flux de MES)	Mesures MES au niveau de réseau de station de suivi du Rhône

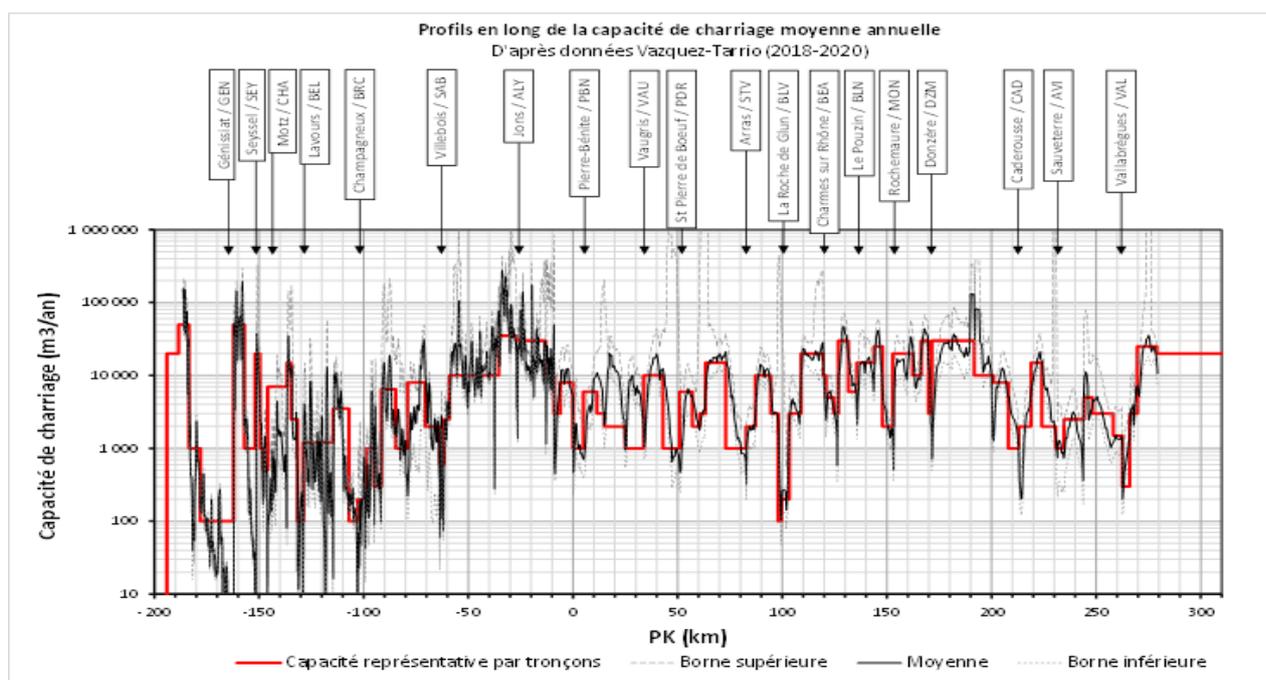


Figure 2 : Profil en long de la capacité de charriage moyenne annuelle

## 2.2 Synthèse des résultats

### 2.2.1 Lien entre les aménagements et les flux au cours du temps

Le transport des sédiments du fleuve a été fortement modifié par les évolutions climatiques, par les extractions massives, par les aménagements successifs du fleuve (chenalisation au 19<sup>ème</sup> siècle pour la navigation, hydroélectricité au 20<sup>ème</sup> siècle), par l'évolution propre de ses affluents (barrages réservoirs, etc.) et par l'occupation des sols de son bassin versant.

Ainsi, pour la période du 20<sup>ème</sup> siècle, il est possible de montrer que l'essentiel des impacts sur les flux sédimentaires avait eu lieu en 1960, alors que seulement 9 aménagements hydroélectriques sur les 22 actuels avaient réalisés. En effet, la continuité des flux sédimentaires sur l'axe Rhône était alors définitivement altérée du fait des extractions dans la traversée de Lyon, des premiers grands aménagements (Génissiat, Donzère-Mondragon, Montélimar), et de la privation des apports des affluents (Arve, Isère, Durance notamment). Les aménagements réalisés après 1960 ont ainsi été réalisés dans des conditions de charriage très pauvre pour le Rhône et ses affluents.

### 2.2.2 Rôle des affluents

Au niveau des affluents, l'Ain est confirmé comme étant le principal contributaire en apports grossiers au Rhône, avec de l'ordre de 30 à 40 000 m<sup>3</sup>/an (Figure 3). Ces flux alimentent le canal de Miribel jusqu'à l'entrée de Lyon. Les autres contributaires importants actuellement sont l'Arve, la Drôme et l'Eyrieux avec de l'ordre de 15 à 20 000 m<sup>3</sup>/an. Les apports par autres affluents déclinent en-dessous de 6 000 m<sup>3</sup>/an, et sont en très forte réduction par rapport à la situation avant aménagement : par exemple l'Isère et la Durance ne contribuent quasiment en charge de fond, sinon en sables grossiers (Figure 4).

### 2.2.3 Flux sur l'axe Rhône

Là où le transit par charriage atteignait naturellement près de 350 000 m<sup>3</sup>/an à l'entrée du Bas Rhône, aujourd'hui il ne dépasse guère 40 000 m<sup>3</sup>/an (figure 5). Le constat global est ainsi celui de la stabilité et de la segmentation (un barrage hydroélectrique tous les 15 à 40 km).

A l'échelle d'une UHC, le schéma général de la capacité est une réduction progressive dans la retenue, très faible au passage des barrages, qui augmente dans les Vieux Rhône avec un effet de pavage au pied des ouvrages, se stabilise, avant d'augmenter à nouveau à la restitution de l'usine (effet de l'hydrologie), puis de baisser dans la retenue qui suit en aval.

Un lit avec un charriage actif et peu perturbé est très rare aujourd'hui et ne subsiste que dans quelques tronçons : le Vieux Rhône de Chautagne (05-CHA), le canal de Miribel (10-ALY) grâce aux apports de l'Ain, le Rhône total en aval de Beaucaire (23-ARL),

La réduction de la capacité de mobilisation est établie pour :

- un facteur 20 à 25 à cause de l'hydrologie dans les RCC du fait de la diversion des débits ;
- un facteur de 15 dans la retenue du fait de la réduction de la pente ;
- un facteur 10 à cause de la granulométrie de surface (pavage), liée aux endiguements, extractions plus qu'aux aménagements hydroélectriques ;
- Globalement d'un facteur 25 à 35 par rapport à la situation avant aménagements.

Les flux en sédiments fins sont également en réduction dans le bassin versant, pour de multiples raisons : végétalisation des versants, piégeages dans des retenues hydroélectriques des affluents, piégeage dans les retenues du Rhône comme Génissiat. Toutefois, une bonne continuité pour les sédiments fins est observée le long du Rhône. Les principaux contributaires en sédiments fins sont l'Arve, la Saône, l'Isère et la Durance. La Figure 6 illustre le profil en long de l'ensemble des flux fins, sableux et grossiers sur le Rhône.

Les Figures 7, 8 et 9 illustrent les mêmes résultats sous forme cartographiques et précisent, pour les fines et les grossiers, les cartes de l'Etude Globale du Rhône (2000).

### 3 CONCLUSION

Le travail mené permet aujourd'hui d'obtenir une bonne photographie des intrants et des flux sédimentaires du Rhône. Les points de rupture de la continuité sédimentaire apparaissent, qu'ils soient naturels ou liés aux aménagements anthropiques de la vallée. Cette connaissance actualisée permet de soulever la question de la continuité sédimentaire à viser et des pistes pour y parvenir : sur quels linéaires ? pour quelles granulométries ? avec quelle variabilité et quelle inertie dans le temps ? avec quelles modalités de gestion ? ces éléments sont en cours d'analyse et pourront être déclinés lors de la présentation.

Le Rhône n'est pas capable de remobiliser son propre lit qui est stabilisé par le pavage mais il peut transporter une charge résiduelle plus petite, issue d'un transport solide hérité, des apports des affluents, ou de matériaux réinjectés. Cela renvoie à la distinction « travelling bedload » et « structured bedload » de Piton et Recking (2017). Ces notions sont importantes pour les actions de restauration : on peut réinjecter des sédiments qui se déplaceront sur le fond pavé, mais ne seront pas forcément en mesure d'interagir avec lui.

Des actions de restauration doivent être réfléchies en amont car elles peuvent avoir un impact négatif si les sédiments réinjectés finiront par se stocker dans la retenue aval. Donc les réinjections doivent plutôt viser les longs RCC, et doivent se combiner avec des actions de restauration des marges pour que le bénéfice soit optimisé dans une logique de restauration de l'espace de bon fonctionnement.

### BIBLIOGRAPHIE

Laval, F., Fantino, G., Strosser, P., Mallet, J.-P., Boucard E., Cumin, T., Gilles, G., Catalon, E., Mosselman, E., 2021. Etude préalable au schéma directeur de gestion sédimentaire du fleuve Rhône du lac Léman jusqu'à la mer Méditerranée. Rapport de Mission 2 – synthèse du fonctionnement hydrosédimentaire. Notes de synthèse par unité hydrographique cohérente (UHC ) (25 notes pour l'ensemble du Rhône).

Vázquez-Tarrío, D., Tal, M., Camenen, B., Piégay, H. (2018). Effects of continuous embankments and successive run-of-the-river dams on bedload transport capacities along the Rhône River, France

SOGREAH (2000). Etude globale du Rhône. Volet transport solide.

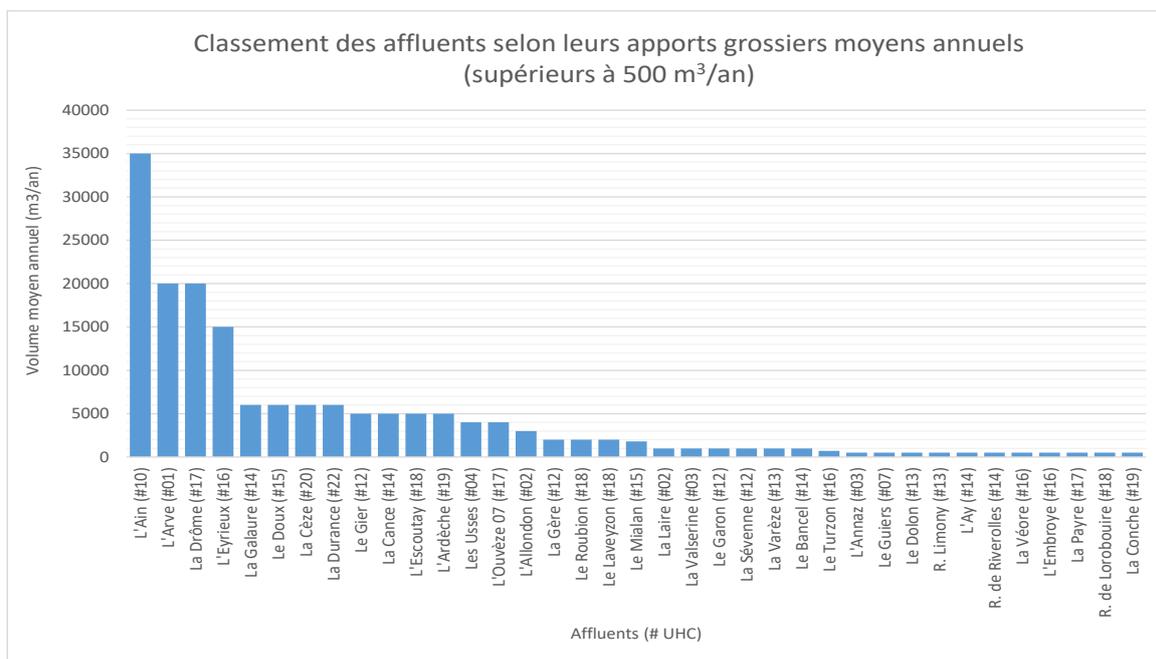


Figure 3 : Classement des affluents en fonction de leur contribution en sédiments grossiers

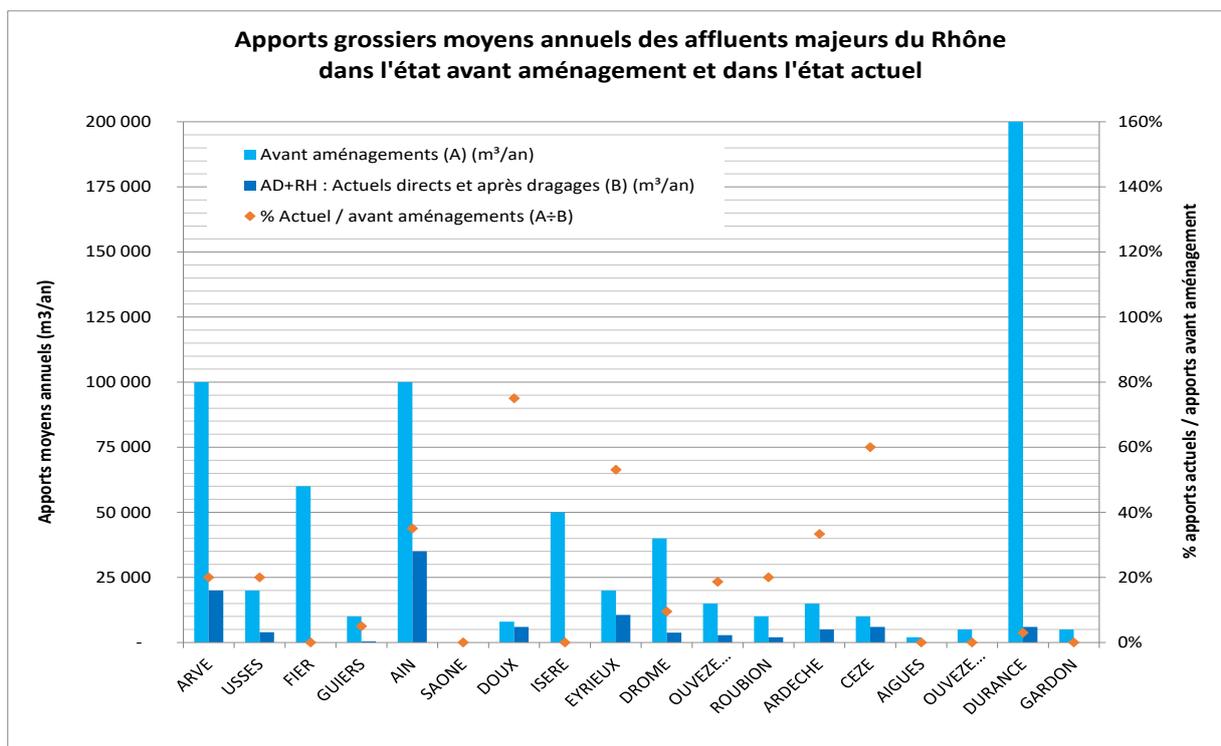


Figure 4 : Apports actuels et anciens des principaux affluents du Rhône

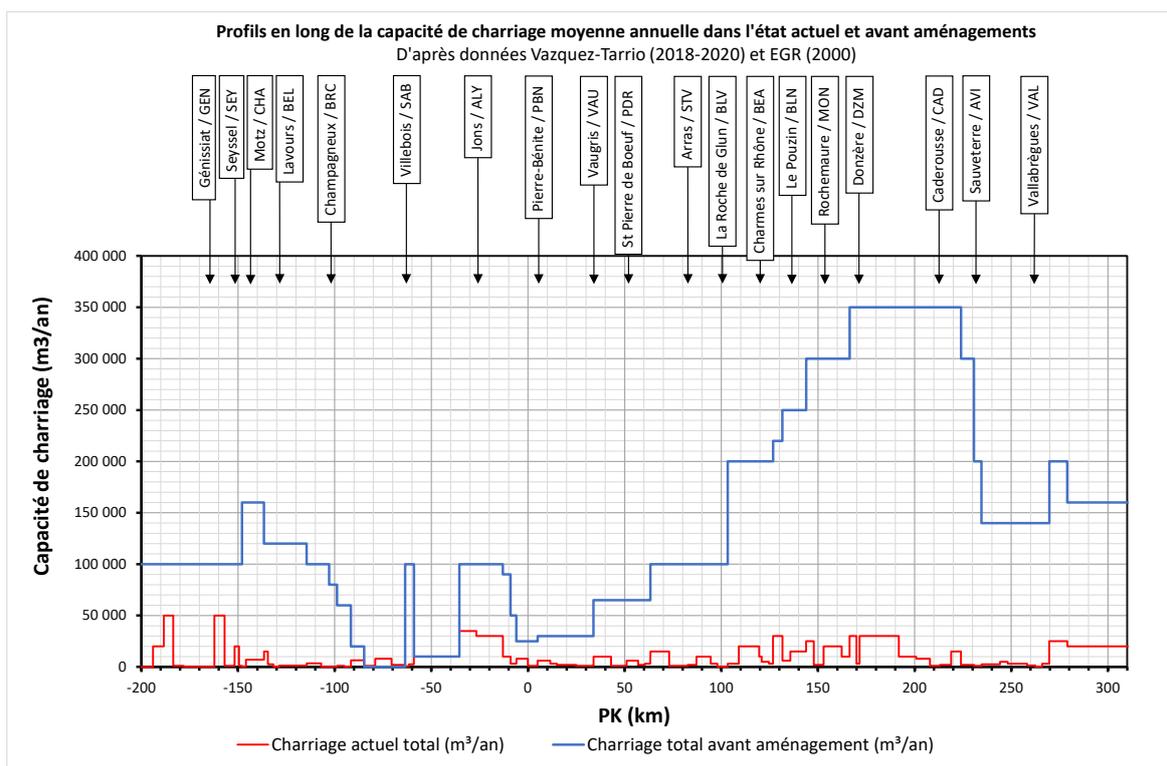


Figure 5 : Profil en long de la capacité de charriage moyenne annuelle dans l'état actuel et avant aménagements

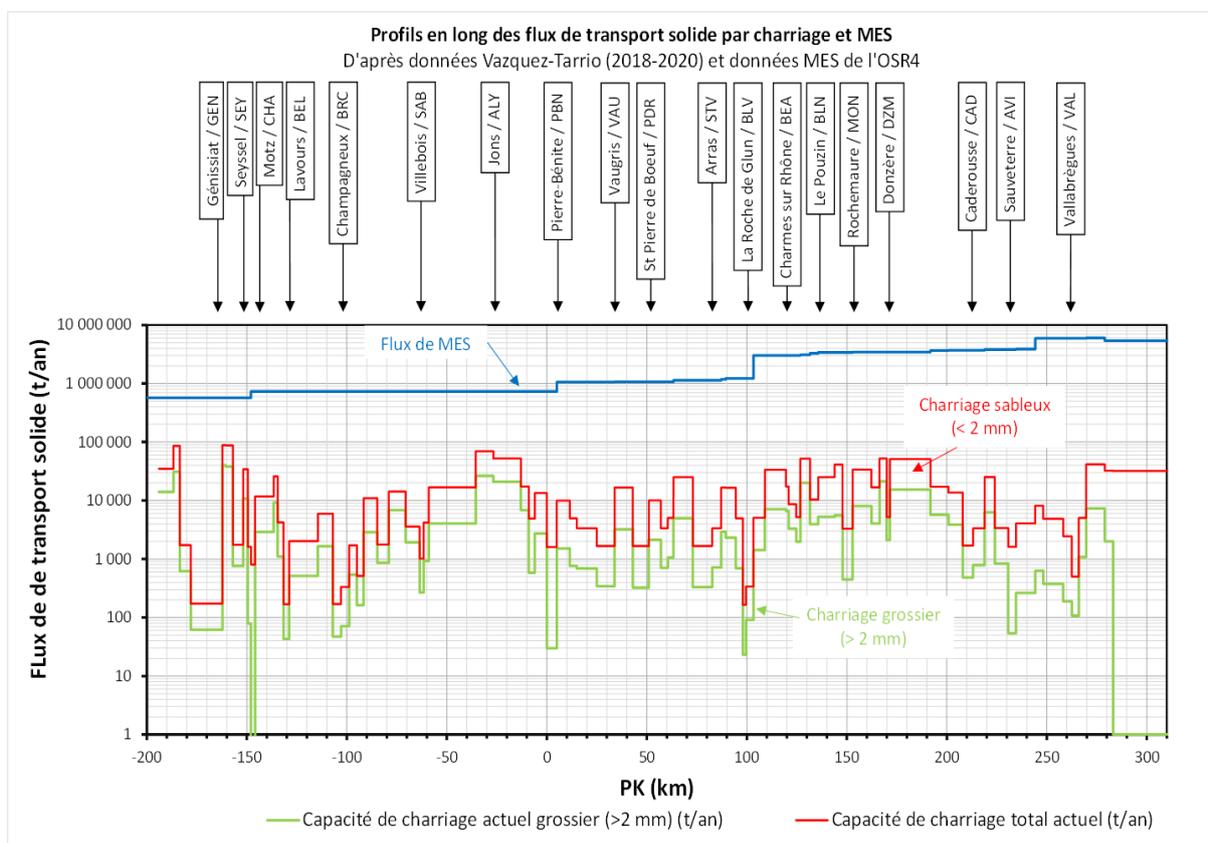


Figure 6 : Profil en long global du Rhône pour les flux solides par charriage et MES

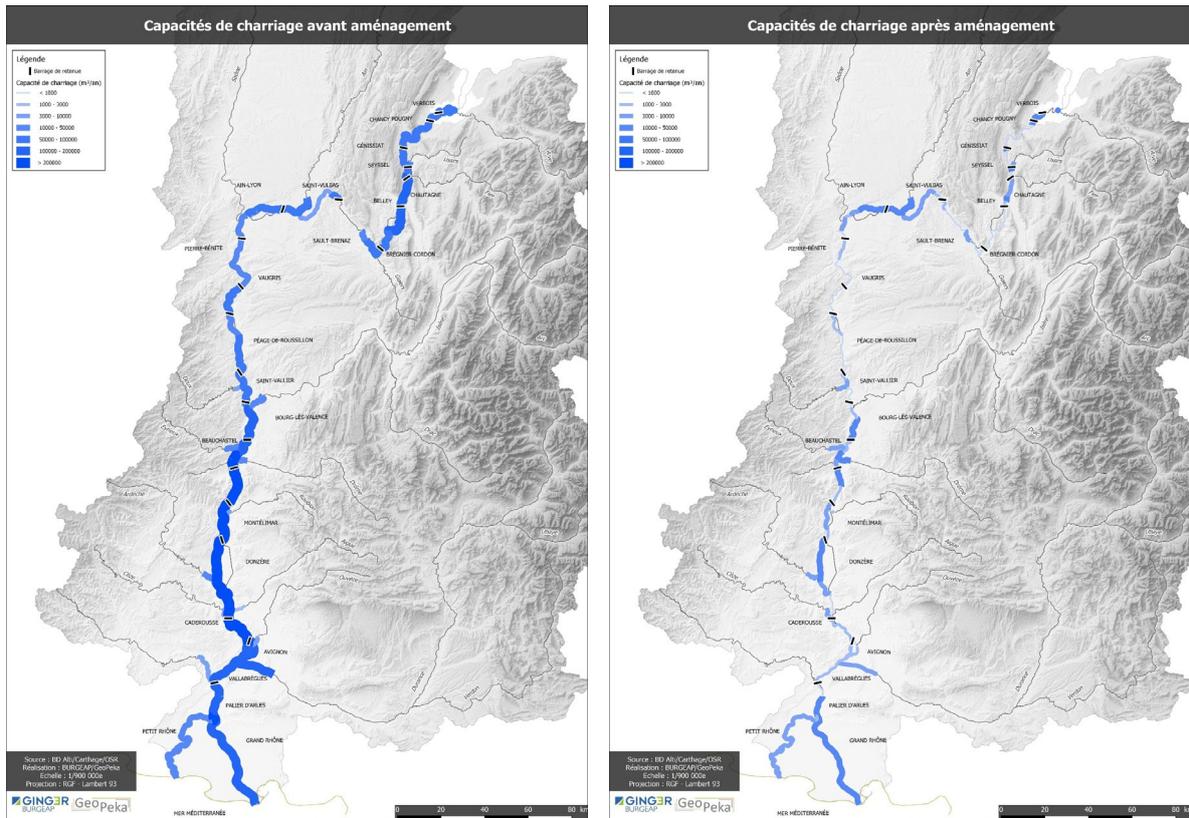


Figure 7 : Capacité de charriage moyenne annuelle par tronçons homogènes avant et après aménagements

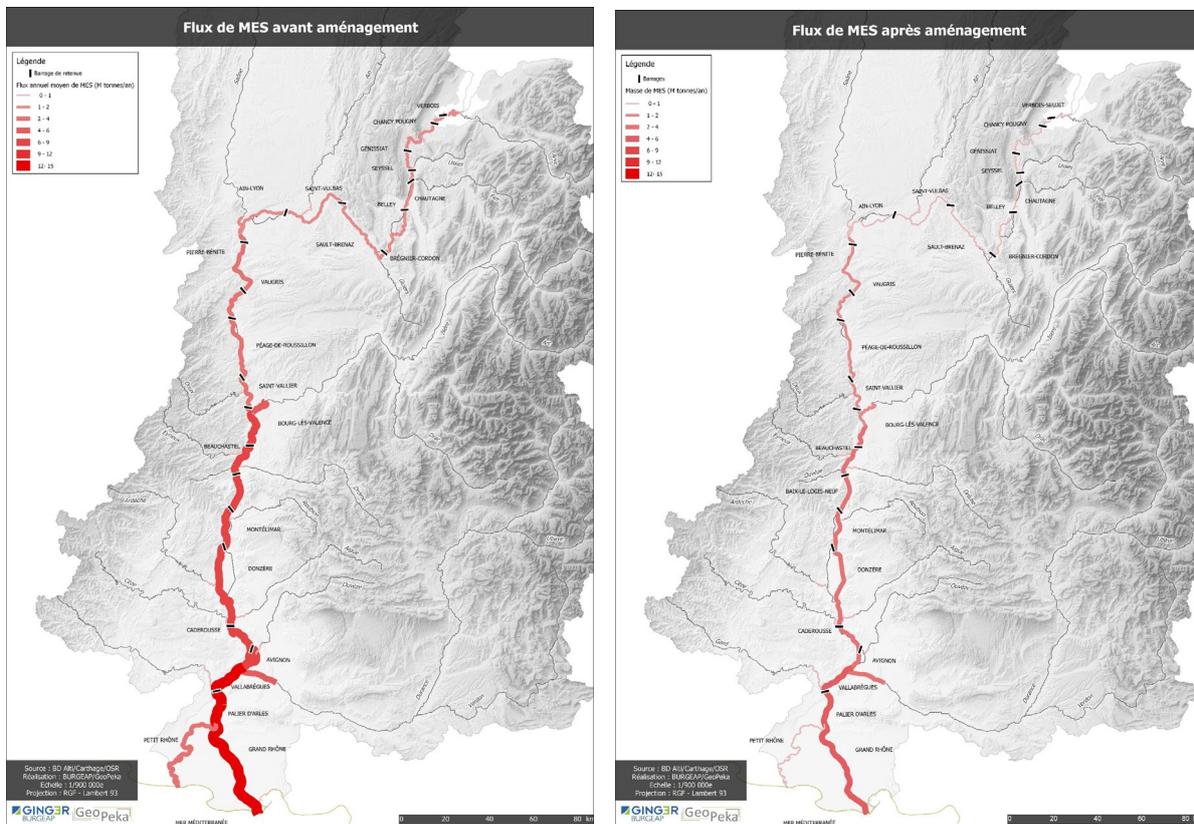
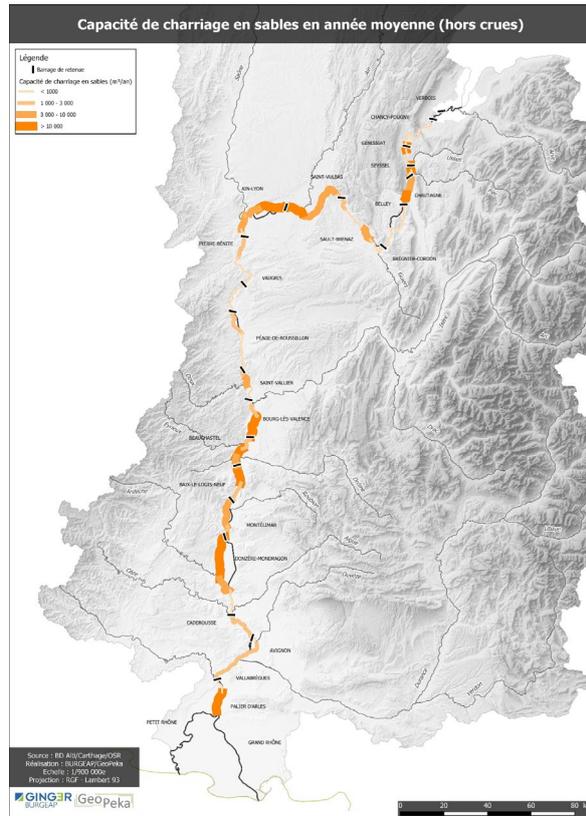
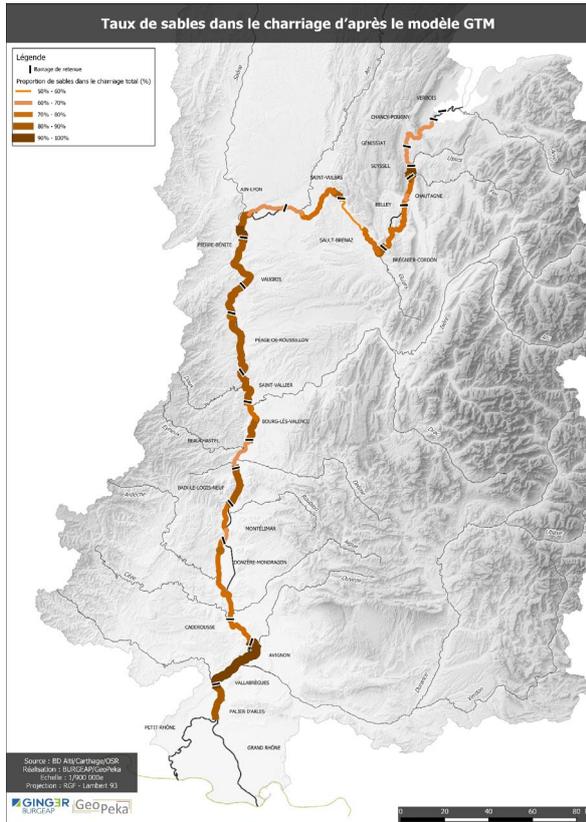


Figure 8 : Flux de MES en moyenne annuelle par tronçons homogènes avant et après aménagements



Proportion et flux de sable par tronçon homogène d'après le modèle de charriage GTM

**Carte 1 : Capacité de charriage moyenne annuelle en sables par tronçon homogène**