

Gestion des matériaux solides de l'Arve:

à la recherche d'un profil de référence de Chamonix à Genève

Hervé FAUVAIN¹, Anne LEPEU¹, Julien VERMEULEN²

Ms. reçu le 16 juin 2006, accepté le 17 juillet 2006

Abstract

Management of Arve River sediment transport: the search for a reference profile between Chamonix and Geneva. - The river Arve in the French northern Alps keeps eroding irreversibly from the village of Servoz down to the Rhône. The erosion reaches 12 m at Le Fayet, which constitutes the maximum ever observed in France. This general trend affects the stability of infrastructures such as bridges and dams, and also its overall system of connected waterbodies. On the other hand, some sectors upstream of Les Houches dam are overcharged. It affects negatively the river bed and increases the flood risks. An assessment of the Arve River sediment transport has highlighted the need to maintain the reference profile of the bed. The river will naturally evolve towards this profile; however the inertia of the system requires a human action to activate certain processes. The management plan for the Arve River sediment transport is based on a morphodynamic and hydrological follow-up protocol that aims to implement a coordinated and coherent management to reach the reference profile.

Keywords: Solid materials – Arve river – haulage – plan of management – incision – erosion – engrèvement – cleaning out – refill

Résumé

L'Arve, cours d'eau au régime torrentiel, s'est enfoncé et s'enfonce encore de façon irréversible depuis Servoz jusqu'à la confluence avec le Rhône. L'enfoncement a atteint 12 mètres au Fayet, un record des rivières françaises. Ce phénomène généralisé menace encore la stabilité des ouvrages implantés dans le lit de la rivière (ponts, seuils, digues, ...), mais également son équilibre (annexes à la rivière déconnectées, affluents perchés...).

A contrario, certains secteurs en amont du barrage des Houches se trouvent en excédent de matériaux, provoquant un engrèvement du lit et augmentant ainsi les risques d'inondations.

Une étude sur les transports solides de l'Arve a démontré la nécessité de respecter un profil de référence du lit. La rivière tendra naturellement vers ce profil, mais l'inertie du système est telle qu'une intervention humaine est encore nécessaire pour activer certains processus. Le plan de gestion des matériaux charriés de l'Arve s'appuie sur un protocole de suivi morphodynamique et hydrologique pour mettre en œuvre une gestion coordonnée et cohérente des matériaux pour atteindre le profil de référence.

Mots clefs: Matériaux solides – Arve – charriage – plan de gestion – incision – érosion – engrèvement – curage - recharge

Introduction

L'Arve prend sa source au Col de Balme à 2 191 m d'altitude sur la commune de Chamonix pour confluer avec le Rhône en aval de Genève au terme d'un parcours de 107 km.

La position du bassin supérieur de l'Arve entre le massif du Mont-Blanc et le massif des Aiguilles Rouges, avec ses nombreux glaciers et affluents torrentiels, lui confère un régime glaciaire aux crues violentes qui sans atteindre la brutalité dévastatrice des crues cévenoles, génère une puissante dynamique de

¹ Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords (SM3A) – 56, place de l'Hôtel de Ville – 74130 Bonneville (France)

² SOGREAH – 254, Route d'Apremont – 73490 La Ravoire (France)

vière reconstitue naturellement son gisement alluvial, on estime qu'il lui faudrait au moins 100 ans en supposant par ailleurs que tout apport lui serait restitué; ce qui n'est pas le cas (Mougin 2001; SOGREAH 2000).

Enfin, trois autres paramètres contribuent également au déséquilibre morphodynamique:

- la création de barrages hydroélectriques qui bloquent une partie du transit des matériaux;
- la restriction de l'espace de mobilité du fait des remblais en lit majeur et du développement de l'urbanisation;
- la multiplication des corrections des torrents affluents ainsi que la reforestation des pâturages qui réduisent les apports de matériaux solides.

L'Arve figurerait parmi les cours d'eau les plus déstabilisés d'Europe: milieu artificialisé, rivière chenalisée, bancs figés, annexes déconnectées, affluents perchés et un triste record français en terme d'incision pour une rivière alluviale (12 m d'enfoncement au Fayet).

Aujourd'hui, du fait de l'arrêt des extractions de matériaux à l'aval des Houches et du programme de travaux conséquent engagé depuis 1995 dans le cadre du contrat de rivière de l'Arve, le lit commence à se stabiliser progressivement. Les plus grandes évolutions appartiennent donc au passé, mais au prix d'une diminution de la pente motrice, et donc de sa capacité de transport par charriage, de la généralisation du pavage du lit et de la multiplication de seuils artificiels.

Cette étude s'est basée sur une modélisation numérique de l'évolution des fonds afin de connaître le profil d'équilibre à attendre à moyen terme (20 ans) et l'impact que pourraient produire certains aménagements sur cette évolution.

La modélisation réalisée grâce à l'historique des mesures de débit effectuées sur les limnigraphes a nécessité la définition d'une hydrologie moyenne sur l'Arve. Une mesure de la granulométrie des fonds, tronçon par tronçon, a été réalisée ainsi que de la granulométrie des torrents affluents. Le modèle a été calé en suivant le profil en long historique des Grandes Forces Hydrauliques de 1912 considéré comme référence de l'état naturel de la rivière.

Pour la modélisation, il a fallu intégrer les apports des torrents affluents, nombreux sur le cours de l'Arve et souvent à l'origine d'apports importants en matériaux solides. Ces apports ont été intégrés de deux façons différentes:

- en moyenne annuelle pour offrir une vision globale de l'évolution du lit
- par bouffées, en respectant le fonctionnement réel des torrents, pour connaître l'impact localisé sur les fonds de l'Arve.

Le modèle de l'état actuel a intégré les nouveaux aménagements (endiguements, ouvrages hydroélectriques, ...), et les nouvelles conditions d'apport sédimentaire (diminution des apports liés aux ouvrages de stabilisation des terrains en montagne et à la reforestation des zones de pâture). La difficulté a été d'évaluer l'apport solide des torrents affluents dans

■ La quantification d'un constat alarmant et son évolution

De ce constat alarmant, le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords (SM3A) a engagé une étude sur le transport des matériaux solides par charriage en 2000, en vue d'évaluer l'évolution actuelle et future du transit, d'établir un bilan besoins/apports et enfin, de proposer des recommandations et des mesures de gestion (SOGREAH 2000).

Fig. 3. Prises de vue aérienne de l'Arve à Thyez – Chenal unique, espace de mobilité réduite (source: IGN, institut géographique national)



l'état actuel. Pour certains affluents, comme le Giffre, les incertitudes ont nécessité la réalisation de plusieurs scénarios avec des apports différents afin de tester la sensibilité du modèle.

Pour l'analyse de l'évolution à moyen terme (20 ans), 5 scénarios différents ont été testés:

- scénario n°1: conservation du fonctionnement actuel du barrage des Houches qui ne laisse transiter qu'un volume moyen annuel de 15 000 m³ de matériaux et une hypothèse pessimiste sur les apports des affluents
- scénarios n°2 et 3: conservation du fonctionnement actuel du barrage des Houches mais hypothèse moyenne et optimiste sur les apports des affluents
- scénarios n°4 et 5: nouvelle gestion du barrages des Houches avec ouverture plus précoce des vannes de fonds permettant de laisser transiter un débit moyen annuel de 35 000 m³ de matériaux et hypothèses pessimiste et optimiste d'apport des affluents

Les modèles ont été corrigés pour tenir compte de l'influence du pavage résultant d'un tri granulométrique qui ralentit l'incision du lit. Les différents scénarios ont confirmé la tendance générale d'évolution à l'abaissement (même les scénarios les plus optimistes). Ils ont toutefois montré que les évolutions les plus notables appartenaient au passé.

Surtout la modélisation a permis de mettre en évidence une forte disparité suivant les secteurs avec des zones encore en incision marquée et des tronçons où un engravement pouvait être attendu. En schématisant, l'évolution à attendre est la suivante:

- exhaussement en amont du barrage des Houches où se concentrent de nombreux torrents affluents à fort charriage
- incision en ralentissement tendant vers un nouveau profil d'équilibre en aval du barrage des Houches

Cette vision globale masque toutefois des évolutions localisées avec notamment certains secteurs urbanisés en exhaussement pouvant entraîner une augmentation des risques d'inondation.

Les différents scénarios de modélisation ont permis les recommandations suivantes:

- nécessité de modifier le fonctionnement du barrage des Houches pour permettre une augmentation du volume de matériaux transités
- opportunité du déplacement des activités d'extraction à l'amont du barrage des Houches dans les secteurs en exhaussement
- définition d'un profil d'équilibre et de profils de références pour l'Arve

- établissement de 24 sites prioritaires (ou sites pressentis) nécessitant un suivi et des interventions

Le profil d'équilibre défini à la suite de la modélisation correspond au profil d'évolution vers lequel il faudrait tendre. Il est un compromis entre la tendance d'évolution de la rivière sur les 20 prochaines années (défini grâce à la modélisation du scénario n°4) et le respect des ouvrages, de la nappe et des niveaux d'eau en crue.

Toutefois, le profil du scénario n°4 n'est pas toujours compatible avec les activités humaines et les équipements présents. Sur certains secteurs, ce profil entraînerait une augmentation non acceptable des risques d'inondation et sur d'autre un abaissement des fonds préjudiciable aux ouvrages de franchissement, aux protections de berge, à l'alimentation des puits de captage d'eau.

C'est pourquoi 2 profils de référence ont été établis (un profil haut et un profil bas) définissant les limites acceptables en terme de risque d'inondation dans les secteurs urbanisés (profil haut) et les limites acceptables pour les ouvrages ou la nappe (profil bas) (Fig. 4).

Les tronçons où le profil du scénario n°4 ne se situe pas à l'intérieur de ces 2 profils de référence correspondent aux tronçons où une intervention humaine est nécessaire ou pressentie. Il s'agit des sites prioritaires définis dans le plan de gestion des matériaux solides. Le profil d'équilibre correspond à ce compromis entre une évolution attendue de la rivière et les limites acceptables pour les activités humaines.

■ Le plan de gestion: un outil d'observation, de planification et d'intervention

L'objectif du plan de gestion des transports solides consiste essentiellement à apporter une réponse opérationnelle aux problématiques rencontrées à deux niveaux:

- concernant le phénomène d'incision du lit de l'Arve qui génère un risque de déstabilisation des ouvrages et de déconnexion des milieux annexes;
- en terme de protection contre les inondations du fait de l'exhaussement de l'Arve dans certains secteurs à enjeux.

Alternative à la seule création de seuils ou à la reprise d'ouvrages, le plan de gestion s'intéresse directement à la dynamique sédimentaire en cherchant à at-

teindre à long terme un profil de référence. Il se décline en deux programmes: un programme de suivi et un programme d'interventions

1^{re} étape: le programme de suivi

Le protocole de suivi de l'Arve prend en compte l'évolution du lit tant en plan qu'en altitude, les ouvrages (tenue, affouillements...), l'hydrologie et enfin les événements sur le bassin versant (crues, débordements, glissements de terrain...).

L'objectif de ce suivi est de permettre, hormis une surveillance de l'évolution du lit, d'organiser les interventions, le cas échéant en les adaptant dans leur nature, dans leur fréquence ou dans leur localisation.

Constitution d'une base de données

Une première étape de compilation de données doit notamment permettre de recueillir: le profil en long réalisé par les Forces Hydrauliques en 1912 et 1913, les levés réalisés par d'autres gestionnaires (EDF entre autres), les différentes vues aériennes et photographies des ouvrages, des cours d'eau en crue, des laisses de crue..., les informations des différents ouvrages de franchissement ou de protection en bordure du cours d'eau.

En particulier, ces recueils s'avèrent importants pour recalculer précisément le profil bas du lit à ne pas dépasser au risque de déchausser les ouvrages.

Il s'agit également de tenir un journal des événements survenus sur l'Arve: crues, glissements, laves torrentielles, débordements, destructions...

Suivi du lit

Le suivi du lit de l'Arve doit nécessairement commencer par le relevé d'un état initial. Pour ce faire, une campagne photogrammétrique complète sur l'ensemble du lit de l'Arve sera menée puis renouvelée tous les 10 ans.

L'état initial doit s'accompagner d'un suivi visuel régulier qui s'applique soit aux ouvrages afin de déceler d'éventuels dysfonctionnements, soit au profil en long en quelques points à l'étiage.

Enfin, le suivi devra s'appuyer sur des mesures topographiques incluant la levée du profil en long de l'Arve après chaque crue quinquennale, ou au moins une fois tous les 5 ans.

Suivi hydrologique

Le suivi hydrologique a pour objectif d'améliorer les connaissances sur le régime hydraulique de l'Arve après calculs statistiques. Il permettra d'une part de caler la loi de débit solide en affinant les relations débits liquides / débits solides et d'autre part, de calculer le débit de début d'entraînement. D'une manière générale, les profils d'équilibre et de référence seront ajustés.

Planification

Le suivi régulier du fond du lit de l'Arve permet de déclencher ou non les interventions en comparant les profils en long relevés et le profil de référence majoré ou minoré des variations admissibles.

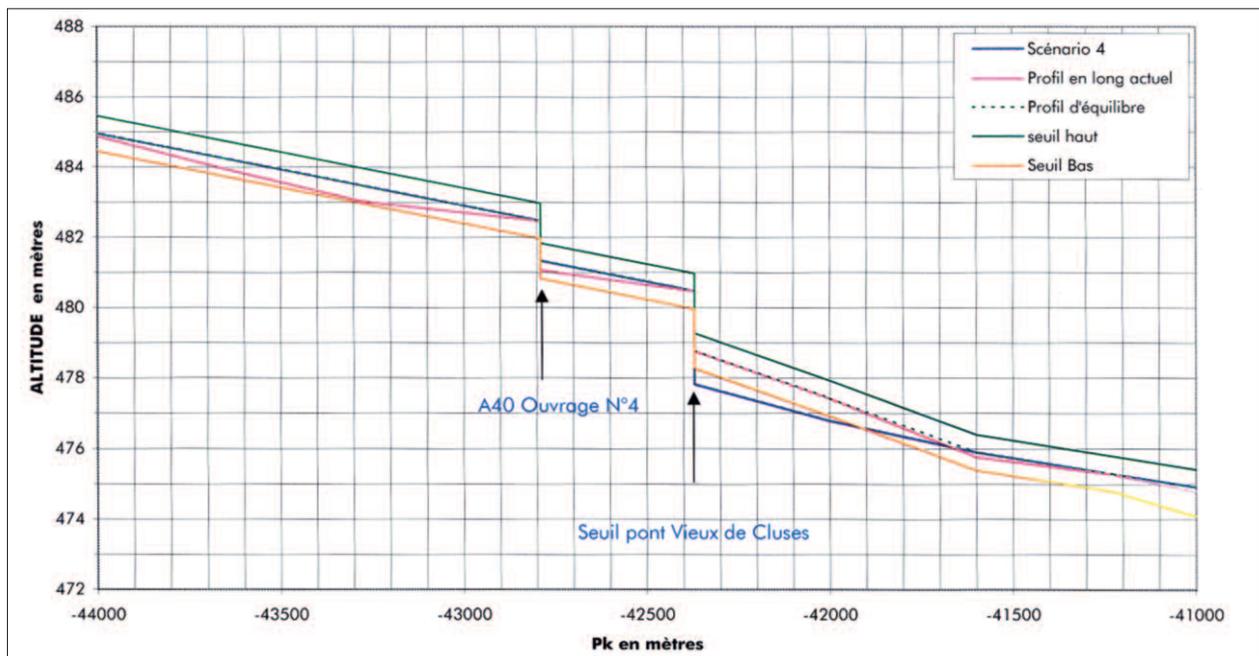


Fig. 4: Profil de référence du scénario 4 à Cluses (Cf. Fig. 1) entre les km 41 et 44 (comptés à partir de la frontière avec la Suisse) (source: SOGREAH 2000)

Toutefois, pour planifier les interventions, il s'agit de relever les secteurs où une action est prévisible à court ou long terme. Le plan de gestion a donc recensé 24 sites sur lesquels la maîtrise de l'incision ou de l'engravement est nécessaire ou prévisible. Cinq critères ont été retenus pour retenir les sites sensibles: les limites haute et basse admissibles du lit, l'état actuel du profil en long, son évolution à l'horizon 2020, son évolution après des épisodes événementiels émanant des affluents et la vulnérabilité des lieux face aux inondations.

Sur les 24 sites, 17 ont été recensés comme sensibles aux risques d'engravement constant ou au risque d'engravement ponctuel à la suite d'apports événementiels et sept sont sensibles aux risques d'incision et se situent en aval du barrage des Houches.

Le plan de gestion s'applique bien évidemment aux 24 sites sensibles mais n'exclut pas des interventions qui s'avèreraient nécessaires en dehors de ces sites.

Le programme d'intervention

Le plan de gestion s'appuie sur une vision d'ensemble mettant en balance l'amont et l'aval, mais également les enjeux locaux (inondation) et l'évolution probable du lit. Toute intervention est appréciée en fonction des risques de perturbation dans le temps ou dans l'espace. Par exemple, un rétablissement trop important du transit peut provoquer des débordements sur des sites aval sensibles aux inondations.

Les interventions humaines prévues sur les sites ont été pensées afin de limiter l'impact sur le milieu et les coûts d'intervention. Ainsi, certains secteurs en incision seront rechargés avec des matériaux prélevés sur les secteurs engravés les plus proches.

Enfin, certains sites ont été retenus car situés au droit de torrents affluents capables de modifier brusquement les apports. Sur certains secteurs (notamment en amont du barrage), les événements ponctuels brutaux ne sont pas compatibles avec le respect des risques d'inondation et nécessite des interventions de curage rapides. Sur certains secteurs, des aménagements particuliers ont même été réalisés: aménagement de confluents ou de plages de dépôt. Ces sites ont été intégrés au plan de gestion afin de garder la cohérence d'ensemble.

Maîtrise de l'exhaussement

La première approche consiste à réaliser des plages de dépôts sur les affluents, comme celle du torrent des Allières, affluent de l'Arve sur la commune de Chamonix (Fig. 5). Elle consiste également à procéder à l'aménagement des confluents. Il en est

ainsi, par exemple, des confluents de l'Arveyron d'Argentière (Fig. 6) et de la Creusaz, dont la capacité de rétention au droit des ouvrages est égale respectivement à 30 000 m³ et à 25 000 m³ pour des apports solides évalués en crue centennale à 50 000 m³ et à 100 000 m³.

En zones sensibles, lorsque les conditions de réalisation d'une plage de dépôts ou d'une rétention ne peuvent être réunies (traversée de zones densément urbanisées), deux solutions sont envisageables: la remobilisation de bancs de graviers ou le curage mécanique.

La remobilisation de bancs présente le double avantage d'abaisser la ligne d'eau en cas de crue et de restituer à la rivière le volume de matériaux remobilisés. Une opération de cette nature a notamment été réalisée en 2004 dans la traversée d'Annemasse (Fig. 7), où le banc situé en aval des ponts d'Etrembières a été arasé. Les matériaux ont été repoussés en rive droite dans le lit vif très incisé à cet endroit. Cette opération a permis également de diminuer les contraintes hydrauliques sur la rive droite particulièrement vulnérable en réouvrant un chenal secondaire en rive gauche et en répartissant plus largement les écoulements.

La dernière solution, en ultime recours, consiste à curer mécaniquement le lit et à extraire les matériaux. Afin de minimiser l'impact sur le milieu aquatique, les travaux se feront nécessairement derrière un batardeau ou sur une piste hors d'eau réalisée spécialement et démantelée au fur et à mesure de l'avancement des travaux (Fig. 8).

Une partie des matériaux issus de ces curages sera restituée à la rivière dans les secteurs incisés (cf. paragraphe suivant).

Maîtrise de l'incision

L'incision peut se corriger de deux manières, soit en rechargeant mécaniquement le tronçon déficitaire, soit en fixant le fond du lit à partir de seuils. Les interventions de recharge consistent alors à créer un pavage artificiel en rechargeant le lit avec des blocs de granulométrie supérieure à celle de la section concernée.

Lorsque cela est possible, ces actions sont généralement couplées avec celles des curages. En effet, s'il existe des sites de curage proches des sites de recharge, les matériaux curés seront triés, transportés mécaniquement et injectés à la rivière sur les sites d'incision.

Par contre, si l'incision est trop forte ou si certains ouvrages sont directement menacés, la construction de nouveaux seuils demeure indispensable. Dans



Fig. 5: Plage de dépôt du torrent des Allières (Source: SOGREAH 2003)

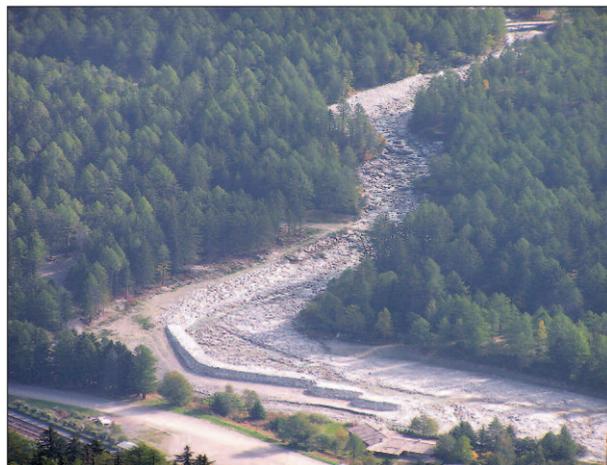


Fig. 6: Aménagement de la confluence Arve / Arveyron d'Argentière – Chamonix. (Source: SM3A 2004)

cette situation, les actions seront évaluées au cas par cas et feront l'objet d'une procédure distincte du plan de gestion.

■ Le bilan des volumes attendu

Le bilan des volumes ne prend en compte ni les apports événementiels (hypothèse difficilement estimable), ni les volumes liés aux remobilisations de banc (matériaux restitués intégralement à la rivière). On retiendra une moyenne comprise entre 40 et 45 000 m³/an de matériaux curés pour 3 à 5000 m³ de recharge annuelle. Ainsi, un volume de 40 000 m³ environ sera-t-il dégagé théoriquement par an. Ces excédents pourront être valorisés pour rembourser en partie les dépenses liées aux opérations.

■ Conclusion

Le plan de gestion doit être perçu comme un outil dynamique en ce sens qu'il devra en permanence être actualisé en fonction des événements observés. Les profils d'équilibre et de référence seront ainsi régulièrement ajustés. De même, il devra être tenu compte de l'évolution de la sensibilité des sites selon la réalité observée en matière d'incision et d'exhaussement. Alternative aux seules interventions de stabilisation du lit (seuils), cet outil de gestion trouve donc son intérêt dans le processus d'évaluation permanente qu'il suppose et dans sa capacité à évoluer au gré des constats de terrain.

L'application de ce programme se heurte toutefois à la réglementation française en vigueur peu adaptée à un tel projet. Le plan de gestion pose en effet le pro-



Fig 7: Remobilisation d'un banc de gravier – Annemasse (Source: SIAEAB 2004)



Fig. 8: Création d'une piste hors d'eau lors du curage de la confluence de la Creusaz et de l'Arve – Chamonix (Source: SM3A 2004)

blème du curage et donc du cadre procédural des opérations de «dragage». Ces dernières relèvent de trois législations: la loi sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), la loi sur l'eau et la loi sur la pêche. Se pose également le problème de la propriété publique ou privée d'un cours d'eau et par conséquent du droit de fortage. Enfin, on relèvera que la gestion des matériaux solides de l'Arve s'attache au charriage, mais ne traite

pas ici la question des sédiments fins à la fois abondants et en progression constante (fonte des glaciers, incision des couches limoneuses, glissements des Posettes...). Ces sédiments constituent également une forte composante du fonctionnement de la rivière, non plus en terme morphodynamique, mais en terme de colmatage des fonds et de certaines annexes ainsi que, plus globalement, en matière de qualité des eaux.

Références

- **MOUGIN P.** réédition 2001. «Les torrents de Savoie, inondations et catastrophes», (Chap. II), réédition 2001, la Fontaine de Siloé, Annecy.
- **SOGREAH.** 1998. «Etude d'aménagement de l'Arve et de ses affluents – commune de Chamonix – SM3A», novembre 1998.
- **SOGREAH.** 2000. «Etude des transports solides sur l'Arve.», septembre 2000.
- **SOGREAH.** 2003. «Plan de gestion des matériaux solides de l'Arve.», mai 2003.