

SOMMAIRE

Objet de l'étude	1
1. Synthèse des connaissances.....	1
2. Hydrologie	2
2.1. Stations hydrométriques	3
2.2. Débits caractéristiques de crues.....	3
2.3. Débits classés	4
2.4. Fonctionnement des dérivations de débit EDF.....	5
3. Morphologie	7
3.1. Evolution de l'équilibre morphologique de l'Arve	7
3.2. Structure des pentes naturelles	9
3.3. Tronçons homogènes.....	11
3.4. Capacité de transport de l'Arve.....	13
3.4.1. Formules utilisées.....	13
3.4.2. Granulométrie des matériaux.....	14
3.4.3. Volumes annuels.....	16
3.4.4. Capacité de transport dans l'état naturel (1912)	18
3.4.5. Capacité de transport en 1990.....	20
3.4.6. Charriage réel de l'Arve	23
3.5. Les extractions de graviers dans le lit	24
3.6. Apports à l'Arve	30
3.6.1. Apports de l'Arve Amont	30
3.6.2. Apports à l'aval du barrage des Houches.....	31
3.7. Zones de divagation laissées à l'Arve	36
3.8. Analyse tronçon par tronçon.....	39
3.8.1. Tronçon helvétique	39
3.8.2. PK 3 à PK 0,0 (frontière).....	39
3.8.3. Confluence Ménoge (PK 6,7) à PK 3	40
3.8.4. Barrage d'Arthaz (PK 7,7) à la confluence de la Ménoge (PK 6,7)	41
3.8.5. Pont Neuf (PK 11,4) au barrage d'Arthaz (PK 7,7)	42
3.8.6. Pont de Bellecombe (PK 15,9) à Pont Neuf (PK 11,4)	42
3.8.7. Confluence Borne (PK 26) à Pont de Bellecombe (PK 15,9)	43
3.8.8. Confluence Giffre (PK 33,9) à confluence Borne (PK 26)	44

3.8.9. Pont Vieux de Cluses (PK 42,2) au pont d'Anterne (34,6)	46
3.8.10. Torrent de la Rippaz (PK 54) au Pont Vieux de Cluses (PK 42,2)	47
3.8.11. Pont Vieux de Sallanches (PK 59) au torrent de la Rippaz (PK 54).....	48
3.8.12. Seuil du Fayet (PK 65,3) au Pont Vieux de Sallanches (PK 59)	49
3.8.13. Nant Bordon (PK 69) au seuil du Fayet (PK 65,3).....	50
3.8.14. Tronçon de Servoz du Pont Pelissier (PK 73,4) au pont du Chatelard (PK 71,1) ...	51
3.8.15. Tronçon des Houches PK 77,2 à PK 76	52
3.8.16. Tronçon de Chamonix PK 89 à PK 77,2.....	53
4. Analyse dynamique de l'évolution du lit sur le long terme	54
4.1. Tronçon Les Houches (PK 77,2) à la retenue de l'Abbaye (PK 65,3)	58
4.2. Tronçon Seuil du Fayet (PK65,3) au pont d'Oex (PK 54)	59
4.3. Tronçon Pont d'Oex (PK 54) au Pont Vieux de Cluses (PK 42,2).....	59
4.4. Tronçon Pont Vieux de Cluses (PK 42,2) au pont d'Anterne (PK 34,6)	60
4.5. Tronçon Pont d'Anterne (PK 34,6) au seuil de Bonneville (PK 25,6)	60
4.6. Tronçon Seuil de Bonneville (PK 25,6) au pont de Bellecombe (PK 15,8).....	61
4.7. Tronçon Pont de Bellecombe (PK 15,8) à frontière (PK 0).....	62
4.8. Tronçon helvétique	62
4.9. Conclusions de l'analyse de l'évolution de l'Arve sur le long terme.....	63
5. Analyse événementielle	64
5.1. Apports d'amont et de la Griez	64
5.2. Apports de la Diosaz	65
5.3. Apports du Nant Bordon.....	65
5.4. Apports du Bonnant	65
5.5. Apports du torrent de Crève-Cœur.....	65
5.6. Apports du torrent de la Rippaz	66
5.7. Apports du torrent de Balme	66
5.8. Apports du Giffre	66
5.9. Apports du Borne	66
5.10. Apports du Foron de Reignier.....	66
5.11. Apports de la Ménoge	67
6. Etude de l'inondabilité	67
6.1. Tronçon de Servoz	67
6.2. Tronçon de Chedde	68
6.3. Tronçon Seuil du Fayet à Sallanches	68
6.4. Tronçon Sallanches à Magland	68

6.5. Tronçon Magland à Cluses	69
6.6. Tronçon de la traversée de Cluses	69
6.7. Tronçon du seuil de Pressy au pont d'Anterne	69
6.8. Tronçon seuil d'Anterne à Bonneville	70
6.9. Tronçon confluence du Borne à Pont de Bellecombe.....	70
6.10. Tronçon Pont de Bellecombe au barrage d'Arthaz.....	70
6.11. Tronçon de Arthaz à la frontière franco-suisse	71
6.12. Tronçon helvétique	71

Annexe 1 – Plans de situation et planches photographique

Annexe 2 – Données hydrologiques – Débits classés

Annexe 3 – Profils en long des tronçons homogènes

Annexe 4 – Présentation du logiciel CAVALCADE

Annexe 5 – Résultats de CAVALCADE – Evolution sur le long terme

OBJET DE L'ETUDE

Selon les termes du CCTP, la présente étude a pour objet l'évaluation des débits solides de l'Arve et de leur transit avec la mise en évidence des déficits ou des excédents globaux éventuels après prise en compte du stockage des alluvions engendré par la réalisation de la totalité du programme des aménagements de stabilisation du profil en long de l'Arve prévus dans le contrat de rivière. Ce bilan besoins/apports doit notamment intégrer les extractions autorisées ou en cours d'autorisation sur la totalité du bassin versant du cours de l'Arve.

L'étude vise à constituer un outil d'observation de l'évolution de la rivière pour le SM3A, maître d'ouvrage du contrat de Rivière Arve, et une aide à la décision pour la programmation dans le temps des travaux participant à la stabilisation du profil en long de l'Arve.

L'étude a été confiée par le SM3A à SOGREAH par le Marché N°02/99 en date du 10/02/1999. SOGREAH a été invité à entamer l'étude par l'Ordre de Service N°1 du 26 avril 1999.

1. SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

La présente étude s'inscrit dans la continuité des études et travaux déjà réalisés dans le cadre du contrat de Rivière Arve. L'étude « Contrat de Rivière Arve » réalisé par SOGREAH (rapport de février 1993) est un élément essentiel de ces études. Elle a permis d'établir un diagnostic détaillé de l'état actuel (hydrogéologie, hydrologie, hydraulique, inventaire des ouvrages, qualité des eaux et milieu naturel aquatique, milieu naturel terrestre, paysage, gestion du territoire et usages de l'Arve). Ce diagnostic a mis en évidence les enjeux et les problèmes de l'Arve. Face à ce diagnostic, le Comité de Rivière a retenu une idée directrice pour cadrer et orienter le scénario d'aménagement : redonner à l'Arve une latitude de respiration partout où c'est possible dans le respect d'une cohérence de l'occupation de l'espace. Les actions proposées visant à appliquer ce principe ont été présentées dans le rapport d'étude et sont actuellement en cours de mise en œuvre.

L'étude « Contrat de Rivière Arve » s'inscrivait elle-même dans la continuité de nombreuses études globales et locales de l'Arve et de ses tributaires réalisées antérieurement et dans lesquelles elle a puisé abondamment. Parmi celles-ci, on citera notamment les études de Mougin sur les torrents de Savoie (1914, 1919, 1924), la thèse de J.L. Perry (1988) ainsi qu'un grand nombre d'études effectuées par SOGREAH.

Plus récemment, la mise en œuvre du contrat de Rivière Arve a suscité de nouvelles études qui viennent préciser la nature des travaux à réaliser sur l'Arve :

- Etude de la traversée de Chamonix/Les Houches (SOGREAH, 1998)
- Etude de la traversée de Sallanches (SILENE, 1998)
- Etude de la traversée de Cluses (1999-2000)
- Etude du tronçon Pressy-Bonneville (SOGREAH, 2000)
- Etude du tronçon Confluence Borne - Pont de Bellecombe (plaine des Contamines) (HYDRETTUDES, 2000).

Nous nous sommes largement appuyés sur les connaissances déjà rassemblées dans ces études et nous avons pris en compte les travaux projetés dans le contrat de rivière et non réalisés à ce jour tels qu'ils ont été précisés ultérieurement dans les études plus détaillées.

Les données topographiques disponibles ont été également rassemblées :

- Plans photorestitués au 1/5000 approché de la totalité de l'Arve (novembre 1990)
- Levés en plan au 1/500 et profils en travers au 1/200 de l'Arve dans le cadre de l'aménagement du secteur du confluent du Nant Bordon (décembre 1998)
- Levés en plan au 1/1000 de l'Arve dans la traversée de Sallanche (Etude SILENE, avril 1998)
- Levés en plan au 1/2000 de l'Arve dans la traversée des communes de Cluses, Scionzier et Magland (octobre 1999)
- Plans au 1/2000 de l'étude Pressy-Bonneville
- Autres documents SOGREAH relatifs à des études réalisées antérieurement

Nous nous sommes également appuyés sur la connaissance des profils en long de l'Arve à différentes époques, les profils en long des forces hydrauliques du début du siècle (1911-1913) constituant la référence avant les bouleversements anthropiques récents de l'Arve.

2. HYDROLOGIE

Ce chapitre synthétise les informations disponibles concernant les débits de l'Arve et des principaux affluents. Les informations sur les stations hydrométriques ainsi que les débits classés ont été obtenues par interrogation de la Banque HYDRO. Les débits caractéristiques de crues sont issus du Contrat de Rivière ou d'études antérieures.

2.1. Stations hydrométriques

Les principales stations hydrométriques qui équipent l'Arve et ses affluents sont les suivantes :

L'Arve à Chamonix-Mont-Blanc (Pont des Favrands) – BV = 205 km². Altitude 1020 m. Code V0002010. Producteur : DIREN Rhône-Alpes.. Données hydrologiques disponibles depuis 1936.

L'Arve à Sallanches (Pont Saint-Martin) – BV = 514 km². Altitude 535 m. Code V0032010. Producteur : DIREN Rhône-Alpes. Données hydrologiques disponibles depuis 1965.

Le Giffre à Taninges (Pressy) – BV = 325 km². Altitude 615 m. Code V0144010. Producteur EDF. Données hydrologiques disponibles depuis 1948.

L'Arve à Arthaz-Pont-Notre-Dame – BV = 1664 km². Altitude 410 m. Code V0222010. Producteur EDF. Données hydrologiques disponibles depuis 1961.

La Menoge à Vétraz-Monthoux – BV = 160 km². Altitude 435 m. Code V0235010. Producteur DIREN Rhône-Alpes. Données hydrologiques disponibles depuis 1979.

L'Arve au Pont de Carouge (Bout du Monde, Suisse) – BV = 1976 km². Altitude 380 m. Code SHGN 2170. Producteur : Service Hydrologique National (Suisse). Données disponibles depuis 1935.

2.2. Débits caractéristiques de crues

Nous reprenons ici les résultats de l'analyse hydrologique du Contrat de Rivière :

LOCALISATION	B.V. km ²	Q2 m ³ /s	Q10 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q100/Q10
Pont de la Joux	76	40	60	90	1,50
Confl. Arveyron	178	80	120	180	1,50
Les Houches	245	106	160	230	1,44
Les Chavants	258				
Le Fayet	368	155	220	330	1,50
Bonnant	(145)				
Sallanches	514	190	290	430	1,48

Cluses	677	250	369	528	1,43
Anterne	835	273	407	574	1,41
Giffre	(422)				
Confl. Giffre	1257	361	538	758	1,41
Bonneville	1357	380	567	799	1,41
Borne	(153)				
Confl. Borne	1510	409	609	859	1,41
Foron	(44)				
Bellecombe	1620	437	651	918	1,41
Arthaz	1664	455	665	930	1,40
Menoge	(162)				
Etrambières	1877	470	705	995	1,41
Geneve	1985	485	730	1030	1,41

2.3. Débits classés

Les débits classés suivants ont été obtenus par interrogation de la Banque HYDRO (tableaux ci-joint en Annexe 2).

- L'Arve à Chamonix-Mont-Blanc, période 1936-1999, 17327 débits journaliers.
- L'Arve à Sallanches, période 1965-2000, 10595 débits journaliers.
- L'Arve à Arthaz-Pont-Notre-Dame, période 1961-1997, 13514 débits journaliers.

A partir de ces données nous avons établi des débits classés pour chacun des biefs de l'Arve.

Pour les principaux affluents, les débits classés suivants ont également été obtenus par interrogation de la Banque HYDRO :

- Le Giffre à Taninges, période 1948-1997, 18263 débits journaliers.

- La Menoge à Vétraz-Monthoux, période 1979-1999, 6847 débits journaliers.

2.4. Fonctionnement des dérivations de débit EDF

La dérivation d'une partie du débit de la rivière prive les écoulements d'une partie de leur énergie de transport et par conséquent n'est pas sans effet sur la morphologie de la rivière :

- Au droit de la prise d'eau, la création d'un plan par des vannes produit une zone d'eau calme où la quasi totalité des matériaux charriés se déposent. Le dégravement de la retenue nécessite soit des chasses périodiques (avec plus ou moins de succès) soit un curage mécanique.
- Dans le tronçon court-circuité, l'entraînement de matériaux est réduit. Si la pente à l'aval de la prise est insuffisante, le lit est susceptible de s'exhausser sous l'effet des apports des matériaux dégravés et de matériaux provenant d'éventuels apports latéraux.
- Au droit et à l'aval de la restitution : une puissance d'entraînement accrue par l'apport d'eau claire, qui associée au déficit d'apports amont risque de conduire à un abaissement du lit.

Les dérivations de débit EDF sur l'Arve et ses affluents sont listées dans le rapport de Rivière Arve. Nous ne considérerons ici que les dérivations dont le fonctionnement a un effet sensible sur l'équilibre morphologique de l'Arve.

Parmi les ouvrages réalisés sur les affluents, et susceptible d'avoir une influence sur la morphologie de l'Arve, il faut citer l'aménagement Taninges-Pressy. Le rejet de l'usine de Pressy, en provenance d'une prise d'eau sur le Giffre à Taninges apporte 22 m³/s d'eau Claire à L'Arve, 4 km en amont de la confluence Arve-Giffre. EDF opère l'ouvrage de prise de façon à minimiser les dépôts dans la retenue de Taninges. La prise d'eau est mise en transparence totale à 125m³/s, mais au besoin EDF peut être amené à effacer les vannes pour des débits inférieurs (le régime de veille vis à vis des crues est fixé à 80 m³/s).

Trois barrages EDF équipent directement l'Arve :

- L'aménagement Les Houches-Passy, dont le débit d'équipement est de 36 m³/s
- L'aménagement Servoz (6 m³/s) -Chedde (3,4 m³/s) en série,
- L'aménagement de l'Abbaye, équipé pour 35 m³/s,
- L'aménagement d'Arthaz équipé pour 32 m³/s.

Le fonctionnement du barrage des Houches est le suivant. Jusqu'à 36 m³/s, les vannes sont fermées, seul le débit réservé est laissé à la rivière. A partir de 36 m³/s, les volets supérieurs des vannes sont abaissés ; ils peuvent déverser jusqu'à 6 m³/s. A partir de 40 m³/s, les vannes secteur sont progressivement relevées (Le barrage est équipé de trois vannes secteurs qui sont ouvertes dans un certain ordre ; l'ouverture des vannes est géré par un automate).

Dans la situation actuelle, jusqu'à 60 m³/s la dérivation d'eau continue, le surplus d'eau étant évacué par les vannes ; le barrage est alors en état d'exploitation normale. Au delà, il est en régime de crue. A partir de 60m³/s, le barrage rentre dans le régime de veille vis à vis des crues. Si les conditions d'engrèvement le nécessitent ou s'il est prévu que la crue va se renforcer, EDF va procéder à l'effacement total du barrage. Pour des raisons de sécurité vis à vis de l'aval, le fonctionnement du barrage est alors repris en manuel et l'ouverture est progressive (il faut environ 2 à 3 heures pour l'ouverture totale). Cette opération est lourde ; elle nécessite que du personnel soit présent et n'est donc enclenchée que quand les circonstances le justifient. En tout état de cause, au delà de 80 m³/s le barrage est obligatoirement mis en transparence. Une fois mis en transparence, le barrage restera totalement ouvert jusqu'à ce que le débit soit redescendu depuis au moins 3 heures en dessous de 60 m³/s.

Dans la mesure où EDF observe qu'il y a déjà beaucoup de transport solide pour les débits supérieurs à 40 m³/s qui produisent des engrèvements notables de la retenue, EDF a fait une demande auprès de la DRIRE d'autorisation de modification de la consigne du régime de crue. EDF souhaite abaisser le seuil de l'état de veille vis à vis des crues de 60 m³/s à 45 m³/s , le seuil de mise en transparence totale obligatoire restant inchangé à 80 m³/s.

Les barrages de Servoz et de l'Abbaye ont chacun un seuil d'état de veille de 60 m³/s et un seuil de mise en transparence totale obligatoire de 80 m³/s. EDF n'a pas de procédure en cours de modification de ces valeurs.

Le barrage de Servoz est systématiquement mis en transparence dès que le barrage des Houches est mis. Il a de ce fait peu d'influence sur le transit des matériaux. Le barrage de l'Abbaye ne dérive pas d'eau. Son influence est donc limitée à l'engrèvement de la retenue. Le barrage d'Arthaz a un fonctionnement similaire à celui de l'Abbaye. L'effet de l'engrèvement sur l'amont et l'aval est sensible dans les phases transitoires de comblement de la retenue. Aussi bien pour l'aménagement de l'Abbaye que celui d'Arthaz, la retenue est comblée jusqu'à hauteur du seuil des vannes et les possibilités de stockage additionnel sont donc marginales dans la mesure où les vannes sont ouvertes en crue.

C'est donc essentiellement sur les apports d'eau claire du rejet de l'usine de Pressy et les consignes de dérivation de l'aménagement les Houches – Passy que portera notre analyse dans les calculs de transport solide.

3. MORPHOLOGIE

L'analyse morphologique a combiné des reconnaissances de terrain, des analyses de l'évolution du lit en plan et en altitude et des calculs de transport solide.

Ces différentes approches permettent de mettre en évidence successivement :

- Le fonctionnement « naturel » de l'Arve, avant les grandes perturbations d'après guerre,
- L'incidence de ces perturbations sur le fonctionnement morphologique de l'Arve,
- Les mécanismes de la dynamique actuelle,
- Les tendances d'évolution en plan et en altitude.

3.1. Evolution de l'équilibre morphologique de l'Arve

L'Arve est une rivière torrentielle dont le lit, à quelques exceptions près (gorges rocheuses) est établi dans une vallée alluviale.

La rivière, ses tributaires, et sa vallée constituent un ensemble fonctionnel dont les éléments principaux :

- Le lit mineur (écoulements ordinaires)
- Le lit majeur (écoulement des crues)
- Le gisement alluvial,
- Les apports solides,
- Le régime des débits,
- Le régime des transports.

sont indissociables et dépendants les uns des autres pour constituer cet équilibre.

Cet équilibre est remis en cause par des modifications naturelles :

- Changement de climat, déglaciation, ...
- Evolution naturelle de l'érosion, de la couverture des sols, ...
- Phénomènes majeurs, mouvements de terrain, crues, ...

Et par des modifications artificielles :

- Evolution anthropique de l'érosion, de la couverture des sols (surpâturage, déprise agricole, déforestation, reforestation, urbanisation, ...),
- Ouvrages, protections, endiguements,
- Dérivations, retenues,
- Extractions, remblais.

Si les premières sont généralement assez lentes à se manifester, sauf pour les phénomènes brutaux, et plutôt à l'échelle du siècle ou du millénaire, les secondes interviennent très rapidement, à l'échelle de quelques années ou de quelques décennies.

Anciennement, l'Arve divaguait dans sa plaine alluviale, n'étant contrainte, en crue, que par les pieds des versants et des cônes alluviaux de ses tributaires. L'Arve avait alors un lit en tresse caractérisé par de multiples bras et de nombreuses sinuosités. Les travaux d'endiguement sont probablement très anciens et datent très certainement des premières installations de l'homme aux abords de la rivière. Cependant, ce n'est qu'à partir du début du 18^e siècle que des travaux de correction coordonnés vont être mis en œuvre, à l'initiative du gouvernement Sarde.

Bien qu'endiguée sur plusieurs sections de son cours, l'Arve conservait jusqu'au milieu du 20^e siècle, des latitudes de divagation et de submersion d'un lit majeur important, qui conditionnait l'ensemble de son équilibre, qu'on pouvait considérer comme relativement stable (au moins à l'échelle humaine).

Les décennies d'après guerre ont vu s'effectuer une transformation radicale de cet équilibre :

- Par les extractions de matériaux dont il a résulté, depuis Chedde jusqu'au Rhône, un enfoncement généralisé du lit,
- Par les multiples formes d'occupation des sols (urbanisation) qui ont réduit (souvent par remblai et endiguement) le domaine d'extension de la rivière,
- Par les actions nombreuses de confortement des ouvrages ou des berges, et de fixation du lit.

3.2. Structure des pentes naturelles

Les profils en long des Forces Hydrauliques réalisés de 1911 à 1913 sur l'Arve constituent le profil en long de référence de l'Arve avant les grands bouleversements d'après guerre. A cette époque l'Arve était, a priori, globalement en équilibre morphologique. L'analyse détaillée de ces profils en long permet de retrouver la structure des pentes naturelles de l'Arve, tronçon par tronçon, après lissage des anomalies de détail inévitables sur un tel lit (alternances seuils/mouilles, bancs alternés, etc.). Dans le tableau suivant, nous avons conservé les mêmes points kilométriques que dans le Contrat de Rivière :

Tronçon	Pentes d'équilibre (Forces Hydrauliques 1911-1913)
Chamonix : Pont de la Flegere (PK 86,8) -> Pont de l'Aiguille (PK 83,6)	12 %.
Chamonix : Pont de l'Aiguille (PK 83,6) -> Barrage des Houches (PK 77,8)	8,9 %.
Barrage des Houches (PK 77,2)->Pont Ste Marie (PK 76,1)	43 %.
Servoz : Pont Pelissier (PK 73,4) -> Diosaz (PK 72)	14 %.
Diosaz (PK 72) -> Pont du Chatelard (PK 71,1)	9,5 %.
Chedde : canal restitution EDF (PK 66,8) -> L'Ugine (PK 64,6)	9,3 %.
L'Ugine (PK 64,6) -> Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9)	5,3 %.
Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9) -> Tor de la Rippaz (PK 53,8)	4,1 %.
Tor de la Rippaz (PK 53,8) -> Pont Vieux de Cluses (PK 42,6)	3,1 %.
Pont Vieux de Cluses (PK 42,6) -> Confluence Giffre (33,9)	2,7 %.
Confluence Giffre (33,9) -> Ancien confluent Borne (PK 26,4)	1,9 %.
Ancien confluent Borne (PK 26,4) -> PK 21,5	1,9 %.
PK 21,5 -> Pont de Bellecombe (PK 15,9)	1,8 %.
Pont de Bellecombe (PK 15,9) -> PK 14,5	2,6 %.

PK 14,5 -> Pont Neuf (PK 11,4)	1,1 ‰
Pont Neuf (PK 11,4) -> PK 10,67	3,1 ‰
PK 10,67 -> Barrage d'Arthaz (PK 7,7)	1,0 ‰
Aval barrage d'Arthaz (PK 7,7) -> Ménoge (PK 6,7)	1,5 ‰
Ménoge (PK 6,7) -> PK 3	2,6 ‰
PK 3 -> Frontière suisse (PK 0)	1,6 ‰

Les figures présentant les profils en long des tronçons de l'Arve sont jointes en Annexe 3.

La Figure 4.2.1 présente le profil en long de l'Arve depuis la frontière suisse jusqu'à Chamonix. La pente augmente régulièrement de l'aval vers l'amont jusqu'à Chedde où elle augmente alors subitement. A l'amont de Chedde, l'Arve coule sur le cône de déjection du Nant Bordon. Entre Servoz et le Nant Bordon, l'Arve coule dans des gorges. Il en est de même entre les Houches et Servoz.

Les Figures 4.2.2 à 4.2.9 présentent les profils en long de l'Arve, dans l'état de référence, tronçon par tronçon.

On observe globalement le phénomène classique de décroissance de la pente d'amont en aval correspondant à des phénomènes d'usure des matériaux et de tri granulométrique. Dans le détail, cependant, on relève quelques écarts imputables à la géomorphologie. La rivière coule en effet entre des montagnes qui lui imposent un tracé et qui contrôlent certains points de son profil en long par des seuils naturels et des pavages hérités d'effondrements des versants.

Nous verrons dans le paragraphe suivant que la diminution de la pente à l'aval de la confluence du Giffre, affluent très actif vis à vis du transport solide, constitue dans une certaine mesure une anomalie. En effet, la capacité de transport de l'Arve est moindre à l'aval de la confluence qu'à l'amont alors qu'on s'attendrait à ce qu'elle soit au moins égale. Il est probable qu'on observe là un héritage du lit avant les travaux d'endiguement du 19^e siècle qui n'avait pas encore été lissé. J.L. Peiry, dans sa thèse, s'est penché sur les particularités du modèle géomorphologique de l'Arve dans le bassin de Cluses. Il a mis en évidence une recrudescence de l'activité fluviale de l'Arve au 18^e et au 19^e siècle, avec notamment un remblaiement de la plaine de Sallanches et des emplacements disponibles dans la cluse de l'Arve. Selon J.L. Peiry la vague caillouteuse se serait arrêtée dans le bassin de Cluses ce qui expliquerait le contraste brutal de style géomorphologique de l'Arve qu'on peut observer sur les cartes de 1730. Cette section de l'Arve n'aurait donc pas encore atteint la stabilité, ce que confirmeraient les cartes ultérieures (1856, 1869). La pente de l'Arve, plus forte à l'amont qu'à l'aval du Giffre, pourrait alors être associée à l'héritage de la pente du front de cette vague caillouteuse.

Bien évidemment on ne peut que parler au conditionnel, d'autant que l'endiguement ultérieur de l'Arve à l'aval de Cluses n'a pas été sans incidence sur l'équilibre de la rivière. Néanmoins, selon J.L. Peiry, l'édification de digues longitudinales pendant la seconde moitié du 19^e siècle n'a que partiellement masqué l'accroissement de l'instabilité de la rivière dans le bassin de Cluses. On notera cependant que l'endiguement de l'Arve entre la confluence du Giffre et Bonneville date de 1835-1848. Il est donc également possible que la pente un peu faible du lit à l'aval du Giffre soit liée à cette endiguement qui aurait renforcé, par confinement, la force tractrice de l'Arve sur ce tronçon.

3.3. Tronçons homogènes

A partir du croisement de l'hydrologie et des pentes d'équilibre du profil en long, nous pouvons définir des tronçons homogènes vis à vis de la morphologie de l'Arve (pente de référence uniforme et débit applicable à la totalité du tronçon) :

Tronçon	BV (km ²)	Pente	Q100 (m ³ /s)	Débit classé F=0,999 (m ³ /s)
Chamonix : Pont de la Flegere (PK 86,8) -> Pont de l'Aiguille (PK 83,6)	205	12 ‰	200	77
Chamonix : Confl. Creusaz (PK 81,4) -> Barrage des Houches (PK 77,8)	245	8,9 ‰	230	86

Tronçon	BV (km2)	Pente	Q100 (m3/s)	Débit classé F=0,999 (m3/s)
Barrage des Houches (PK 77,2) ->Pont Ste Marie (PK 76,1)	258	43 ‰	240	88
Servoz : Pont Pelissier (PK 73,4) -> Diosaz (PK 72)	265	14 ‰	246	90
Servoz : Diosaz (PK 72) -> Pont du Chatelard (PK 71,1)	320	9,5 ‰	291	100
Chedde : canal restitution EDF (PK 66,8) -> L'Ugine (PK 64,6)	368	9,3 ‰	330	109
L'Ugine (PK 64,6) -> Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9)	514	5,3 ‰	430	133
Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9) -> Torrent de la Rippaz (PK 53,8)	560	4,1 ‰	458	143
Torrent de la Rippaz (PK 53,8) -> Pont Vieux de Cluses (PK 42,6)	640	3,1 ‰	506	159
Pont Vieux de Cluses (PK 42,6) -> Confluence Giffre (33,9)	756	2,7 ‰	551	183
Confluence Giffre (33,9) -> Ancien confluent Borne (PK 26,4)	1307	1,9 ‰	778	286
Ancien confluent Borne (PK 26,4) -> PK 21,5	1554	1,9 ‰	887	330
PK 21,5 -> Pont de Bellecombe (PK 15,9)	1620	1,8 ‰	918	341
Pont de Bellecombe (PK 15,9) -> PK 14,5	1620	2,6 ‰	918	341
PK 14,5 -> Pont Neuf (PK 11,4)	1620	1,1 ‰	918	341
Pont Neuf (PK 11,4) -> PK 10,67	1664	3,1 ‰	930	349

Tronçon	BV (km2)	Pente	Q100 (m3/s)	Débit classé F=0,999 (m3/s)
PK 10,67 -> Barrage d'Arthaz (PK 7,7)	1664	1,0 ‰	930	349
Aval barrage d'Arthaz (PK 7,7) -> Ménoge (PK 6,7)	1715	1,5 ‰	947	358
Ménoge (PK 6,7) -> PK 3	1877	2,6 ‰	995	385
PK 3 -> Frontière (PK 0)	1877	1,6 ‰	995	385

3.4. Capacité de transport de l'Arve

3.4.1. Formules utilisées

Les seules formules utilisables pour calculer le transport solide par charriage sur une rivière en tresse, comme l'Arve dans l'état naturel, sont celles qui s'affranchissent de la géométrie du lit, éminemment variable ici. Dans la mesure où les endiguements ont conservé la largeur active de la rivière dans son état naturel, cette approche reste valide dans l'état aménagé. Nous continuerons à appliquer la formule dans les autres cas par souci de cohérence du calcul sur la totalité du linéaire, mais nous ne perdrons pas de vue que la formule est susceptible d'apporter des biais dans l'estimation du transport pour les sections confinées, que celles-ci soient naturelles (gorges), qu'elles résultent d'endiguements ou qu'elles résultent de l'enfoncement du lit dans ses alluvions. Le confinement a pour effet d'augmenter la capacité de transport solide par charriage.

Des réflexions (Ramette, 1988) ont montré la constance du rapport largeur/hauteur d'eau (voisin de 20). Sur cette base, il est possible de synthétiser les formules disponibles par unité de largeur de façon à n'exprimer le transport solide par charriage qu'en fonction de trois paramètres majeurs : le débit liquide, la pente et le diamètre moyen des matériaux (SOGREAH/LEFORT, 1990) :

- Formule SOGREAH/LEFORT (utilisée ici) basée sur la formule de SMART et JAEGGI,
- Formule de MEYER-PETER réexprimée selon ce principe.

Les deux formulations donnent des résultats très voisins dans la gamme de pente de 2 à 4 pour mille. La formule de SOGREAH/LEFORT a en outre été calée spécifiquement pour les pentes plus fortes et est alors préférable à la formule de Meyer-Peter.

Une attention particulière doit être apportée dans l'interprétation des résultats d'application des formules. Celle-ci donnent en effet la capacité de transport par charriage et non pas le charriage réel. Le charriage réel est généralement inférieur ou égal à la capacité de transport. Lorsqu'il lui est supérieur, le lit réagit en ajustant sa pente de façon à ce que les deux valeurs s'égalisent. Lorsqu'il lui est inférieur, ceci signifie la présence d'un pavage du lit.

Ces formules ne sont applicables que pour des lits alluviaux. Elles ne sont pas applicables dans les secteurs de gorges où le lit est contrôlé par des seuils et pavé de gros blocs. Dans les tableaux ci-après, nous avons indiqué « N.A. » (Non Applicable) dans ce cas.

3.4.2. Granulométrie des matériaux

L'analyse visuelle des matériaux présents dans les atterrissements du lit montre clairement une décroissance de la taille des matériaux de l'amont vers l'aval. Elle met également en évidence des variations importantes en un même lieu de la granulométrie des matériaux suivant leur localisation vis à vis des écoulements (seuils, mouilles, etc.).

Les techniques utilisées actuellement par les exploitants de granulats (pièges latéraux à sables et graviers) ne permettent pas de déduire du calibre des matériaux d'indications précises sur les diamètres des matériaux transportés. En revanche, ce piégeage montre que l'Arve transporte des matériaux de granulométrie très étendue, ce que ne reflète que très partiellement la physionomie des dépôts dans le lit. Lorsqu'on dégage les matériaux déposés en surface du lit, on retrouve alors au dessous des matériaux de granulométrie très étendue. Les dépôts en surface forment une armure de matériaux qui est remobilisée par les crues. Le diamètre correspondant n'est pas représentatif du diamètre moyen mais s'apparente plutôt au D90.

Ainsi le lit dans le secteur de la traversée de Chamonix est tapissé de gros galets de diamètre compris entre 100 et 300 mm. Dans les endroits plus calmes, on trouve des galets plus petits. La granulométrie des matériaux présents au dessous du lit est beaucoup plus étendue et présente notamment beaucoup de sédiments fins. Les pièges latéraux à sédiments des extracteurs à l'amont du barrage des Houches soutirent à l'Arve, en crue, des sables et des graviers. La granulométrie moyenne des matériaux transportés est donc nettement plus faible que les matériaux présents dans les atterrissements visibles à la surface du lit.

Il apparaît donc difficile d'établir une granulométrie représentative des matériaux transportés à partir des relevés de surface (voir photos en Annexe A.1.1 et A1.3). En revanche la taille des matériaux en surface est un indicateur intéressant pour une approche plus qualitative de la granulométrie.

Nous avons repris des données de courbe granulométriques établies pour des études locales d'aménagement du lit. Ces données établies à partir d'échantillons de matériaux pris en masse dans le lit sont les plus représentatives de la granulométrie.

rivière	lieu	PK	Dm (mm)	Dmax i (mm)	Dmini (mm)	D10	D50	D90	D90/D30
Arve	Pont N°5 à Magland, échantillon A (1992)	45,8	27,3	100	0,1	2,8	25	58	4,5
Arve	Pont N°5 à Magland, échantillon B (1992)	45,8	30,2	80	0,1	6	30	58	3,1
Arve	Pont N°5 à Magland, échantillon C (1992)	45,8	31,5	100	0,1	1,2	23	80	8,9
Arve	Pont N°5 à Magland, échantillon D (1992)	45,8	29,7	100	0,1	0,5	18	80	20
Arve	Confluent Bronze échantillon S1 (1999)	30,9	31,0	140	0,1	0,7	12	105	47
Arve	Confluent Bronze échantillon S2 (1999)	30,9	25,5	90	0,1	0,5	17	60	7,5
Arve	Confluent Bronze échantillon S3 (1999)	30,9	16,8	140	0,1	0,4	7	40	16

Les différents échantillons prélevés au pont N°5 de l'autoroute à Magland, d'une part, et au confluent du Bronze à l'amont de Bonneville, d'autre part, montrent la variabilité de la courbe granulométrique sur un même site. Les caractéristiques granulométriques sont en effet dépendantes des conditions locales de l'écoulement telles que les courants secondaires et des zones de prélèvement (seuils, mouilles, zones agitées ou calmes, etc.).

Le diamètre moyen peut varier dans des proportions importantes ainsi que l'étendue de la courbe granulométrique (D90/D30). Il apparaît donc délicat de caractériser la granulométrie des matériaux transportés à partir d'un nombre réduit d'échantillons prélevés sur site, notamment pour un grand linéaire de rivière. Un rebouclage permettant de s'assurer de la cohérence des données granulométriques ainsi qu'une analyse qui permette d'interpoler ou d'extrapoler les diamètres moyens sur la totalité du linéaire s'avèrent nécessaires.

L'analyse granulométrique des matériaux dans les tronçons est alors utilement enrichie d'une analyse de transport solide basée sur les pentes d'équilibre, ce que nous faisons dans le paragraphe suivant.

3.4.3. Volumes annuels

Les calculs de capacité de transport solide, basés sur les courbes de débits classés sont très sensibles à la valeur du débit de début d'entraînement (Q0), lui-même dépendant du diamètre moyen des matériaux, difficile à mesurer.

Les volumes calculés sont extrêmement sensibles à de faibles variations du diamètre caractéristique.

Ainsi, au pont N°5 de l'autoroute (pente naturelle 3,1 ‰), nous avons la sensibilité suivante :

Diamètre moyen (mm)	Débit de début d'entraînement Q0 (m3/s)	Fréquence de Q0 Nb jours/an	Volume de transport solide charrié annuel (m3)
20	15	273	200 000
25	25	192	140 000
30	40	124	80 000
32	47	98	55 000
35	59	58	30 000
40	82	18	10 000

Les analyses granulométriques réalisées sur les sédiments au niveau du pont N°5 donnent un diamètre d'environ 30 mm. Des réflexions sur la fréquence effective du charriage significatif dans l'Arve confortent cette valeur de 30 mm (le transport a certainement lieu moins souvent que 273 jours par an et certainement plus souvent que 18 jours par an).

Les calculs sont également très sensibles à des fluctuations de la pente, ainsi en reprenant l'exemple du bief du pont N°5 avec $D_m = 30$ mm.

Pente	Débit de début d'entraînement Q0 (m3/s)	Volume de transport solide charrié annuel (m3)
0,0025	62	20 000
0,0028	48	45 000
0,0031	40	80 000
0,0033	34	115 000
0,0035	30	150 000

On conclura à un volume charrié d'environ 80 000 m3/an dans le bief du pont N°5.

L'application de la formule de transport solide au tronçon du confluent du Bronze donne les résultats suivants :

Diamètre moyen (mm)	Débit de début d'entraînement Q0 (m3/s)	Fréquence de Q0 Nb jours/an	Volume de transport solide charrié annuel (m3)
26	81	110	45000

Le diamètre moyen suggéré par la formule, 26 mm, pour un transport avec une fréquence d'occurrence du transport raisonnable (110 jours /an dans l'état naturel) permet de retrouver la valeur moyenne obtenue avec les granulométries prélevées à la confluence du Bronze. Ceci valide l'approche que nous généralisons à l'ensemble des biefs.

Sur l'Arve on peut proposer le tableau suivant. Il convient cependant de rester prudent sur les chiffres obtenus. Ils sont en effet très sensibles aux paramètres de calcul comme on vient de le voir ; en outre il ne s'agit que de la capacité de transport par charriage. Le transport réel peut être fortement diminué dans les biefs où un pavage se met en place. Par ailleurs, une partie du transport solide se fait en suspension qui n'est pas comptabilisée dans le calcul de charriage. Ainsi, on ne comptabilise pas les sables fins et moyens dans le calcul. En outre dans les biefs pentus, des sédiments beaucoup plus grossiers que les sables peuvent être transportés en suspension (c'est typiquement le cas des gorges, mais ce peut être également le cas du bief compris entre le barrage des Houches et le pont Ste Marie ou de celui compris entre la sortie des gorges et le pont Pelissier à Servoz qui ont chacun une forte pente).

Il convient également d'être extrêmement prudent sur le sens de la décroissance des volumes calculés vers l'aval : imprécisions du calcul, usure des matériaux accroissant la part du transport en suspension, tendance lente à l'exhaussement ?

Pour le tronçon compris entre la confluence du Giffre et celle du Borne, avec la pente du lit en 1912, le calcul donne une capacité de transport relativement faible ce qui constitue une anomalie, comme nous l'avons précisé ci-avant, que l'on peut attribuer soit à une situation de déséquilibre, soit à une situation de confinement du lit par les endiguements entre la confluence du Giffre et Bonneville. Les calculs de sensibilité que nous avons réalisés montrent que la pente d'équilibre de ce tronçon devrait plutôt se situer autour de 2,1 ‰ au lieu de 1,9 ‰. Nous aurions alors une capacité de transport de l'Arve à l'amont du confluent de 70 000 m³/an et à l'aval de 75 000 m³/an. Bien qu'on puisse légitimement se poser la question de la prise en compte des apports du Giffre (40 000 m³/an selon la formule), le calcul montre que dans les biefs suivants la capacité de transport par charriage ne fait que décroître (65 000, puis 60 000 m³/an). Ces chiffres paraissent donc cohérents et nous renvoient à la constatation de la décroissance des volumes calculés vers l'aval.

La pente 2,1 ‰ correspond à un rehaussement du lit de 1,50 m à l'amont du tronçon ce qui ne serait pas contradictoire avec l'explication qu'on peut donner de l'anomalie en terme d'engrèvement en cours de la plaine. Inversement, si l'endiguement est responsable du confinement du lit, un enfoncement de 1,50 m du lit à l'amont du tronçon après réalisation des endiguements est également plausible. Nous proposons de retenir cette valeur de pente d'équilibre : 2,1 ‰.

3.4.4. Capacité de transport dans l'état naturel (1912)

Tronçon	BV (km ²)	Pente	Dm (mm)	Transport solide annuel (m ³)

Tronçon	BV (km2)	Pente	Dm (mm)	Transport solide annuel (m3)
Chamonix : Pont de la Flegere (PK 86,8) -> Pont de l'Aiguille (PK 83,6)	205	12 ‰	69	275 000
Chamonix : Confl. Creusaz (PK 81,4) -> Barrage des Houches (PK 77,8)	245	8,9 ‰	59	180 000
Barrage des Houches (PK 77,2) ->Pont Ste Marie (PK 76,1)	258	43 ‰	N.A. (Respiration et Transit)	N.A. (Respiration et Transit)
Servoz : Pont Pelissier (PK 73,4) -> Diosaz (PK 72)	265	14 ‰	86	400 000
Servoz : Diosaz (PK 72) -> Pont du Chatelard (PK 71,1)	320	9,5 ‰	68	230 000
Chedde : canal restitution EDF (PK 66,8) -> L'Ugine (PK 64,6)	368	9,3 ‰	68	260 000
L'Ugine (PK 64,6) -> Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9)	514	5,3 ‰	47	140 000
Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9) -> Torrent de la Rippaz (PK 53,8)	560	4,1 ‰	38	100 000
Torrent de la Rippaz (PK 53,8) -> Pont Vieux de Cluses (PK 42,6)	640	3,1 ‰	30	80 000
Pont Vieux de Cluses (PK 42,6) -> Confluence Giffre (33,9)	756	2,7 ‰	29	70 000
Confluence Giffre (33,9) -> Ancien confluent Borne (PK 26,4)	1307	(1,9 ‰) 2,1 ‰	27	(42 000) 75 000
Ancien confluent Borne (PK 26,4) -> PK 21,5	1554	1,9 ‰	27	65 000
PK 21,5 -> Pont de Bellecombe (PK 15,9)	1620	1,8 ‰	25	60 000

Tronçon	BV (km2)	Pente	Dm (mm)	Transport solide annuel (m3)
Pont de Bellecombe (PK 15,9) -> PK 14,5	1620	2,6 ‰	N.A. (transit)	N.A. (transit)
PK 14,5 -> Pont Neuf (PK 11,4)	1620	1,1 ‰	17	>30 000 (lit confiné)
Pont Neuf (PK 11,4) -> PK 10,67	1664	3,1 ‰	N.A. (transit)	N.A. (Transit)
PK 10,67 -> Barrage d'Arthaz (PK 7,7)	1664	1,0 ‰	16	>30 000 (lit confiné)
Aval barrage d'Arthaz (PK 7,7) -> Ménoge (PK 6,7)	1715	1,5 ‰	16	130 000 (pavage)
Ménoge (PK 6,7) -> PK 3	1877	2,6 ‰	24	330 000 (pavage)
PK 3 -> Frontière (PK 0)	1877	1,6 ‰	24	60 000

3.4.5. Capacité de transport en 1990

Nous avons repris le même calcul sur la base des profils en long de la ligne de basse eau pour la situation prévalant en 1990, à savoir en fin de période d'extraction dans l'Arve à l'aval des Houches. Nous disposons en effet à cette date un profil en long de la totalité de l'Arve jusqu'à la frontière suisse, ce qui nous permet de déterminer les nouvelles pentes du lit. Les profils en long des lignes d'eau que nous avons fait lever au cours de la présente étude permettent d'évaluer, sur certains tronçons, comment le lit a évolué depuis cette date. Nous examinons l'évolution récente dans l'analyse tronçon par tronçon.

Nous considérons les mêmes diamètres moyens des matériaux dans chaque tronçon. Afin de mesurer l'évolution de la capacité de transport, nous avons porté en regard des résultats de 1990 ceux obtenus pour la période 1912.

Alors que le profil en long n'a pas évolué de façon significative à l'amont des Houches, des variations plus ou moins brutales sont observées à l'aval (Figures 4.4.1 à 4.4.9). Les variations associées de la pente motrice de la rivière conduisent à une évolution importante de la capacité de transport par charriage comme on peut le voir dans le tableau suivant. On note également que, en 1990, le lit est en recherche d'un nouvel équilibre. Dans un même tronçon, on observe ainsi des capacités de transport très différentes. Sans intervention anthropique (mise en place de seuils en travers pour stabiliser le lit), la rivière ajusterait sa pente pour lisser ces fortes différences, ce qui pourrait conduire à une persistance de l'enfoncement du lit.

De façon générale et mis à part quelques secteurs de forte instabilité ou complètement pavés, la pente a diminué et ce faisant la capacité de transport solide également. Ceci doit toutefois être précisé dans le détail, tronçon par tronçon. En outre de par la forte anthropisation actuelle de la rivière, les chiffres ci-dessous issus du calcul brut doivent être nuancés. Il faut notamment distinguer la capacité de transport par charriage du transport effectif. Comme on le verra ci-après dans l'analyse tronçon par tronçon, des phénomènes tels que le pavage ou le réalluvionnement progressif doivent en effet être pris en compte.

Dans certains tronçons où le lit est très étroit du fait des endiguements, la capacité de transport est augmentée par rapport à ce que donne la formulation de SOGREAH/LEFORT (applicable à un lit naturel). Il ne sera alors pas étonnant de trouver une pente inférieure à ce qu'elle était initialement.

(*) Dans le tronçon court-circuité de Servoz, nous avons été amenés à réaliser deux calculs, l'un où on ignore la présence du barrage des Houches (situation de 1912), l'autre où on en tient compte en supposant que, jusqu'à 70 m³/s, un débit 36 m³/s est dérivé et qu'au delà il n'y a plus de dérivation, les vannes étant totalement effacés. Nous avons porté en italique les chiffres obtenus pour le calcul où on ignore la présence de la dérivation.

Tronçon	BV (km ²)	Pente		Dm (mm)	Capacité de transport par charriage annuel (m ³)	
		En 1912	En 1990		En 1912	En 1990
Chamonix : Pont de la Flegere (PK 86,8) -> Pont de l'Aiguille (PK 83,6)	205	12 ‰	12 ‰	69	275 000	275 000
Chamonix : Confl. Creusaz (PK 81,4)	245	8,9 ‰	8,9 ‰	59	180 000	180 000

Tronçon	BV (km2)	Pente		Dm (mm)	Capacité de transport par charriage annuel (m3)	
		En 1912	En 1990		En 1912	En 1990
-> Barrage des Houches (PK 77,8)						
Servoz : Pont Pelissier (PK 73,4) -> Diosaz (PK 72)	265	14 ‰	12 ‰ 15 ‰ 12 ‰ 15 ‰	86	400 000	(*)175 000 (*)700 000 25 000 55 000 (pavage)
Servoz : Diosaz (PK 72) -> Pont du Chatelard (PK 71,1)	320	9,5 ‰	9,0 ‰	68	230 000	(*)170 000 30 000
Chedde : canal restitution EDF (PK 66,8) -> L'Ugine (PK 64,6)	368	9,3 ‰	8,1 ‰	68	260 000	100 000
L'Ugine (PK 64,6) -> Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9)	514	5,3 ‰	3,9 ‰	47	140 000	10 000
Pont Vieux de Sallanches (PK 58,9) -> Torrent de la Rippaz (PK 53,8)	560	4,1 ‰	4,7 ‰ 2,8 ‰	38	100 000	190 000 (pavage) 3 000
Torrent de la Rippaz (PK 53,8) -> Pont Vieux de Cluses (PK 42,6)	640	3,1 ‰	3,2 ‰ 2,4 ‰	30	80 000	100 000 15 000
Pont Vieux de Cluses (PK 42,6) -> Confluence Giffre (33,9)	756	2,7 ‰	1,3 ‰	29	70 000	0 (attention , apports de Pressy en plus)
Confluence Giffre (33,9) -> Ancien confluent Borne (PK 26,4)	1307	(1,9 ‰) 2,1 ‰	1,6 ‰	27	(42 000) 75000	10 000

Tronçon	BV (km ²)	Pente		Dm (mm)	Capacité de transport par charriage annuel (m ³)	
		En 1912	En 1990		En 1912	En 1990
Ancien confluent Borne (PK 26,4) -> PK 21,5	1554	1,9 ‰	1,8 ‰	26	80 000	45 000
PK 21,5 -> Pont de Bellecombe (PK 15,9)	1620	1,8 ‰	1,3 ‰	25	60 000	5 000
PK 14,5 -> Pont Neuf (PK 11,4)	1620	1,1 ‰	1,1 ‰	17	>30 000 (lit confiné)	>30 000 (lit confiné)
PK 10,67 -> Barrage d'Arthaz (PK 7,7)	1664	1,0 ‰	1,4 ‰	16	>30 000 (lit confiné)	90 000 (pavage)
Aval barrage d'Arthaz (PK 7,7) -> Ménoge (PK 6,7)	1715	1,5 ‰	0,7 ‰	16	130 000 (pavage)	2 000
Ménoge (PK 6,7) -> PK 3	1877	2,6 ‰	3,2 ‰	24	330 000 (pavage)	550 000 (pavage)
PK 3 -> Frontière (PK 0)	1877	1,6 ‰	1,6 ‰	24	60 000	60 000

3.4.6. Charriage réel de l'Arve

Dans la situation de 1912, le lit est globalement en équilibre et les pentes se sont ajustées pour que, dans les tronçons non pavés, la capacité de transport par charriage se confonde avec le charriage réel de l'Arve. Le tableau précédent nous donne donc une appréciation du charriage réel de l'Arve avant l'effet des fortes perturbations anthropiques, aussi bien dans le lit que dans le bassin versant (protections RTM).

Les capacités de transport en 1990, juste après l'arrêt des extractions, mettent en évidence un lit déstructuré à la recherche d'un nouvel équilibre. Dans certains tronçons, la capacité de transport est suffisante pour assurer un charriage, tandis qu'ailleurs, la diminution de la pente motrice ne permet plus, momentanément, le transport des matériaux charriés. On observe également des tronçons pavés, où le charriage, s'il y en a encore, ne fait que transiter sans s'arrêter. C'est notamment le cas des tronçons où le lit a été étroitement endigué.

Dans un lit déstructuré, le charriage réel nécessite de mettre en relation les capacités de transport de chacun des tronçons et les apports à l'Arve, que ceux-ci proviennent des affluents ou qu'ils soient repris du lit de l'Arve dans les zones où des stocks alluviaux restent encore disponibles. De nombreux paramètres rentrent donc en compte, aussi la valeur du charriage réel doit être approchée par un calcul dynamique réalisé sur la totalité du lit de l'Arve.

3.5. Les extractions de graviers dans le lit

Les extractions de matériaux solides dans le lit constituent le principal facteur de déséquilibre de l'Arve. Elles ont été réalisées dans toutes les sections alluviales de la rivière, certaines par des pièges à sables et graviers, en bordure du lit, d'autres directement dans le lit à la pelle mécanique ou à la drague line.

Les abaissements dans les souilles provoquent le piégeage des matériaux qui proviennent de l'amont. Le transport s'interrompt à l'aval, créant une érosion progressive vers l'aval tandis qu'une érosion régressive se propage vers l'amont.

Il est difficile d'estimer les volumes extraits compte tenu de la difficulté de les contrôler. Les principaux prélèvements ont été réalisés avant 1975 avant que les administrations gérant le cours d'eau ne prennent des mesures de limitation des extractions.

J.L. Peiry, dans sa thèse, a effectué à partir de différentes données (SOGREAH, SRAE, DRIRE, etc.) une estimation des extractions sur la période 1950-1985 (Figure 4.5.1). X Blanc, F. Pinteur, Th. Sanchis (1989) de leur côté rapportent, pour la même période, les estimations issues des travaux de collecte entrepris par le groupe de travail « Arve » (Figure 4.5.2).

Nous avons alors les données suivantes par grand bassin d'extractions . Nous avons traduit en millions de m³ (Mm³) les chiffres annoncés par le groupe de travail « Arve » en supposant une densité de 1,8 du matériau solide.

Bassin	Données J.L. Peiry	Données groupe « Arve »
Sallanches	2,7 à 3,0 Mm ³	9,2 Mt (5,1 Mm ³)
Tronçon Sallanches à	0,5 Mm ³	1,3 Mt (0,7 Mm ³)

Cluses		
Tronçon Cluses à Pont de Bellecombe	4,8 à 5,5 Mm3	7,7 Mt (4,3 Mm3)
Pont Neuf et Etrembières	> 0,5 Mm3	0,6 Mt (0,33 Mm 3)
Tronçon suisse	> 2 Mm3 de 1900 à 1950	1 Mt de 1950 à 1985 (0,55 Mm3)

Figure 4.5.1 - Estimation des extractions dans l'Arve (PEIRY, 1988)

Figure 4.5.2 – Estimation des extractions dans l'Arve (X. Blanc et al., 1989)

Comme le montre la dispersion des chiffres, il ne s'agit que d'ordres de grandeur. En outre, il n'est pas commode de distinguer les matériaux prélevés dans le lit mineur de ceux prélevés dans le lit majeur. Par ailleurs, les bassins d'extraction dans le lit majeur sont susceptibles de capture ultérieure par l'Arve comme ceci a déjà été le cas dans la plaine des contamines ou pour le lac de Creuze. Le comblement de la fosse qui s'en suit induit alors l'arrêt du transit des matériaux vers l'aval.

Ce sont donc entre 8,5 et 9,5 Mm³ selon J.L. Peiry, 11 Mm³ selon le Groupe de travail « Arve » de matériaux solides qui ont été extraits du lit de l'Arve à l'aval du Bonnant entre 1950 et 1985 auxquels il faudrait rajouter selon Peiry 2 Mm³ prélevés avant 1950 côté suisse.

Une part importante des besoins en gravier et sable de la ville de Genève était couverte par les dragages de l'Arve avant 1940. Au total 14 sites d'extractions ont été exploités dans la section suisse de l'Arve. Les extractions se sont accélérées à partir de 1930 (130 000 m³ en 1930) pour passer à un pic en 1936, puis rapidement chuter à partir de cette date. Dans le même temps le nombre de sites d'extraction a rapidement diminué. La ressource en gravier s'est progressivement épuisée, les sites d'extraction aval ayant été les premiers à fermer. Comme l'atteste le rapport du Service Fédéral des Eaux en 1941, « l'Arve en année normale ne charrie plus que du sable, le gravier faisant entièrement défaut ». L'ensemble des apports solides grossiers de l'Arve est stoppé « par tous les dragueurs échelonnés sur son parcours, et d'autre part par la présence d'installations très puissantes qui font une sorte de chenal très profond en travers du lit de l'Arve d'où il ne sort plus que du sable ou quelque gravier lors des très grosses crues ; tout le reste sert à combler cette fosse et ne va pas plus bas ». Les quantités extraites ont rapidement diminué après 1940. Des dragages occasionnels ont encore été pratiqués jusqu'au début des années 80 à la gravière de Sierne, mais avec une productivité infime. Aujourd'hui, toute extraction est interdite par le gouvernement suisse.

Si nous arrondissons ce chiffre à 10 millions de m³ et que nous retenons, dans l'état naturel, un transport annuel par charriage de l'ordre de 100 000 m³/an, il faudrait donc 100 ans pour reconstituer le stock alluvial en supposant que l'alimentation en matériaux de la rivière n'ait pas été modifiée, ce qui n'est pas le cas.

Actuellement, à part sur le secteur de Chamonix les Houches, les extractions sont arrêtées sur l'Arve jusqu'au Rhône. Depuis 1983, tout prélèvement de gravier dans le lit mineur de l'Arve sur toutes les sections de sa plaine alluviale a été interdit. Quelques zones ponctuelles de prélèvement ont continué à subsister jusqu'à la fin des années 80, notamment dans le bassin de Sallanches et sur la basse Arve dans l'agglomération d'Annemasse. Elles ont été remplacées par des extractions dans le lit majeur qui elles-mêmes sont aujourd'hui arrêtées .

A Chamonix-Les Houches, les extractions actuellement réalisées dans le lit de l'Arve sont effectuées par les entreprises COTTARD (à l'amont sur l'Arveyron de la Mer de Glace), VIALE et Granulats Rhône-Alpes, dans l'Arve à l'aval de Chamonix (à l'amont du barrage des Houches). VIALE extrait également sur le Taconnaz. VIALE a une autorisation d'extraction, sur le site actuel, jusqu'en 2004, Granulats Rhône Alpes jusqu'en 2003.

La technique d'extraction des gravières dans l'Arve à l'aval de Chamonix est celle du « piège à sable et gravier » : les fosses créées artificiellement et alimentées latéralement vers un système de vannes se combleront de matériaux, lors des crues (surtout pendant la période de fonte de neige et glaciers de mai à septembre), qui sont extraits ensuite par les exploitants. Les matériaux extraits sont des sables et graviers dont le diamètre est compris entre 0 et 200 mm. Un tri des matériaux s'effectue dans le bassin au cours du dépôt, les plus gros matériaux étant déposés à l'amont et les plus fins à l'aval du bassin. Sur le Taconnaz, VIALE utilise un système d'aspiration par grille par dessous qui permet de prendre des matériaux de diamètre 0-80 mm.

La technique de l'Entreprise COTTARD est différente. Il s'agit de prises d'eau réalisées à l'amont des seuils en béton. L'eau récupérée est chargée en sables et transporte de petits galets. L'eau arrive ensuite dans des bacs de grandes dimensions où elle dépose les sables transportés, puis est rejetée dans l'Arveyron dans un petit canal à l'air libre.

Selon les données recueillies auprès des services de l'Etat (DDE, DRIRE), des demandes d'autorisation des exploitants, et auprès des exploitants eux-mêmes, les volumes moyens extraits sont environ les suivants :

- Etablissement COTTARD (Arveyron de la Mer de Glace) 30 000 m3/an
- Etablissement VIALE (Taconnaz et Arve) 65 000 m3/an

dont 60 000 m3 dans l'Arve et 5 000 m3 à l'aval du Taconnaz

- Etablissement Granulats Rhône Alpes 65 000 m3/an

De plus, le barrage EDF des Houches est dégravé en queue de retenue par des pelles mécaniques. Les chasses effectuées ne suffisent pas à éviter l'engrèvement chronique du barrage.

La liste des volumes retirés sur commande d'EDF par les extracteurs locaux entre 1988 et 1996 montre qu'en moyenne plus de 80 000 m3 de matériaux sont extraits par an.

En sommant ces chiffres, on obtient un total de 240 000 m³ d'extractions par an auxquels il faut ajouter les matériaux curés après les crues au titre de l'entretien des lits (voir ci-après).

3.6. Apports à l'Arve

3.6.1. Apports de l'Arve Amont

Ce sont les apports des différents tributaires à l'amont du barrage des Houches. On peut approcher la valeur de ces apports à partir des volumes extraits (240 000 m³/an) auxquels on rajoutera les dépôts dans le lit de l'Arve en relation avec la tendance à l'exhaussement du lit, qu'il faut curer après les crues (50 000 m³/an correspondant à une surcote annuelle du lit de 0,50 m sur 9 km), ainsi que les matériaux solides déversés par le barrage des Houches lorsque les vannes sont totalement ouvertes en crue, à savoir pour les débits supérieurs à 60 m³/s (15 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 59 mm obtenus par calcul). On obtient alors environ 300 000 m³/an correspondant au transport de sables grossiers, graviers et galets. La valeur des apports annuels est certainement beaucoup plus élevée si on considère la totalité de la courbe granulométrique des matériaux et qu'on y rajoute les sédiments plus fins (sables fins, limons et argiles) ; ceux-ci ne participant pas à l'équilibre du lit, on les ignorera.

Avec les consignes actuelles d'ouvertures du barrage des Houches, ce sont donc environ 15 000 m³/an de sables grossiers, graviers et galets que laisse actuellement passer le barrage. C'est le seul apport de sédiments « grossiers » de l'Arve amont dans l'état actuel.

Les apports des affluents à l'Arve posent, dans la traversée de Chamonix, des problèmes événementiels lors des crues. Ces apports événementiels ont été étudiés dans le rapport SOGREAH de Novembre 1998 « Etude d'aménagement de l'Arve et de ses affluents dans la traversée de Chamonix » et des solutions techniques visant à réduire le risque ont été proposées. On rappelle les scénarios d'engravement de l'Arve qui y ont été étudiés. Ces scénarios tentent de représenter le phénomène centennal :

Torrent	Scénarios d'apports événementiels à l'Arve (m³)
Arveyron d'Argentière (RG)	50 000 et 100 000
Arveyron de la Mer de Glace (RG)	50 000
Creusaz (RG)	50 000
Tacconnaz (RG)	20 000

3.6.2. Apports à l'aval du barrage des Houches

Il est très difficile d'apprécier les apports des différents affluents à l'Arve. Ces apports sont éminemment variables dans le temps, de nombreux torrents fonctionnant par crises. En outre, l'analyse géologique montre que l'activité des bassins versants varie fortement dans le temps. Tel bassin versant qui naguère était calme est par exemple susceptible d'apporter des quantités appréciables de matériaux dans l'avenir du fait de l'activation ou de la réactivation d'un glissement de terrain (le glissement des Posettes en est un exemple).

Les travaux de restauration des terrains en montagne (RTM) dans le bassin versant conduisent à réduire considérablement l'activité des torrents. Pour autant, il ne mettent pas à l'abri ces torrents d'un événement rare.

Le caractère occasionnel des apports des torrents renforcé par l'effet des protections réalisées dans le bassin versant rendent d'autant plus difficile l'appréciation des apports. Il est alors vain de vouloir approcher ces apports par le calcul, chaque torrent étant un cas d'espèce.

Sur la base des connaissances rassemblées par SOGREAH depuis de nombreuses années sur le fonctionnement de l'Arve et de ses affluents, connaissances qui ont été confrontées à celles du service RTM, nous avons établi un tableau où nous synthétisons les données de transport de matériaux des différents affluents susceptibles d'apporter des matériaux à l'Arve. Nous nous sommes attachés à estimer le volume décennal V10 et le volume centennal V100 de matériaux apportés à l'Arve dans la situation actuelle. Nous avons également estimé le volume d'apport moyen annuel avant (Vm) et après (Vml) curage des excédents (« l » signifiant « laissé à l'Arve »).

Ces chiffres sont estimatifs et entachés d'une forte incertitude. La réalité est susceptible de varier du simple au double par rapport aux chiffres annoncés. Nous ne devons pas perdre de vue cette incertitude dans les calculs ultérieurs de transport solide dans l'Arve.

Nous avons joint en Annexe A1.2 les photos de quelques uns des principaux affluents à proximité de la confluence avec l'Arve.

Nous décrivons ci-après le raisonnement effectué pour la Griaz. Un raisonnement similaire a été conduit pour chacun des affluents. Nous avons notamment examiné :

- La superficie du bassin versant,

- la géologie du bassin versant,
- l'activité du bassin versant (retrait des glaciers, glissements de terrain, ...)
- le type de transport (charriage ou laves torrentielles, apports réguliers ou torrent fonctionnant par crise),
- la granulométrie des matériaux apportés (matériaux fins, granulométrie étendue, ...),

Nous rapportons également quelques faits observés.

La Griaz, en RG, a un BV de 4,7 km². Ce torrent sort de la langue terminale du glacier du même nom et rejoint l'Arve à l'aval immédiat du barrage des Houches. C'est un torrent qui fonctionne par crises en produisant des laves torrentielles. Celles ci emportent les rocs morainiques des glaciers de la Griaz et des Rognes, agglutinés par les schistes et les gypses arrachés aux rives immédiates des Arandellys. Lors de la construction de l'autoroute blanche, l'exutoire de la Griaz a été canalisé dans un ouvrage remarquable qui précipite les laves dans le lit de l'Arve.

Les matériaux transportés sont de granulométrie très étendue, depuis les matériaux très fins (argiles) jusqu'à des blocs de dimensions élevés qui viennent paver le lit de l'Arve.

Tentative de quantification des volumes de matériaux transportés :

- volume centennal V100 : 100 000 m³
- volume décennal V10 : 40 000 m³
- le torrent produit une lave tous les 2 ou 3 ans
- volume moyen annuel déversé Vm : 10 000 m³/an
- volume laissé à l'Arve susceptible d'être charrié Vml : 4 000 m³/an

Pour calculer le volume laissé à l'Arve, on a supposé un curage de la part des apports qui excèdent 10 000 m³. Ainsi, on suppose que lors d'un événement décennal (40 000 m³), on curerait 30 000 m³, laissant à l'Arve 10 000 m³.

Affluent	BV (km ²)	Matériaux	V100 10 ³ m ³	V10 10 ³ m ³	Vm 10 ³ m ³ /an	Vml 10 ³ m ³ /an	Observation
Griaz	4,7	Granulo étendue	100	40	10	4	laves
Nant Noir	4,7	Très fin - boues	5	1	0,1	0,1	laves

Affluent	BV (km2)	Matériaux	V100 10 ³ m3	V10 10 ³ m3	Vm 10 ³ m3/an	Vml 10 ³ m3/an	Observation
Nant Nalien	2	Granulo étendue	40	10	2	1,2	laves
Nant Jorland					0	0	Eau
N. Chavant					0	0	Eau
La Diosaz	55	Graviers et galets	10	2	0,5	0,2	Eau + Charriage
Nant Bordon	~10	Granulo étendue	50	15	3	2	laves
Nant Verney	~3		20	5	0	0	(1)
Nant Gibloux	~5	graviers	10	2	0	0	Laves (2)
Bonnant	148	Granulo étendue beaucoup pde fins	100	5	2	1	(3)
Sallanches	40		25	1	0	0	(4)
Reninges	1,6	Très fin	0	0	0	0	(5)
Crève-cœur	~5	Granulo étendue	12	3	0,6	0,3	
Rippaz	3,2	Granulo étendue	15	4	1	0,5	(6)
Balme	~4	fins	15	8	4	2,5	
Englenaz	1,6		0	0	0	0	(7)
Foron de Scionzier	49	Fins et qqg gros	5	1	0,2	0,1	(8)
Nant de Marnaz	14	Fins et qqg gros	5	1	0,2	0,1	(9)

Affluent	BV (km2)	Matériaux	V100 10 ³ m3	V10 10 ³ m3	Vm 10 ³ m3/an	Vml 10 ³ m3/an	Observation
Giffre	422	Granulo étendue	-	-	5 à 10 peut-être 20	5 peut-être 10	(10)
Bronze	29		0	0	0	0	(11)
Borne	153	Granulo étendue	30	2	1	0,7	(12)
Foron de la Roche	44	Assez fins	15	1	0,4	0,4	
Foron de Reignier		Fins et moyens	15	2	0,6	0,6	
Le Moiron		Fins et moyens	12	1	0,35	0,35	
Le Viaison	32	Fins et moyens	8	2	0,45	0,45	
La Ménoge	162	Moyens et gros	50	6	3,5	3,5	(13)
Foron de Gaillard			0	0	0	0	(14)
Total					34,9 à 39,9 peut-être 49,9	23 peut-être 28	

(1) Le Nant Verney n'a pas donné depuis 50 ans. Il y a toutefois un risque de forts apports du fait de mouvements en cours dans le BV (glissements de terrain). Il se jette dans la retenue de l'Abbaye.

(2) Apports dans la retenue de l'Abbaye. Apports événementiels probables.

(3) La crue du 12 juillet 1892 du Bonnant a généré une catastrophe naturelle. 500 000 m3 de matériaux ont été déversés dans la plaine du Fayet. Il y a eu 250 morts.

- (4) La Sallanches n'apporte quasiment plus aujourd'hui de matériaux à l'Arve. Un grand glissement de terrain pourrait toutefois se produire aux Murtines. Il y a donc un risque d'un événement de fort transport, mais dont une grosse partie serait retenue dans l'agglomération de Sallanches et ne rejoindrait pas l'Arve.
- (5) Le torrent de Reninges produit des laves torrentielles. Il a été anciennement redoutable. La plage de dépôt qui a été construite à l'amont immédiat de la confluence avec l'Arve fonctionne très bien et retient la totalité des matériaux transportés.
- (6) Le lit de la Rippaz est complètement chenalisé avec un escalier d'une vingtaine de seuils pour protéger les habitations sur le cône. Une partie reste stockée dans le chenal lors des crues. En 1985, le chenal était complètement comblé.
- (7) Une plage de dépôt arrête la totalité des apports de l'Englenaz à l'Arve.
- (8) La pente du Foron de Scionzier est insuffisante dans la plaine pour amener des apports réguliers à l'Arve.
- (9) La pente du Nant de Marnaz est insuffisante dans la plaine pour amener des apports réguliers à l'Arve.
- (10) Le Giffre, au même titre que l'Arve, a subi des extractions intensives de matériaux. Le lit s'est considérablement enfoncé et s'est chenalisé dans son cône de déjection. Il est tenu à l'amont par des seuils tandis qu'il est contrôlé à l'aval par le niveau de l'Arve. L'enfoncement a dégagé des horizons tourbeux. Un léger réengrèvement réapparaît à l'amont de Taninges, mais il faudra probablement encore beaucoup de temps pour que l'effet de réengrèvement se fasse sentir durablement à la confluence. Dans ces conditions, il est particulièrement délicat d'apprécier les apports du Giffre à l'Arve. Ces apports sont constitués en partie des matériaux que le Giffre mobilise sur son cône en s'y enfonçant par érosion régressive et en partie des apports qui proviennent de l'amont et notamment des affluents du Giffre à l'aval de Taninges. Dans la mesure où le lit n'est plus en équilibre, pavé dans certaines sections, mettant à nu des horizons de tourbe dans d'autres sections, il n'est pas possible d'apprécier le transport solide par le calcul. Les formules donnent une capacité de transport, mais le charriage réel est certainement très inférieur à cette capacité. Les chiffres que nous avons retenus sont très approximatifs et correspondent à la situation actuelle. Ces chiffres sont susceptibles d'augmenter dans l'avenir lorsque la vague de réengrèvement du lit atteindra la confluence. La zone de divagation laissée au Giffre sur son cône de déjection offre une latitude de respiration du lit qui permet d'encaisser les apports du Giffre en cas de crue rare. Du fait de cette zone de respiration, les risques événementiels liés aux apports du Giffre à l'Arve restent limités. Il importe de conserver cette latitude en plan du cône du Giffre pour se prémunir des risques liés aux apports événementiels.

- (11) Bien que le Bronze ait été autrefois un torrent redoutable, il n'est plus aujourd'hui en mesure d'apporter des matériaux à l'Arve.
- (12) La forte crue du bassin amont du Borne en juillet 1987 (catastrophe du Grand Bornand) n'a pas amené beaucoup de matériaux à l'Arve.
- (13) La crue de 1974 de la Ménoge a amené environ 10000 m³ à l'Arve.
- (14) Le Foron de Gaillard a une pente insuffisante pour amener les matériaux jusqu'à l'Arve

La sommation conduit à environ 35 000 à 40 000 m³/an d'apports des affluents dont il est laissé à l'Arve 23 000 m³/an. En y ajoutant les apports de l'Arve amont au barrage des Houches, ce sont environ 50 000 à 55 000 m³/an de matériaux qui arrivent à l'Arve en aval des Houches dont 38 000 m³/an qui lui sont effectivement laissés.

3.7. Zones de divagation laissées à l'Arve

L'Arve a deux sources d'apports :

- les apports extérieurs provenant de son bassin versant à travers son chevelu hydrographique ou provenant de chutes de blocs et de glissements de terrain directement dans l'Arve,
- les apports qu'elle mobilise sur son propre lit alluvial.

Nous venons de mettre en évidence les apports du chevelu hydrographique. Les chutes de blocs et les glissements de terrain ont un comportement événementiel. Des glissements de terrains instables dans l'Arve sont possibles à proximité de la confluence de Nant Bordon. Nous les avons déjà comptabilisés dans les apports du Nant Bordon.

Du fait de la généralisation de l'endiguement et de la chenalisation de l'Arve, les apports qu'elle peut mobiliser dans son propre lit ont considérablement diminué. Dans la plupart des tronçons, l'Arve est maintenue entre des digues et dans les tronçons étroits le lit est profond et pavé. Dans les tronçons pavés, l'Arve n'a alors plus aucune réserve de matériaux, sauf en cas de dépavage du lit par une érosion régressive.

Dans les tronçons où l'Arve est encore en mesure de divaguer, il reste un stock alluvionnaire que l'Arve peut remobiliser en développant son méandrement. Les bancs alternés qui demeurent sur certains tronçons endigués mais laissant une largeur suffisante au lit forment également un réservoir de matériaux que l'Arve peut remobiliser.

Nous analysons dans le paragraphe suivant l'Arve tronçon par tronçon. Les latitudes laissées en plan à l'Arve y sont analysées. Nous synthétisons ici les résultats de l'analyse en mettant en évidence les seuls tronçons où il est laissé à l'Arve un stock de matériaux solides susceptibles d'être remobilisés par la rivière :

- Dans le secteur de Chamonix, l'Arve est endiguée. Après curage des dépôts suite aux crues, l'Arve ne dispose plus de stock alluvial notable, sauf à la queue du barrage des Houches où les atterrissements font l'objet d'extractions. Le lit a alors tendance à se paver.
- Entre le barrage des Houches et le pont Sainte-Marie, le lit peut respirer en altitude et dans une certaine mesure en latitude et a un rôle de tampon vis à vis des apports des Nants.
- A l'amont du Pont Pelissier à Servoz, on observe actuellement un beau lit alluvial qui respire assez fortement et qui pourrait résulter d'apports relativement récents de matériaux. Pour autant il a peu de latitude d'évolution latérale, du fait de proximité des versants (sortie des gorges).
- Dans Servoz, le lit est endigué. On observe un réalluvionnement du lit entre le Pont Pelissier et la confluence de la Diosaz. Ce réalluvionnement représente un stock non négligeable de matériaux. A l'aval du Pont de l'Avenue, le lit est endigué étroitement et pavé. Mis à part une zone d'atterrissement à l'aval immédiat de l'endiguement, le stock alluvial est quasiment nul.
- A l'aval de la confluence du Nant Bordon et jusqu'à la retenue de l'Abbaye, le lit n'a aucune latitude en plan et est pavé. Le stock alluvial est nul. Des matériaux sont déposés dans la retenue de l'Abbaye, mais ils sont très fins et difficilement remobilisables, même par des chasses.
- Entre le seuil du Fayet et le pont de la Carabote, le lit auquel une largeur suffisante a été laissée entre les endiguements conserve un caractère alluvial et on observe quelques atterrissements. Le stock de matériaux correspondant est très limité.
- Entre le pont de la Carabote et les lacs des llettes, le lit est endigué, rectiligne, étroit et profond. Il est pavé et n'offre aucun stock alluvial.
- Entre le dernier lac des llettes et la confluence du torrent de Luzier, sur 500 m les endiguements laissent à l'Arve une plus grande largeur. On y observe des atterrissements.
- Entre la confluence du torrent de Luzier et la confluence de la Rippaz, le lit est totalement fixé par des endiguements et pavé.
- Entre la confluence de la Rippaz et le pont vieux de Cluses, le lit est également fixé par des endiguements anciens sur certains tronçons, récents sur d'autres. Le stock alluvial est très limité.

- Dans la traversée de Cluses, l'Arve n'a aucune latitude de divagation. Le lit est tenu par les seuils de la Sardagne et de Pressy. Il n'y a aucun stock alluvial hormis ce que retiennent les seuils mais qui n'est pas mobilisable.
- Entre les confluent du Foron et du Nant de Marnaz, l'Arve dispose d'une latitude de divagation sur sa rive gauche ; le stock alluvial correspondant y est cependant très réduit et la remobilisation négligeable.
- Entre la sortie de Cluses (pont des Chartreux) et jusqu'à 500 m à l'aval de la confluence du Giffre, l'Arve dispose encore d'une latitude de divagation. Elle développe des méandres qui érodent le stock alluvial du lit majeur. Dans cette zone, il y a donc une remobilisation de matériaux de l'ordre de quelques centaines de m³/an. Pour autant cette zone s'est fortement enfoncée par rapport à la situation de début du siècle.
- A l'aval de cette zone et jusqu'au pont de l'Europe, le lit est complètement endigué. Le lit entre digues est relativement large et des bancs alternés y sont présents que l'Arve pourrait remobiliser, dans la mesure où elle arrive à vaincre la résistance liée à la « fossilisation » des bancs.
- A l'aval du Pont de l'Europe, les endiguements réduisent progressivement la largeur du jusqu'à la confluence du Borne. Dans ce court tronçon, le lit est profond et pavé.
- Entre le confluent du Borne et le Pont de Bellecombe, nous avons la plaine alluviale de Contamine. L'Arve n'est que modérément endiguée dans la partie amont et restreint par ailleurs entre des cordons instables. De nombreux bassins d'extraction ont été réalisés dans le lit majeur. L'Arve garde dans ce tronçon une latitude de divagation, capturant occasionnellement ces anciens bassins d'extraction. L'Arve est en mesure de se recharger en matériaux sur ce tronçon dans la mesure où de nombreux bancs subsistent dans le lit. Le transit de matériaux charriés peut toutefois être stoppé durablement par endroit si l'Arve capture d'anciens bassins d'extraction comme ceci s'est déjà produit.
- Entre le Pont de Bellecombe et le confluent de la Ménoge, le lit est très encaissé et globalement confiné et pavé sur la plus grande partie. La vallée s'élargit dans la zone du Pont Neuf, où on observe des atterrissements, notamment à l'amont du Pont Neuf et dans le méandre à l'aval du Pont Neuf. Le stock alluvial correspondant demeure limité.
- Au niveau de la confluence de la Ménoge, la capture de l'ancien lac de Creuse a conduit à un processus de réalluvionnement de cette zone qui pourra à terme, sous l'effet du méandrement, libérer un certain stock alluvial.
- Plus à l'aval et jusqu'à la frontière, le lit est endigué, confiné par endroit et globalement pavé. Le stock alluvial y est très réduit.

- Dans la partie Helvétique de l'Arve, le lit s'est fortement enfoncé sous l'effet des extractions et est maintenu confiné entre digues et par de nombreux seuils en travers. Le lit, pavé, dispose de très peu de stock alluvial mobilisable.

3.8. Analyse tronçon par tronçon

Cette analyse met en avant les spécificités de chaque tronçon vis à vis du transport de matériaux. Une analyse comparative des pentes et de l'évolution du lit est faite entre la période de référence, 1912, et l'année 1990 pour lesquelles nous disposons de la totalité du profil en long de l'Arve. Cette analyse est complétée à partir de données de lignes d'eau plus récentes, mais qui ne couvrent que partiellement le linéaire. Ces données récentes résultent des campagnes suivantes :

- Profils en long réalisés en 2000, dans le cadre de la présente Etude, sur plusieurs tronçons, par le cabinet de géomètre SINTEGRA ;
- Cartographie établie en 1999 pour l'étude Borne – Pont de Bellecombe, du PK 16 au PK 27, par le cabinet de géomètre ROSTAND ;
- Cartographie établie en 1999 pour l'étude de la traversée de Cluses , du PK 38,75 au PK 46,75, par le cabinet de géomètre CARRIER ;
- Cartographie établie en 1998 pour l'étude de la traversée de Sallanches, du PK 56 au PK 60, par le cabinet de géomètre CARRIER ;
- Cartographie établie en 1998 pour l'étude de la confluence du Nant Bordon, du PK 67,7 au PK 69, par le cabinet de géomètre PERAZIO.

On se reportera aux planches photographiques en Annexe 1.1 représentant l'Arve dans ces différents tronçons.

3.8.1. Tronçon helvétique

Il s'agit du tronçon compris entre la frontière (PK 0) et le Rhône. Dans ce tronçon, le lit est maintenu entre digues. Il est confiné et pavé. Sous l'effet des extractions massives, le lit s'est fortement abaissé. De nombreux seuils ont été réalisés pour stopper l'érosion régressive.

3.8.2. PK 3 à PK 0,0 (frontière)

Profils en long : Figures 4.2.2, 4.4.2 et 4.8.2 en Annexe 3

Zone d'anciennes divagations sur 500 à 1000 m de largeur. Evolution marquée par deux étapes :

- phase d'extractions massives (1965-1980)

Il en a résulté un abaissement du lit de 1,0 m à 2,0 m.

L'apparition d'une chute de plus en plus haute aux ponts et dans le lit aval est due à la présence d'un pavage naturel de blocs et aux recharges successives d'enrochements qui constituent une zone de rapide à forte pente sur 200 m environ.

- phase de remblais massifs, relayant les extractions, sur les terrasses du lit majeur, relevant le niveau du lit naturel nettement au dessus du niveau primitif.

Le profil en long est stabilisé par le seuil aval et par un tapis d'enrochements au PK 1,5. Le tronçon entre le pont de zone (PK 2,3) et le pont autoroutier (PK 3,8) est plus instable mais plus naturel (pentes irrégulières, bras multiple, divagations).

Globalement, et malgré les enfoncements, la pente en 1990 est sensiblement similaire à celle de 1912. Le calcul donne donc une capacité de transport comparable : 60 000 m³/an. En fait, les pavages naturels et artificiels mis progressivement en place, et les rapides correspondant, réduisent la capacité de transport. Le charriage réel doit donc être revu à la baisse.

Le profil en long de la ligne d'eau relevé en 2000 montre que, en 10 ans, le lit a continué à s'enfoncer, de 10 à 30 cm, entre les PK 1 et PK 0 et jusqu'à 50 cm entre les PK 3 et PK 2. En revanche le lit s'est exhaussé, de 10 à 50 cm, entre les PK 2 et PK 1. Dans cette zone, le lit est donc globalement stable, les dépôts compensant les enfoncements, mais l'évolution constatée a conduit à augmenter considérablement la pente du lit entre les PK 2 et PK 1. Cette stabilité globale présente donc un caractère précaire et on peut s'attendre à une érosion ultérieure du dépôt constaté dans ce tronçon, d'autant que le tronçon à l'amont du PK 3 est en déficit prononcé de transport solide (voir paragraphe suivant).

3.8.3. Confluence Ménoge (PK 6,7) à PK 3

Profils en long : Figures 4.2.2, 4.4.2 et 4.8.2 en Annexe 3

On observe entre la confluence de la Ménoge et le PK 3 une augmentation de la pente entre 1912 et 1990 qui passe de 2,6 ‰ à 3,2 ‰. Cette augmentation correspond à un enfoncement de plus de 1 m à l'aval et un exhaussement de 1 m au niveau de la confluence de la Ménoge, le lit ayant peu bougé dans la traversée d'Etrembières (PK 5,6 à 4,6) où il est tenu par un seuil au niveau des ponts.

Le tronçon du lac de Creuze (PK 6,7 à 5,6) est une zone à forte activité récente dans un ancien méandre alluvial :

- Extractions importantes 1970/1975 partiellement sous-eau (lac de Creuze) mal isolées du lit de l'Arve par un cordon protégé trop sommairement à l'amont.

- Simultanément, dépôt de matériaux de remblais sur la colline de Collonges (RD) qui réactivent un glissement important de tout le versant. Ce glissement entraîne des couches argileuses sous-jacentes qui subissent une surrection dans le lit de l'Arve repoussé et réhaussé.
- Le 13 septembre 1974, une crue de la Ménoge engrave le confluent et l'Arve exhausse ouvre une brèche en RG et bascule dans le bassin d'extraction. Engrèvement progressif de la zone. Plan d'eau ouvert.
- Le 27 novembre 1983, nouvelle capture de l'Arve (qui avait été rétablie dans son lit) qui crée une large brèche dans le cordon RG.

Le processus de réengrèvement par l'Arve de toutes les anciennes extractions est largement en cours. L'ancien lit de l'Arve continue à être repoussé et rehaussé au profit du lit dérivé (RG) qui divague et respire avec des fluctuations importantes.

De par la forte augmentation de la pente, entre 1912 et 1990, la capacité de transport solide par charriage se trouve considérablement augmentée (280 000 m³/an au lieu de 100 000 m³/an). En réalité, le charriage réel est fortement réduit à l'aval du lac de Creuse de par le processus de réalluvionnement en cours de l'ancienne zone d'extraction associée à la capture du lit de l'Arve. Le lit étant naturellement ou artificiellement pavé plus à l'aval, il résiste aux forts écoulements beaucoup moins chargés en matériaux solides que ce que la pente permettrait d'écouler. Ce n'est qu'après la complétude du processus de réalluvionnement que le transport solide pourra réaugmenter notablement à l'aval, ce qui prendra plusieurs dizaines d'années.

Le profil en long levé en 2000 montre, depuis 1990, un enfoncement du lit de 0,20 m à 1 m entre la confluence de la Ménoge et les ponts d'Etrembières. Le lit est tenu par le seuil des ponts d'Etrembières. A l'aval du seuil, le lit s'est également enfoncé, de plus de 1 m à l'aval immédiat du seuil, de 0,20 m à 0,70 m plus à l'aval. L'érosion du lit, sur ce tronçon, est significative d'une situation de déficit de transport par charriage. Le rôle du seuil d'Etrembières est essentiel pour tenir le lit.

3.8.4. Barrage d'Arthaz (PK 7,7) à la confluence de la Ménoge (PK 6,7)

Profils en long : Figures 4.2.2, 4.4.2 et 4.8.2 en Annexe 3

Ce court tronçon est situé dans un lit très encaissé avec fixation du profil sur un substratum rocheux molassique (PK 7,6).

Le réhaussement du niveau de l'Arve à la confluence de la Ménoge alors que le niveau du lit restait stable au pied du barrage d'Arthaz a conduit à réduire considérablement la pente de ce tronçon (0,7 ‰ en 1990 à comparer à 1,5 ‰ en 1912). On est passé d'une situation où le transport solide ne faisait que transiter du fait du pavage du lit à une situation où le lit a une capacité de transport par charriage très réduite. Sous réserve que des matériaux parviennent encore au barrage d'Arthaz et qu'ils puissent passer le barrage, on peut logiquement s'attendre à un alluvionnement et donc à un exhaussement de ce tronçon dans le futur dont la pente s'équilibrera en fonction des apports amont.

Entre 1990 et 2000, il n'y a pas eu de modification sensible du profil en long entre le barrage d'Arthaz et la confluence de la Ménoge. Ce tronçon est resté stable.

3.8.5. Pont Neuf (PK 11,4) au barrage d'Arthaz (PK 7,7)

Profils en long : Figures 4.2.3, 4.4.3 et 4.8.3 en Annexe 3

Ce tronçon est également situé dans un lit très encaissé avec fixation du profil en long à plusieurs reprises sur un substratum rocheux molassique de résistance inégale (PK 10).

Pour autant, il apparaît en 1990 un exhaussement du lit au droit et dans le méandre à l'aval de la confluence du Foron de Reignier qui suggère un processus de réalluvionnement d'au moins une partie du tronçon.

La pente du tronçon en 1912, 1,0 ‰, donne une capacité de transport par charriage de 30 000 m³/an. La pente du tronçon en 1990 est plus proche de 1,4 ‰ et offrirait une capacité de transport par charriage plus élevée : 90 000 m³/an. Le lit n'étant pas à proprement parler alluvionnaire sur ce tronçon, il s'agit plutôt d'une zone de transit du transport par charriage. Le charriage effectif est certainement inférieur à la capacité de transport, étant dépendant de l'alimentation en matériaux solides de l'Arve à l'amont et de son affluent le Foron de Reignier. Les manœuvres du barrage d'Arthaz peuvent avoir une incidence sur les dépôts dans la partie aval du tronçon.

Le profil en long levé en 2000 précise celui de 1990 qui était sommaire (on ne disposait que de quelques points obtenus par calcul de ligne d'eau). Le profil en long de 2000 confirme qu'un exhaussement de la ligne d'eau s'est effectivement produit depuis 1912, mais il en limite l'amplitude à environ 0,75 m. Sur le terrain, on observe des zones de dépôts dans les parties élargies de la rivière.

3.8.6. Pont de Bellecombe (PK 15,9) à Pont Neuf (PK 11,4)

Profils en long : Figures 4.2.3, 4.4.3 et 4.8.3 en Annexe 3

Ce tronçon est également situé dans un lit très encaissé avec fixation du profil en long à plusieurs reprises sur un substratum rocheux molassique de résistance inégale (PK 15,2, ...).

La partie aval du tronçon (Pont Neuf) est une zone alluvionnaire à l'inverse de la partie amont correspondant à un ancien méandre de l'Arve que celle-ci a ensuite recoupé. Ce tronçon est limité à l'aval par le radier-seuil en enrochement sous le Pont Neuf. Des extractions ont été faites anciennement à l'amont de Pont Neuf avec une drague line.

L'analyse du profil en long montre que ce tronçon comprend une première partie assez pentue (PK 15,9 à PK 14,5) suivie d'une partie à la pente plus faible. La comparaison des profils en long de 1912 et 1990 met en évidence un engravement qui serait déjà ancien dans la partie alluvionnaire du Pont Neuf. Cet alluvionnement est probablement lié à la construction du seuil sous le pont. Pour autant la pente de la zone alluvionnaire est globalement conservée : 1,1 ‰. La capacité de transport correspondant est de 30 000 m³/an pour un diamètre moyen de 17 mm.

Le profil en long de la ligne d'eau de 2000, plus précis que la ligne d'eau calculée de 1990, et mesuré pour un plus faible débit, confirme l'hypothèse que l'alluvionnement constaté à l'amont du pont est lié à la réalisation du radier-seuil. Il en limite considérablement l'amplitude : 1 m d'alluvionnement à l'amont immédiat du seuil, par rapport à ligne d'eau de 1912, tandis qu'on retrouve le profil en long de 1912 à 1 kilomètre à l'amont du seuil.

3.8.7. Confluence Borne (PK 26) à Pont de Bellecombe (PK 15,9)

Profils en long : Figures 4.2.4, 4.4.4 et 4.8.4 en Annexe 3

Il s'agit du tronçon de la Plaine de Contamine. C'est une large zone de divagations anciennes dans une plaine alluviale entre le confluent du Borne et le verrou de Bellecombe.

Un endiguement a été réalisé anciennement (19^{ème} siècle et 20^{ème} siècle) dans la partie amont (jusqu'au PK 21 en RG et PK 23 en RD).

Le profil en long était relativement stable jusqu'en 1960 environ.

De nombreuses extractions ont été réalisées dans le lit majeur, d'abord en RD entre les PK 21 et 23, puis ont été étendues aux deux rives sur toute la zone (1970-1973) et prolongées vers l'amont en RD (1975-1980).

Le lit mineur est restreint entre des cordons instables ce qui favorise un abaissement lent du profil en long. Un processus lent est engagé par la rivière pour la reconstitution de son matelas alluvial qui est entravé par le confinement du lit mineur.

Dans l'état de référence (1912), la pente diminue progressivement d'amont en aval. Nous avons pu mettre en évidence deux tronçons homogènes, entre les PK 26 et le PK 21,5 (pente 1,9 ‰) d'une part, entre les PK 21,5 et 15,9 d'autre part (pente 1,8 ‰). En 1990, on observe un basculement de la pente du tronçon aval qui passe à 1,3 ‰ tandis que le tronçon amont conserve une pente voisine de sa pente initiale : 1,8 ‰. L'enfoncement du lit augmente régulièrement d'aval en amont. Il est nul au niveau du verrou de Bellecombe puis passe progressivement de 1 m dans le tronçon aval jusqu'à 3 à 4 m dans le tronçon amont.

La légère diminution de la pente du tronçon amont entre 1912 et 1990 s'accompagne d'une diminution de 65 000 à 45 000 m³/an de la capacité de transport par charriage. On peut s'attendre à ce que le confinement du lit mineur et les effets de pavage du lit associés aient pour conséquence un charriage réel inférieur à la capacité de transport du lit. Par ailleurs, le lit est toujours susceptible de capturer un plan d'eau d'extraction (ce qui s'est déjà produit, notamment en 1983). Dans, ce cas on pourra alors observer un arrêt du transport solide à l'aval dans la phase de réalluvionnement de l'ancienne zone d'extraction.

La forte diminution de la pente dans le tronçon aval s'accompagne d'une diminution considérable de la capacité de transport solide par charriage. On passe ainsi entre 1912 et 1990 d'une capacité de 60 000 m³/an à une capacité de 5 000 m³/an.

On voit donc que dans la plaine de Contamine, les extractions ont conduit à une situation déséquilibrée avec pour conséquence une forte diminution du charriage au delà du PK 21. Seuls des matériaux de diamètres plus fins que ceux initialement charriés sont, dans la situation de 1990, susceptibles de passer le verrou de Bellecombe en quantité non négligeable.

La comparaison du profil en long de 1999 et de celui de 1990 met en évidence que entre les PK 20 et 16, le lit n'a pas évolué de façon significative en 10 ans. A l'amont du PK 19, on observe un premier enfoncement allant jusqu'à 50 cm entre les PK 19 et 21, une zone de relative stabilité entre les PK 21 et 23 et une zone de plus fort enfoncement, d'environ 1m, entre les PK 23 et 25. L'évolution observée entre les PK 26 et 27, zone de confluence du Borne (abaissement de 70 cm), n'est pas forcément significative dans la mesure où c'est une zone à susceptible de respirer sous l'effet des apports du Borne. Globalement, ce tronçon a plutôt eu tendance à s'enfoncer, ce qui a eu pour effet d'augmenter la pente du lit à l'aval du seuil de Bonneville au PK 25,8. Des précautions doivent donc être prises pour assurer la pérennité de ce seuil

3.8.8. Confluence Giffre (PK 33,9) à confluence Borne (PK 26)

Profils en long : Figures 4.2.5, 4.4.5 et 4.8.5 en Annexe 3

L'Arve dans la traversée de Bonneville (PK 27,7 à 25,7) a été maintenue par des protections depuis plusieurs siècles (endiguements) qui concernaient surtout la rive droite. En rive gauche, les divagations et les submersions du Borne s'ajoutaient aux inondations de l'Arve. A cet effet, la confluence du Borne a été aménagée.

Les abaissements importants de la plaine de Contamine ne se sont propagés que partiellement jusqu'au pont de Bonneville. Un seuil précaire (blocs) et le pavage au débouché du Borne, confortés à partir de 1986 par un seuil en enrochements 300 m à l'aval de la confluence, ont permis de limiter à 3 m/3,5 m l'abaissement à l'aval du pont de Bonneville. Un seuil est également construit sous le pont de Bonneville (seuil de l'Europe).

On notera que des travaux de protection de berges en enrochements sont actuellement en cours au droit de la confluence du Borne, en RD.

Entre le PK 33 et Bonneville les deux rives sont occupées par des voies de communication (CD 19 en RD; autoroute en RG). L'Arve n'a plus aujourd'hui aucune latitude alors que c'est une ancienne zone de divagation très large. Entre le PK 33 et jusqu'au Pont de Bonneville, on peut observer des bancs alternés dans le lit de l'Arve qui sont les témoins d'une certaine activité alluvionnaire, ralentie par l'effet de fossilisation des bancs (des essais de remobilisation des bancs par scarification sont en cours). On observe également des bancs à l'aval de la confluence du Borne. Le lit de l'Arve est très étroit et profond entre le Pont de Bonneville et la confluence du Borne.

Entre la confluence du Giffre (PK 33,9) et le PK 33, la zone boisée relativement moins élevée, située à l'aval du confluent en RD du Giffre et de l'Arve, constitue la seule latitude en plan qui subsiste. Actuellement une anse d'érosion s'y développe.

Entre le PK 33 et le pont de Bonneville, le profil en long de l'Arve a basculé, la pente passant de 1,9 ‰ à 1,6 ‰ entre 1912 et 1990. Au PK 33,2, l'enfoncement atteint 4,50 m. La capacité de transport par charriage est tombée de 45 000 m³/an à 10 000 m³/an. Cette capacité sera encore réduite par la création programmée de seuils de faible chute aussi longtemps qu'ils ne seront pas engravés.

Entre le seuil du pont d'Anterne (PK 34,5) et le PK 33,2, le profil en long montre une forte pente en 1990 (2,8 ‰) associée à une érosion régressive à l'œuvre dans la zone de confluence du Giffre qui, dix ans plus tard (2000) déstabilise le pied du seuil du pont d'Anterne et les protections de berge le long de l'autoroute (RG). L'évolution en altitude du lit est toutefois, dans cette zone, très dépendante des apports du Giffre.

Dans ce tronçon, l'Arve, en 1990, est dans une situation de déséquilibre qui nécessite la mise en place d'ouvrages de protection, notamment des seuils, conformément au Contrat de Rivière. Une partie de la berge RD à l'amont de Bonneville a été récemment renforcée par une carapace en enrochements (entre les PK 31 et 32).

L'évolution entre 1990 et 1998 montre un très léger enfoncement du lit à l'amont de Bonneville et un travail en cours de l'Arve tendant à réduire la pente du lit à l'aval du seuil d'Anterne (enfoncement suivi d'un exhaussement du lit). L'évolution du lit en altitude reste inférieure à 50 cm.

3.8.9. Pont Vieux de Cluses (PK 42,2) au pont d'Anterne (34,6)

Profils en long : Figures 4.2.5, 4.4.5 et 4.8.5 en Annexe 3

Il s'agit d'une ancienne zone de divagation très large à l'amont du cône du Giffre qui a été progressivement endiguée. De cette ancienne zone de divagation, il subsiste aujourd'hui une latitude latérale dans les zones boisées et submersibles des deux berges, entre le PK 37,3 et jusqu'au pont d'Anterne, sur 300 à 400 m de largeur. Le méandrage de l'Arve dans cette zone reste actif.

Les extractions réalisées à partir de 1969 dans ce tronçon ont conduit à des abaissements importants du lit qui ont été largement aggravés par la découverte d'un substratum de matériaux plus fins (sables limoneux sous un toit de tourbe) qui a entraîné un basculement de la pente d'équilibre ; les abaissements sont de :

- 3,30 m au pont d'Anterne
- 7,50 m à l'aval de la restitution de Pressy

L'amont du tronçon est actuellement très anthropisé avec :

- Le seuil de Pressy au PK 38,7, créé en 1986,
- Le Pont seuil de la Sardagne au PK 40,1, créé en 1963, partiellement détruit par une crue et aussitôt reconstitué en 1983.

La grande instabilité du lit dans ce secteur (abaissement de 1 m en 10 ans) nécessite, conformément au Contrat de rivière, des protections complémentaires (notamment un seuil de confortement du seuil de Pressy).

En 1990, sur le tronçon compris entre le seuil de Pressy (PK 38,7) et le pont d'Anterne (PK 34,6), la pente est désormais de 1,3 % là où elle était en 1912 de 2,7 %. La capacité de transport par charriage qui était initialement de 70 000 m³/an pour des matériaux de diamètre moyen 29 mm est désormais nulle pour les mêmes matériaux. Il ne peut donc plus y avoir de charriage des matériaux anciennement charriés dans ce tronçon.

On notera que le rejet de l'usine EDF de Pressy (dérivation des eaux du Giffre à Taninges) s'effectue à l'amont du seuil de Pressy. Ce rejet rajoute 22 m³/s d'eau claire aux apports de l'Arve jusqu'à ce que le débit dans le Giffre dépasse environ 100 à 125 m³/s (au delà le barrage est mis en transparence et la dérivation est arrêtée). Le calcul montre que, en l'état actuel du profil en long du lit, la capacité de transport par charriage reste nulle quand on ajoute aux débits naturels de l'Arve l'apport de 22 m³/s du Giffre.

Le profil en long de la ligne d'eau établi à partir des plans topographiques de l'étude de la traversée de Cluses (1999), ne met pas en évidence d'évolution importante de la ligne d'eau en 9 ans dans la traversée de Cluses. On relève toutefois un engraissement, de l'ordre de 70 cm, dans le bief compris entre le seuil de la Sardagne et le seuil de Pressy.

Le profil en long établi à partir des plans topographiques de l'étude du tronçon Pressy-Bonneville (1998) montre qu'entre le seuil de Pressy et le PK 37, le fond n'a pas bougé. Le profil en long de 1998 est positionné plus bas que celui de 1990 entre le PK 37 et le seuil du pont d'Anterne. Toutefois, on se gardera bien de conclure que le lit s'est enfoncé sur ces 2,5 km à l'amont du seuil dans la mesure où il est possible que le profil en long de 1990 ait été sommairement levé (faible densité de points).

3.8.10. Torrent de la Rippaz (PK 54) au Pont Vieux de Cluses (PK 42,2)

Profils en long : Figures 4.2.6, 4.4.6 et 4.8.6 en Annexe 3

Il s'agit du tronçon de Magland. Jusqu'à récemment le lit était à peu près fixé en plan par un ensemble de protections en enrochements très anciennes, mais les berges restaient largement submersibles. Dans le cadre du Contrat de rivière, des protections ont été mises en place en 1997 au droit de Magland pour protéger des inondations la zone industrielle et les lotissements en RD (entre PK 49,4 et 50,4). Le lit a été refaçonné (réduction de largeur à 45 m au lieu de 60/65m, terrasse submersible) pour éviter les dépôts tout en permettant d'écouler les crues sans débordement.

Lors de la création de l'autoroute (1970-1974) plusieurs ouvrages de franchissement ont été créés (ponts 5,6,7), ainsi que des rescindements du lit (Balme, Magland, Gravin, Grangeat), associés à des protections latérales. Plusieurs extractions de matériaux ont également eu lieu, mais généralement organisées en bassins submersibles dans le lit majeur sans répercussion directe sur le charriage et donc sur l'équilibre du profil en long.

Le lit s'est abaissé, mais ces abaissements sont plus modestes qu'à l'aval ou qu'à l'amont. Ces abaissements ont néanmoins nécessité la réalisation de radiers – seuils sous les ponts de l'autoroute (Ponts 4, 5, 6 et 7).

Des travaux de protection des berges et de réalisation d'un radier sont actuellement en cours sous les ponts de la RN 205 et du chemin de fer (PK 54) à Oex.

En 1990, l'enfoncement était environ de 1,50 m à l'aval de l'ouvrage N°6 de l'autoroute. A l'amont, l'enfoncement reste à peu près constant d'environ 1 m. La pente du profil en long a basculé entre l'ouvrage N°6 et le Pont Vieux de Cluses, passant de 3,1 ‰ à 2,4 ‰ entre 1912 et 1990. La capacité de transport par charriage a quant à elle considérablement diminué, passant de 80 000 m³/an à 15 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 30 mm.

Entre les ouvrages N°7 et N°6 de l'autoroute, la pente du profil en long a légèrement augmenté, passant de 3,1 ‰ à 3,2 ‰ entre 1912 et 1990. La capacité de transport par charriage augmenterait alors de 80 000 à 100 000 m³/an. Cette légère augmentation de la pente n'est en fait pas significative dans la mesure où elle intègre des zones de rapide, et donc de dissipation de l'énergie, correspondant à des protections locales des ouvrages de traversée. Il est prudent de reconduire la valeur de 80 000 m³/an pour 1990.

La comparaison des chiffres à l'amont et à l'aval de l'ouvrage N°6 fait apparaître un déséquilibre du transport et donc du lit. Il est compensé par un pavage de la partie amont du tronçon.

Le profil en long de la ligne d'eau en 2000 réalisé entre les PK 53 et 54 montre que le lit n'a pas évolué dans ce secteur depuis 10 ans.

3.8.11. Pont Vieux de Sallanches (PK 59) au torrent de la Rippaz (PK 54)

Profils en long : Figures 4.2.6, 4.4.6 et 4.8.6 en Annexe 3

Le lit est totalement fixé en plan par des protections de berge et des endiguements anciens.

Des extractions ont été anciennement réalisées dans le lit mineur et dans le lit majeur (lacs des llettes).

Des digues latérales ont été réalisées à l'aval de Sallanches en RD et RG en 1965 qui protègent la zone des lacs des llettes (RD) et la zone industrielle RG. Entre Sallanches et les lacs des llettes, le tracé de l'Arve est complètement rectiligne, le lit est étroit, profond et pavé.

L'Arve reçoit dans ce tronçon des torrents affluents qui ont été très actifs anciennement vis à vis de l'apport de matériaux : Nant de la Rippaz, torrent de Crève-Cœur, torrent de la Sallanches, torrent de Reninges.

Un abaissement important du lit s'est produit à l'aval de Sallanches et dans la traversée de Saint-Martin qui a nécessité la création, vers 1970, d'un seuil sous le pont routier à l'amont immédiat du Pont Vieux de Sallanches.

Alors que ce tronçon avait une pente à peu près constante de 4,1 ‰ en 1912, on observe en 1990 une cassure dans le profil en long du lit, la pente ayant fortement diminué à l'aval du torrent de Crève-cœur (2,9 ‰) et plutôt augmenté à l'amont (4,7 ‰).

En 1912, la capacité de transport solide par charriage était 100 000 m³/an. Elle a, en 1990, considérablement diminué à l'aval du torrent de Crève-cœur : 15 000 m³/an, alors qu'elle a beaucoup augmenté dans la partie amont : 190 000 m³/an. Ceci traduit à nouveau un déséquilibre du lit sur ce tronçon qui ne peut être imputé à la seule respiration du lit sous l'effet des apports des torrents affluents. Dans la partie amont, le lit se protège de l'érosion en développant un pavage, de sorte que le charriage effectif est beaucoup plus faible que la capacité de transport.

Le profil en long de la ligne d'eau levé en 2000 montre que le lit n'a pas évolué depuis 10 ans entre les PK 56 et 54.

3.8.12. Seuil du Fayet (PK 65,3) au Pont Vieux de Sallanches (PK 59)

Profils en long : Figures 4.2.7, 4.4.7 et 4.8.7 en Annexe 3

La plaine de Passy était anciennement submersible. Des abaissements considérables ont été occasionnés par les extractions entre 1965 et 1980 à l'aval des ponts de l'Abbaye : 11,50 m environ.

Le seuil du Fayet a été réalisé à l'aval des ponts en 1976, puis une micro-centrale pour exploiter la chute (1982-1983).

Le rescindement de la Cavettaz (1972-1974) a été réalisé pour le passage de l'autoroute.

De petits seuils ont également été mis en place (seuils de la Cavettaz, seuil du Bonnant à l'amont du confluent).

Malgré la stabilisation du lit par des seuils, on observait en 1990 une persistance de la tendance à l'abaissement qui conduit au déchaussement de ces seuils. Récemment, deux nouveaux seuils ont été réalisés pour renforcer le dispositif existant.

Plusieurs niveaux de terrasses intermédiaires peu larges subsistent et résultent soit des anciennes exploitations, soit de quelques divagations de l'Arve.

La pente du lit, en 1912, était à peu près constante sur le tronçon compris entre la confluence de l'Ugine et le Pont Vieux de Sallanches : 5,3 ‰. On observe en 1990 une cassure du profil en long en plusieurs endroits qui met en évidence le profond changement de l'équilibre de ce tronçon. Dans la partie aval, entre les PK 60,8 et 59, la pente s'établit à 3,9 ‰. Dans la partie amont, entre les PK 65,3 et 61,9, la pente est également de 3,9 ‰. Dans la partie intermédiaire comprise entre les PK 61,9 et 60,8, la pente plus forte de 5,9 ‰ est associée à la présence des seuils de la Cavettaz.

Alors que la capacité de transport par charriage du tronçon était de 140 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 47 mm en 1912, elle n'est plus que de 10 000 m³/an aussi bien dans la partie aval que dans la partie amont en 1990 (On notera que dans les parties étroitement endiguées, la capacité est plus élevée que ce que donne la formule de transport).

Le profil en long de la ligne d'eau réalisé en 2000, entre le seuil du Fayet et le Pont de Carabote montre que le lit n'a pas évolué en 10 ans.

Le profil en long de la ligne d'eau établi à partir des plans cartographiques de l'étude de l'aménagement de Sallanches (1998) montre que le lit n'a pas évolué de façon significative en 8 ans dans la traversée de Sallanches.

3.8.13. Nant Bordon (PK 69) au seuil du Fayet (PK 65,3)

Profils en long : Figures 4.2.7, 4.4.7 et 4.8.7 en Annexe 3

Dans ce tronçon la pente augmente rapidement à l'amont du canal de restitution EDF (PK 66,8), dans la mesure où l'Arve coule alors sur un cône de déjection, pavé de gros blocs, résultant des apports de l'Arve à la sortie des gorges, des déjections du Nant Bordon et de l'ancien éboulement des Fiz en RD. L'Arve sur ce tronçon n'a aucune latitude d'évolution en plan.

A l'amont des ponts de l'Abbaye, l'Arve a encore subi des abaissements importants, de 4 à 6 m. Ces abaissements sont sensibles sur la totalité du tronçon. La tendance à l'abaissement était persistante à l'aval de l'usine EDF de Passy en 1990, provoquant des érosions latérales et la destruction du seuil existant. Deux seuils de fixation du lit (EDF et extracteur) ont été réalisés.

La partie amont reste néanmoins un secteur à forte respiration. Ainsi lors de la crue du 22 septembre 1968, le lit engravé par les apports solides amont et étranglé brutalement à l'entrée de l'usine de Chedde (PK 68,5), s'est exhaussé ; l'écoulement a alors débordé largement en RD, a contourné l'usine, et a noyé toute la plaine de Chedde jusqu'à l'Abbaye sous plus d'un mètre d'eau.

Entre le PK 66,8 et la retenue constituée par le seuil du Fayet, la pente du lit a diminué passant de 9,3 ‰ à 8,1 ‰ de 1912 à 1990. La capacité de transport par charriage était en 1912 de 260 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 68 mm. En 1990 elle est tombée à 100 000 m³/an. La persistance de la tendance à l'abaissement aussi bien à l'amont qu'à l'aval du seuil du Fayet suggère que le charriage réel est certainement beaucoup plus faible, le lit s'étant partiellement protégé de l'enfoncement par le développement d'un pavage bien visible sur le terrain à l'amont de la retenue de l'Abbaye.

Le profil en long de la ligne d'eau de 2000 ne met pas en évidence d'évolution du lit en dix ans entre les PK 67,3 et la retenue de l'Abbaye.

Le profil en long de la ligne d'eau établi à partir des plans cartographiques de l'étude de la confluence du Nant Bordon (1998) montrent que entre les PK 68,5 et 69 le lit n'a pas évolué de façon significative. En revanche, un abaissement important de la ligne d'eau, 5 m, est relevé entre les PK 67,5 et 68,5 qui tendrait à montrer que, malgré le pavage qui s'est constitué, le lit a toujours tendance à s'abaisser. On doit également noter qu'il s'agit d'une zone de forte respiration potentielle de par les apports du Nant Bordon. On tempèrera néanmoins cet abaissement dans la mesure où les données de 1990, peu nombreuses dans cette zone, sont relativement peu précises et donc difficilement comparables aux données de la situation actuelle.

3.8.14. Tronçon de Servoz du Pont Pelissier (PK 73,4) au pont du Chatelard (PK 71,1)

Profils en long : Figures 4.2.8, 4.4.8 et 4.8.8 en Annexe 3

Ce tronçon constitue l'ancien lac de Servoz qui a subsisté pendant plusieurs siècles à la suite d'un barrage naturel de la vallée au Châtelard résultant de l'écroulement de la montagne des Fiz. On notera que des éboulements des Fiz se sont également produits ultérieurement (en 1471 et 1751) qui ont obstrué à chaque fois le lit de l'Arve, mais à chaque fois ils ont été dégagés avant que ne se reforme le lac.

La conséquence directe de ces phénomènes du point de vue du lit de l'Arve est une zone à faible pente relative, de divagation du lit mineur entre les pieds des deux versants qui a subsisté jusqu'au milieu de ce siècle. Le lit actuel est établi dans des alluvions sur 2,5 km.

L'action conjuguée d'extractions entre le pont Pélissier et le confluent de la Diosaz, puis de remblais dans la partie aval et d'un endiguement du lit à l'aval du Pont de l'Avenue ont entraîné des abaissements de 1,50 m à 2,00 m pas totalement stabilisés en 1990.

Le confinement du lit (endiguement à l'aval, encaissement à l'amont) a supprimé une zone de divagation naturelle.

Deux seuils ont été réalisés dans les années 1980 en enrochements à l'amont du confluent de la Diosaz, mais ils étaient en 1990 déjà très endommagés par l'abaissement du lit. Le pont Pélissier a également été protégé par un seuil en blocs bétonnés qui était également très sollicité en 1990 par l'abaissement du lit à l'aval. En outre des protections de berges ont été mises en place.

L'analyse du profil en long montre une cassure de pente de part et d'autre de la confluence de la Diosaz. En 1912, la pente à l'aval de la confluence était de 9,5 %. Elle a légèrement diminué en 1990 : 9,0 %. Ce faisant, la capacité naturelle de transport par charriage est passée de 230 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 68 mm à 170 000 m³/an. Depuis la réalisation de l'aménagement des Houches-Passy, les débits classés ont été considérablement modifiés. Avec la dérivation de 36 m³/s qui est maintenue jusqu'à un débit d'environ 70 m³/s aux Houches, la capacité de transport par charriage chute à 30 000 m³/an.

A l'amont de la confluence, la pente était en 1912 de 14 %. Jusqu'au deuxième seuil, la pente des deux biefs alluviaux a fortement diminué s'établissant en 1990 à environ 12 %. La capacité naturelle de transport par charriage est tombée de 400 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 86 mm à 175 000 m³/an. Entre le deuxième seuil et le pont Pelissier, la pente a augmenté passant à 15 %. La capacité naturelle de transport par charriage s'en trouverait considérablement augmentée (700 000 m³/an). En réalité, du fait de la dérivation des Houches, la capacité de transport par charriage est considérablement réduite et chute à 25 000 m³/an pour l'aval du tronçon et à 55 000 m³/an pour l'amont du tronçon. Les affouillements constatés montrent que dans la partie amont le charriage réel est beaucoup plus faible, l'Arve ayant développé un pavage qui protège partiellement le lit.

Dans l'état actuel, après l'arrêt des extractions depuis plusieurs années et une relative stabilisation du profil en long du lit, encore un peu abaissé par rapport à la situation de 1990, on constate plutôt une tendance au réengrèvement du lit, favorisé par les apports successifs de plusieurs laves torrentielles de la Griez, et probablement de la forte crue de l'Arve amont en juillet 1996. A l'amont de la confluence avec la Diosaz, l'Arve présente un lit alluvionnaire marqué par la présence de bancs présentant des fronts assez raides. La brièveté des épisodes de débit dans ce tronçon, du fait de la dérivation des Houches, ralentit le transit des matériaux charriés.

Le réengrèvement effectif de la zone reste néanmoins à démontrer dans la mesure où le profil en long de la ligne d'eau de 2000 qui a été levé entre les PK 71 (barrage de Servoz) et le PK 72,5 (500 m à l'amont de la confluence Diosaz) met en évidence un abaissement compris entre 0,50 m et 1 m de la ligne d'eau en 10 ans sur tout le linéaire sauf à l'amont immédiat de la confluence de la Diosaz et en amont immédiat du pont du Chatelard où le lit est resté stable.

3.8.15. Tronçon des Houches PK 77,2 à PK 76

Profils en long : Figures 4.2.9 et 4.4.9 en Annexe 3

Entre le barrage des Houches et le pont Sainte-Marie, on observe de grandes fluctuations en plan et en altitude sous l'effet des déjections très variables des nants de RG et notamment l'apport de laves torrentielles (la Griez et le Nant Nalien). Des variations en hauteur jusqu'à plus de 10 m peuvent survenir.

Les déjections des Nants repoussent l'Arve contre la RD inaffouillable tandis que les propres crues de l'Arve ont au contraire tendance à l'en écarter.

Une station d'épuration a été construite dans le lit majeur en RG en 1983/1984. Elle est très sommairement protégée.

En 1985/87, la voie expresse a été construite en bordure du lit majeur en RG et les franchissements à leur débouché en Arve des torrents affluents, Griez, Nant Noir, Nant Nalien, Nant Jorland ont été aménagés.

Les latitudes naturelles qui existaient et qui permettaient la respiration en plan et en altitude de l'Arve sont très limitées actuellement.

La pente du lit sur ce tronçon est particulièrement élevée. Elle fluctue avec la respiration du lit et s'établit environ à 43%. Une telle pente peut avoir une capacité de transport solide considérable. Cette capacité est toutefois fortement réduite par la brièveté des périodes de débit, du fait de la dérivation des Houches, et est contrebalancée par le pavage de gros blocs présents dans le tronçon, pavage artificiel entre le pied du barrage et la confluence de la Griez, blocs naturels au-delà qui sont notamment amenés par les laves torrentielles. Ce pavage limite l'affouillement du lit. Quand au cours de la respiration du lit, le stock alluvial déposé par les nants de RG a été évacué par les débits de l'Arve, et que le pavage réapparaît, ce tronçon constitue alors une simple zone de transit pour les sédiments provenant de l'Arve à l'amont. Ils sont en effet trop fins pour se déposer durablement.

3.8.16. Tronçon de Chamonix PK 89 à PK 77,2

Profils en long : Figures 4.2.9 et 4.4.9 en Annexe 3

L'ensemble de la vallée de Chamonix subit, contrairement à la majorité des tronçons du lit aval, un excès des apports de matériaux de charriage par rapport aux capacités d'entraînement, ce qui est justifié par la proximité des sources d'alimentation en matériaux d'érosion.

Cet excès provoque un exhaussement du lit plus ou moins efficacement corrigé par des curages et extractions de matériaux toujours très actives.

Les exhaussements se manifestent soit de façon brutale et événementielle au cours d'un épisode de crues comme ceci s'est produit en juillet 1996, soit progressivement de par les apports réguliers de l'Arve.

Le profil en long du lit n'a pas sensiblement évolué depuis 1912 grâce à ces curages et aux extractions. Pour autant le risque d'un exhaussement événementiel du lit reste élevé comme on a pu le constater lors de la crue de juillet 1996.

Il ne reste plus aucune latitude pour l'Arve, sauf dans la zone des extractions à l'aval où les divagations sont contrôlées artificiellement.

Nous observons dans le profil en long du lit une cassure au PK 83,5 (pont SNCF). Entre le PK 83,5 et la queue de retenue du barrage des Houches (PK 77,8), la pente s'établit à 8,9 ‰. Cette pente donne une capacité de transport par charriage de 180 000 m³/an de matériaux solides de diamètre moyen 59 mm. Entre le PK 87 et le PK 83,5, la pente s'établit à 12 ‰ et offre une capacité de transport par charriage de près de 300 000 m³/an de matériaux de diamètre moyen 69 mm. Tout excès des apports par rapport à cette capacité conduit à un exhaussement du lit qui cherche alors à augmenter sa pente et sa capacité de transport pour l'adapter aux apports.

4. ANALYSE DYNAMIQUE DE L'EVOLUTION DU LIT SUR LE LONG TERME

Afin d'anticiper l'évolution future de la cote du lit, nous avons mis en œuvre une modélisation dynamique du transport solide au moyen du logiciel CAVALCADE. Ce logiciel met œuvre la formule de SOGREAH/LEFORT complétée par la formule de SMART et JAEGGI dans les sections confinées. Il effectue sur chaque tronçon un calcul de bilan des matériaux transportés. Le logiciel est à fonds mobiles de sorte qu'il représente aussi bien l'érosion que l'engravement du lit. Le logiciel peut également représenter les singularités : seuils à bief affouillable, lit fixé (radier, pavage, affleurement rocheux), etc.. Une fiche présentant le logiciel CAVALCADE est jointe en Annexe 4.

Le modèle CAVALCADE réalisé pour l'Etude couvre la totalité du lit de l'Arve depuis le barrage des Houches jusqu'à la frontière franco-suisse.

Les conditions initiales fournies au modèle sont les cotes du lit dans la situation actuelle (connue à travers les profils en longs, les profils en travers, les semis de points disponibles), les secteurs pavés inérodables, les seuils naturels ou artificiels, les ouvrages en travers existants, et la prise en compte des seuils ou ouvrages en travers prévus au Contrat de Rivière.

Les diamètres moyens des matériaux pour chaque tronçon homogène, mis en évidence à partir de l'analyse des profils en long de l'Arve dans l'état naturel du début du siècle, sont reconduits dans les tronçons non pavés.

Du fait de la granulométrie étendue des matériaux, dans les tronçons soumis à érosion, ces diamètres d'équilibre ne sont plus représentatifs des matériaux en place et l'application de la formule de transport solide avec les diamètres d'équilibre n'est pas représentative des mécanismes de transport. Les phénomènes de tri granulométrique et de pavage viennent limiter l'érosion et il est donc nécessaire de pouvoir les représenter. Dans les tronçons pavés, et conformément aux reconnaissances faites dans le lit sur plusieurs tronçons qui mettent en évidence une carapace de gros matériaux sur un lit de matériaux plus fins, le pavage a été pris en compte en multipliant le diamètre d'équilibre par un coefficient de 1,5. Tout en étant un peu grossière et entachée d'incertitude, cette représentation permet de reproduire globalement le mécanisme du transport.

Comme conditions aux limites, on fournit les valeurs des volumes moyens annuels des apports de matériaux à l'Arve, par son cours amont et ses affluents. On prend également en compte des apports mobilisés par l'Arve elle-même dans son propre lit et ceci dans les tronçons où elle dispose d'un stock alluvial.

L'hydrologie est approchée par le biais des débits classés pour chacun des tronçons homogènes. On constitue ainsi une chronique annuelle de débits qu'on peut reproduire autant d'années que l'horizon auquel on veut travailler. Nous avons travaillé avec un horizon de 20 ans.

Les résultats obtenus sont présentés dans ce qui suit. Il est important de noter que ces résultats cumulent les incertitudes qui ont été identifiées au fur et à mesure de la démarche suivie :

- Incertitude sur les diamètres d'équilibre des tronçons (cf. §4.4.2, §4.4.3 et §4.4.4) ;
- Incertitude sur les mécanismes du tri granulométrique et du pavage et difficultés de les représenter dans une modélisation (voir ci-dessus) ;
- Incertitudes sur les apports solides à l'Arve (§4.6) ;
- Aléas de l'hydrologie et de la climatologie et donc des facteurs mobilisant les matériaux. Une forte crue peut mobiliser énormément de matériaux dans une période très courte ;
- Difficulté de bien représenter les apports solides dans les biefs influencés par les barrages (Houches, Pressy) de par la complexité de la gestion de ces barrages.

Les résultats obtenus doivent donc être analysés avec précaution ; ce sont plus les tendances mises en évidence avec le modèle qu'il convient d'exploiter plutôt que les valeurs obtenues dans l'absolu. La comparaison de différents scénarios est particulièrement intéressante et beaucoup plus riche que les résultats obtenus pour chaque scénario pris isolément. Cette comparaison permet de sentir le fonctionnement de la rivière et d'appréhender l'incidence des actions anthropiques sur l'équilibre de la rivière.

Pour chacun des scénarios nous avons fait varier une grandeur ou un paramètre, toutes choses étant égales par ailleurs. Les invariants de chacun des scénarios sont les suivants :

- même modèle, mêmes sections en travers, même profil en long, mêmes ouvrages représentés ;
- même granulométrie ;
- mêmes points d'injection des apports liquides ;
- mêmes points d'injection des apports solides ;
- même durée de simulation : 20 ans ;
- même procédure de simulation des apports liquides : on considère à partir des débits classés une chronique annuelle qu'on répète 20 fois ;
- même procédure de simulation des apports solides : on injecte chaque année, de façon constante, l'apport annuel de débit solide à chaque point d'apport et le répète 20 fois.

Nous avons testé et exploité les scénarios suivants :

- Pour le Scénario 1, on considère la gestion actuelle du barrage des Houches qu'on représente schématiquement par un arrêt de la dérivation de l'eau pour les débits supérieurs à 70 m³/s. L'apport annuel de matériaux solides du barrage des Houches est alors environ de 15 000 m³/an. On ne laisse qu'une partie des apports des affluents à l'Arve, le volume V_{ml} du tableau du paragraphe 4.6.2. En particulier, on a $V_{ml} = 5\,000$ m³/an pour le Giffre. Il s'agit du scénario de plus faible transport solide.
- Pour le Scénario 2, on considère également la gestion actuelle du barrage des Houches, mais cette fois-ci on laisse à l'Arve tous les apports de ses affluents, à savoir les volumes V_m du tableau du paragraphe 4.6.2. En particulier, on a $V_m = 10\,000$ m³/an pour le Giffre.
- Pour le Scénario 3, on considère également la gestion actuelle du barrage des Houches. On laisse également à l'Arve tous les apports des affluents (V_m), mais pour le Giffre on considère cette fois un apport solide $V_m = 20\,000$ m³/an, ceci pour évaluer la sensibilité des résultats aux incertitudes des apports solides du Giffre.

- Pour le Scénario 4, on considère la nouvelle gestion du barrage des Houches qu'on représente schématiquement par un arrêt de la dérivation de l'eau pour les débits supérieurs à 60 m³/s. L'apport annuel du barrage des Houches est alors environ de 35 000 m³/an. On ne laisse qu'une partie des apports des affluents à l'Arve, le volume V_{ml} du tableau du paragraphe 4.6.2. En particulier, on a V_{ml} = 5 000 m³/an pour le Giffre.
- Pour le Scénario 5, on considère la nouvelle gestion du barrage des Houches. On laisse à l'Arve tous les apports solides des affluents (V_m) et pour le Giffre on considère un apport solide V_m = 20 000 m³/an. Il s'agit du scénario de plus fort transport solide.

Comme on l'a vu précédemment, l'abaissement du lit de l'Arve a été considérable depuis le début du siècle et particulièrement rapide entre les années 50 et 90, période où des extractions intenses de matériaux ont été effectuées dans le lit. L'analyse de l'évolution entre 1990 et 1998/1999/2000 montre toujours une tendance à l'abaissement, mais déjà plus modérée. De façon générale, les résultats de simulation confirment cette tendance généralisée de l'Arve à l'abaissement à l'aval du barrage des Houches.

Dans le détail néanmoins, aussi bien à partir de l'analyse de l'évolution observée au cours de six dernières années que de celle des résultats de simulation, on met en évidence des secteurs de fort enfoncement et d'autres secteurs de stabilité, voire de possible engraissement. Dans les secteurs subissant des enfoncements, la mise en place d'un pavage résultant d'un tri granulométrique tend à freiner le processus d'enfoncement. En outre les simulations montrent que l'évolution future de l'Arve dépend des apports solides à l'Arve.

L'évolution observée sur les dix dernières années a été analysée, tronçon par tronçon, dans le paragraphe 4.8. Dans ce qui suit nous analysons également les résultats de simulation tronçon par tronçon. Nous comparons les différents scénarios entre eux et nous tentons d'expliquer, tronçon par tronçon, les tendances d'érosion / dépôt observées.

Les figures référencées ci-après se trouvent dans l'Annexe 5.

La Figure 5.1.1 présente sur la totalité du linéaire, pour les cinq scénarios, les différences du niveau du lit par rapport au niveau initial. Ce graphique est difficilement exploitable du fait de sa petite échelle et de la superposition de plusieurs résultats. Il permet néanmoins d'embrasser d'un seul coup d'œil les variations calculées pour tous les scénarios et fournit en quelque sorte les enveloppes d'évolution probable du lit.

Les Figures 5.1.2, 5.1.3 et 5.1.4 représentent les mêmes résultats à une échelle plus facilement maniable, respectivement du PK 77,2 au PK 55, du PK 56 au PK 26, du PK 26 au PK 0.

Les Figures 5.2.1 et 5.3.1 présentent les profils en long des volumes solides transportés annuellement, année après année, sur la période de 20 ans, pour le scénario de plus faible transport (Scénario 1) et pour le scénario de plus fort transport (Scénario 5). Les simulations tentent de reproduire la cinétique du transport solide, aussi ces profils en long mettent en évidence de fortes disparités du transport solide entre les premières années de la simulation et les suivantes. Le lit n'étant pas stabilisé au début de la simulation, le transport solide est alors très variable le long du lit, les zones d'érosion étant caractérisées par un renforcement du débit solide à l'aval, les zones de dépôt étant caractérisées par une diminution du transport à l'aval. Sur le long terme, le transport solide tend à s'uniformiser, le lit retrouvant alors un nouvel équilibre. Les phénomènes réels étant extrêmement complexes et le modèle nécessairement simplificateur, la cinétique de l'évolution du lit ne peut être qu'approximativement représentée ; aussi l'analyse des résultats en terme de cinétique ne peut être que qualitative.

Les Figures 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4 et 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4 4 représentent les mêmes résultats de transport solide à une échelle plus facilement maniable, respectivement du PK 77,2 au PK 55, du PK 56 au PK 26, du PK 26 au PK 0 pour chaque scénario respectivement.

Les Figures 5.4.2 à 5.4.9 présentent, pour chaque tronçon, les profils en long du lit pour les deux scénarios les plus contrastés : Scénario 1 et Scénario 5. Les résultats des trois autres scénarios sont encadrés par ceux du Scénario 1 (plus faible transport) et du Scénario 5 (plus fort transport).

4.1. Tronçon Les Houches (PK 77,2) à la retenue de l'Abbaye (PK 65,3)

Les simulations montrent que le tronçon compris entre le barrage des Houches et la retenue de l'Abbaye, quelques soient les hypothèses d'apport de débit solide à l'Arve, est soumis, sur le long terme, à des érosions. Le transport solide est supérieur, les premières années, aux apports traduisant l'érosion à l'œuvre.

Dans la traversée de Servoz, notamment, l'Arve érode son lit. Cette érosion est toutefois limitée par les seuils déjà en place et par le pavage que développe le lit par le biais du tri granulométrique. Le fait de changer la gestion du barrage des Houches ne conduit pas à provoquer des atterrissements à Servoz.

Ce secteur est donc globalement en déficit de transport par rapport à la capacité de transport que lui donne la pente du lit. Les seuils mis en place pour tenir le lit sont essentiels. Il convient de les maintenir en état. Le dépavage plus ou moins progressif du lit est susceptible d'affouiller le pied des protections (seuils et protections de berges).

4.2. Tronçon Seuil du Fayet (PK65,3) au pont d'Oex (PK 54)

Les simulations montrent des résultats diversifiés sur ce tronçon selon les scénarios considérés. Ils ont tous en commun de prédire un rehaussement du lit au pied du seuil du Fayet, compris entre 2m pour le Scénario 1 et 3 m pour le scénario 5.

Le scénario 1 prédit à l'aval un lit globalement stable avec, suivant les secteurs, des érosions pouvant atteindre 0,60 m, entre le seuil du Fayet et le pont de la Carabote, et des atterrissements pouvant monter jusqu'à 0,80 m, entre le pont de la Carabote et Sallanches. Le transport solide tend à diminuer dans cette zone tout au long de la simulation pour converger progressivement vers sa valeur de transit d'équilibre, égale aux apports amont. Le transport solide traduit, ce faisant, une situation globalement déficitaire en matériaux, les érosions du lit alimentant les premières années le transport solide.

Le Scénario 5 ne prédit que des atterrissements, mais ceux-ci ne dépassent pas 1 m à l'exception de l'aval immédiat du seuil du Fayet. Le transport solide, les premières années, a fortement diminué à l'aval du seuil du Fayet, puis il augmente ensuite d'année en année, pour converger progressivement vers sa valeur de transit d'équilibre égale aux apports amont, ce qui atteste un processus de rehaussement progressif du lit.

Les autres scénarios se situent entre ces deux scénarios extrêmes. Les scénarios 2 et 3 ne se différenciant que par un apport différent du Giffre donnent des résultats identiques. On notera que le Scénario 4 conduit également à un rehaussement du lit, mais plus faible que pour le Scénario 5.

On peut conclure pour ce tronçon que son équilibre à venir dépendra fortement des apports provenant de l'amont. En cas d'apports limités (représenté par le Scénario 1), ou de déficit d'apports si des extractions étant autorisées entre le barrage des Houches et la retenue de l'Abbaye, le lit est susceptible de continuer à s'enfoncer par endroit. Si on rétablit un transit sédimentaire suffisant, le lit est susceptible de se rehausser quelque peu.

4.3. Tronçon Pont d'Oex (PK 54) au Pont Vieux de Cluses (PK 42,2)

Les scénarios ont tous en commun de prédire un enfoncement à l'aval immédiat du Pont d'Oex (pont de la RN 205).

Plus à l'aval, le Scénario 1 prédit plutôt un abaissement du lit pouvant atteindre 1 m à l'aval du seuil de l'Ouvrage N°6 de l'autoroute A40. Sur ce secteur et avec ce scénario, le transport solide montre la continuation du processus décrit pour le tronçon précédent qui atteste une situation déficitaire du transport solide conduisant à l'érosion du lit.

Le Scénario 5 prévoit, à l'aval, un lit stable ou en léger exhaussement, avec une amplitude moyenne de l'ordre de 30 cm pouvant atteindre 1 m à l'amont du seuil de l'Ouvrage N°6 de l'autoroute. Sur ce secteur et avec ce scénario, le transport solide montre la continuation du processus décrit pour le tronçon précédent qui atteste un processus de rehaussement progressif du lit.

Les autres scénarios se situent entre ces deux scénarios extrêmes. On notera que le Scénario 4 conduit à une situation du lit globalement équilibrée.

4.4. Tronçon Pont Vieux de Cluses (PK 42,2) au pont d'Anterne (PK 34,6)

Pour tous les scénarios, les simulations prédisent un enfoncement au pied du seuil du Pont Vieux (1,25 m pour le Scénario 1, 0,75 m pour le Scénario 5). Entre le Pont Neuf et le pont de la Sardagne, les prévisions dépendent des scénarios. Le Scénario 1, prévoit encore une érosion, puis un dépôt. Les autres scénarios prévoient un dépôt. Le transport solide, avec le Scénario 1, montre une évolution comparable à celle identifiée pour les tronçons amont, qui atteste d'une situation déficitaire du transport solide, alors que c'est l'inverse avec le Scénario 5.

Tous les scénarios prévoient un rehaussement à l'aval du seuil de la Sardagne (1 m à 1,30 m suivant les scénarios). Ils prévoient également tous un rehaussement à l'aval du seuil de Pressy (entre 50 cm et 1 m suivant les scénarios) qui va en s'amenuisant vers l'aval jusqu'au pont d'Anterne où il est nul.

Les simulations montrent que, dans le tronçon compris entre le seuil de la Sardagne et le seuil d'Anterne, le transport solide diminue fortement, les premières années, à l'aval du pont de la Sardagne, attestant une phase de réengrèvement progressive du lit.

4.5. Tronçon Pont d'Anterne (PK 34,6) au seuil de Bonneville (PK 25,6)

Les simulations avec les cinq scénarios donnent des résultats orientés de façon similaire. Ils prédisent tous un rehaussement des fonds au pied du seuil d'Anterne, allant de 1 m à 1,50 m suivant les scénarios. Cet exhaussement est lié au seuil projeté à l'aval de la confluence du Giffre qui est pris en compte dans le calcul. Une simulation complémentaire a montré, qu'en l'absence de ce seuil projeté, le lit continuerait à s'enfoncer entre le seuil d'Anterne et le Giffre, cet enfoncement pouvant atteindre 1.30 m. La réalisation de ce seuil est donc nécessaire.

Plus à l'aval, entre le Giffre et Bonneville, les scénarios prédisent tous, soit la stabilité du lit, soit un exhaussement du lit. Pour le Scénario 1, cet exhaussement ne dépasse pas 60 cm.

Entre le pont de l'Europe et la confluence du Borne, au droit de la prison, les simulations prédisent toutes un engravement allant de 50 cm pour le Scénario 1 à 70 cm pour le Scénario 5.

Les profils en long du transport solide montrent que le transport solide diminue fortement les premières années sur ce tronçon pour se rétablir, sur le long terme, à sa valeur de transit d'équilibre.

On notera qu'au bout de la simulation de 20 ans, le lit n'a pas encore atteint son équilibre et que ceci affecte le transport solide. Le transport solide n'a pas encore atteint sa valeur d'équilibre égale aux apports amont. Pour le Scénario 1, le transport solide continue à diminuer (ce qui atteste un processus global d'érosion) alors que pour le Scénario 5, le transport solide continue à augmenter (ce qui atteste un processus global de dépôt).

4.6. Tronçon Seuil de Bonneville (PK 25,6) au pont de Bellecombe (PK 15,8)

Les scénarios montrent tous une même tendance : enfoncement à l'aval immédiat du seuil de Bonneville, exhaussement plus à l'aval à partir du PK 23.

On notera que le fond initial dans cette zone est celui du profil en long de 1990. Le calcul permet donc de retrouver la tendance à l'enfoncement constatée ces dix dernières années à l'aval du seuil de Bonneville. Selon les résultats de la simulation, l'enfoncement maximal serait de 1,40 m avec le Scénario 1 et de 90 cm avec le Scénario 5.

L'exhaussement maximal prédit dans la plaine de Contamine se situe au PK 21 : 30 cm pour le Scénario 1 et 50 cm pour le scénario 5.

Le modèle prévoit également un exhaussement du lit, d'environ 50 cm, de part et d'autre du pont de Bellecombe. Ceci est imputable à une irrégularité du profil en long dans cette zone que la simulation vient lisser.

Il est à noter qu'à la sortie de la plaine de Contamine, on ne distingue plus de différence entre les divers scénarios. Ceci est dû au fait que, dans la plaine de Contamine, le lit est très large et joue un rôle d'amortisseur vis à vis du transit du transport solide. L'analyse des profils en long du transport solide montre que le transport solide diminue les premières années entre le PK 23 et le PK 19, attestant un processus de dépôt. Ultérieurement, la tendance s'inverse, le débit solide augmentant entre les PK 23 et 19, ce qui atteste alors d'un processus de reprise du dépôt. De ce fait, le lit n'est pas complètement stabilisé au bout de 20 ans de simulation dans ce tronçon.

Passé les premières années d'ajustement du profil en long, avec le Scénario 1, le transport solide augmente dans la plaine de Contamine alors que, avec le Scénario 5, il diminue. A la sortie de la plaine de Contamine, le transport solide est quasi identique pour ces deux scénarios opposés, ce qui confirme le rôle de tampon vis à vis du transport solide joué par la plaine de Contamine.

4.7. Tronçon Pont de Bellecombe (PK 15,8) à frontière (PK 0)

A l'aval du pont de Bellecombe et jusqu'à la frontière, les résultats sont quasi identiques pour les cinq scénarios. Ceci est dû au fait que :

- D'une part, le transport solide a subi un lissage dans la plaine de Contamine ;
- D'autre part, les confluences à l'aval du pont de Bellecombe sont situés dans une partie encaissée du lit de l'Arve qui lui permet de recevoir les apports de matériaux solides des affluents sans risque de débordement en cas de crue. Aussi, pour ces affluents aval, nous avons confondu Vm et Vml dans le Tableau du §4.6.2 qui évalue les apports à l'Arve. Les apports sont alors identiques pour les cinq scénarios.

Dans le secteur de pont neuf, les simulations donnent un lit globalement stable, susceptible de s'exhausser de quelques centimètres à l'amont du pont et de s'enfoncer de quelques centimètres à l'aval. Un exhaussement de quelques centimètres est prédit dans le méandre à l'aval du Pont Neuf, ce qui est cohérent avec les observations de terrain qui montrent des atterrissements dans cette zone.

Les simulations prédisent un enfoncement de 1,50 m du lit à l'aval du barrage d'Arthaz dans la zone de confluence de la Ménoge. Le lit est tenu au niveau du seuil d'Etrembières. A l'aval de ce seuil, les simulations prédisent un enfoncement de 1,70 m. Dans le secteur du pont de Zone, où le lit est plus large, les simulations prédisent un exhaussement du lit de 80 cm. Entre le pont de Zone et la frontière, les simulations prédisent un enfoncement du lit atteignant jusqu'à 90 cm.

L'analyse des profils en long du débit solide met en relief un fort débit solide dans la partie aval les premières années de simulation, associé à l'enfoncement progressif du lit. Il se stabilise sur le long terme à une valeur égale aux apports, le lit étant alors en équilibre.

4.8. Tronçon helvétique

Les résultats de calcul menés à l'amont de la frontière montrent que quel que soit le scénario considéré, l'évolution du lit est globalement orientée à l'enfoncement. Cette tendance se propagera donc au delà de la frontière franco-suisse.

Les résultats de calcul sous forme de profils en long du transport solide mettent en évidence qu'après une phase initiale d'enfoncement et de lissage du lit à l'amont de la frontière franco-suisse, que l'on peut assimiler à une phase de stabilisation du modèle, le transport solide à la frontière diminue fortement pour se stabiliser à une valeur annuelle d'environ 46 000 m³/an. La même valeur est obtenue quel que soit le scénario d'alimentation en matériaux solides dans la partie amont du bassin.

Cette valeur est inférieure à la capacité initiale de transport solide de l'Arve dans cette zone estimée à 60 000 m³/an. Le calcul confirme que l'Arve, dans le tronçon helvétique, est donc en déficit de transport et qu'il faudra de nombreuses années avant que cette situation ne puisse changer. Un engrèvement généralisé de l'Arve dans le tronçon helvétique est donc exclu dans les années à venir. En revanche, des ajustements ponctuels du profil en long pouvant occasionner localement des engrèvements, pourront se produire, dans les sections où la pente du lit est la plus faible.

4.9. Conclusions de l'analyse de l'évolution de l'Arve sur le long terme

Dans l'état actuel, le lit tend à retrouver un nouvel équilibre. Des évolutions sont encore à attendre, mais les plus fortes évolutions appartiennent au passé.

Jusqu'à la plaine de Contamine, l'évolution future du lit et son futur équilibre sont relativement dépendants des scénarios d'apport de matériaux solides et notamment de la future gestion du barrage des Houches ainsi que de la gestion, aux confluences, des atterrissements apportés par les affluents. Suivant ces scénarios d'apport, on peut passer d'une situation de déficit avec de nouveaux enfoncements à attendre à une situation d'équilibre voire de léger excédent.

L'effet d'amortisseur de la plaine de Contamine rend l'Arve, à l'aval du pont de Bellecombe, beaucoup moins sensible aux scénarios d'apports de matériaux à l'amont.

Dans tous les cas, les enfoncements à attendre resteraient limités en amplitude à – 2m dans les hypothèses d'apport considérées. Ces enfoncements calculés supposent néanmoins la bonne tenue de seuils déjà construits ou projetés ainsi que celle du pavage du lit dans les secteurs pavés.

Dans tous les cas également, les exhaussements à attendre resteraient limités en amplitude (environ 1 m), sauf à l'aval immédiat des grands seuils (Fayet, Sardagne, Pressy) où l'exhaussement pourrait atteindre 1,50 m (seuils de la Sardagne et de Pressy) voire 2 à 3 m (seuil du Fayet). L'enfoncement antérieur était tel à l'aval de ces seuils qu'il devrait permettre d'encaisser ce rehaussement du lit sans conséquence sur les écoulements en crue.

5. ANALYSE EVENEMENTIELLE

L'analyse événementielle a été menée affluent par affluent en supposant un apport solide à l'Arve égal au volume solide décennal de l'affluent et en supposant une crue centennale de l'Arve. Afin de tenir compte de la plus forte granulométrie des apports latéraux, nous avons supposé que le diamètre moyen de la granulométrie des apports est double de celui du diamètre d'équilibre du tronçon concerné de l'Arve. Nous avons supposé que le volume d'apport s'étale dans le lit de l'Arve sur une longueur de 100 m avant que n'arrive la crue de l'Arve.

Nous avons effectué les simulations pour les affluents qui apportent un volume notable de matériaux.

Avec le logiciel CAVALCADE nous avons simulé l'évolution du talus de dépôt sous l'effet d'entraînement de la crue centennale. Afin d'en évaluer son incidence sur l'inondabilité, nous avons repéré au fur et à mesure de la montée de la crue la hauteur de dépôt résiduel au droit de la confluence. Nous avons également examiné les dépôts à l'aval, dans des secteurs à plus faible pente, qui peuvent résulter de l'entraînement vers l'aval des matériaux qui se sont déposés à la confluence du torrent.

Nous présentons ci-après, torrent par torrent, les résultats de simulation.

5.1. Apports d'amont et de la Griaz

Nous avons examiné l'effet, sur l'aval du Pont Sainte-Marie, d'apports du bassin amont et de la Griaz au cours d'une crue centennale de l'Arve. Nous avons supposé 55 000 m³ d'apport, soit 15 000 m³ supposés provenir de l'Arve amont à travers le barrage des Houches et 40 000 m³ provenant de la Griaz.

Nous ne traitons pas ici la problématique de la vulnérabilité de la STEP à l'amont du Pont Sainte-Marie ; ce problème a été étudié par SOGREAH dans le cadre d'une autre étude.

A Servoz, les simulations donnent un engravement de 1 m au droit de la confluence de la Diosaz, 1,35 m à l'aval du seuil le plus proche de la Diosaz, 65 cm à l'amont du pont de l'Avenue et 30 cm à l'aval de ce même pont.

Les apports événementiels d'amont ne se font plus sentir à Chedde.

5.2. Apports de la Diosaz

Les apports de la Diosaz sont rapidement balayés lors de la montée de la crue et ont finalement une incidence réduite sur l'écoulement des crues dans la traversée de Servoz. Les apports provenant de l'amont, même en l'absence d'apports de la Griez, et les apports provenant de l'affouillement du lit de l'Arve lui-même à l'aval des seuils de Servoz conduisent à des dépôts plus importants au droit de la confluence de la Diosaz, ainsi qu'à l'amont et à l'aval du pont de l'Avenue. Alors que les apports de la Diosaz conduisent, lors de la montée de la crue, à une élévation du lit à la confluence d'environ 25 cm, cette élévation atteint, en fin de crue, 80 cm sous l'effet des apports amont.

5.3. Apports du Nant Bordon

Le dépôt d'un volume solide décennal du Nant, qui s'élève à plus de 7 m, est balayé par la crue avant même qu'elle ait atteint son débit biennal. Ceci suppose bien sûr que l'eau n'ait pas été déviée de son lit par le dépôt comme ceci s'est produit anciennement.

Des dépôts se forment plus à l'aval, au droit des seuils (1,10 m de dépôt de part et d'autre du second seuil au plus fort de la crue), dans la retenue de l'abbaye (0,80 m) ainsi qu'au pied du seuil du Fayet (0,50 m).

5.4. Apports du Bonnant

La hauteur du dépôt initial du Bonnant à sa confluence, de 1,40 m, diminue rapidement au cours de la montée de crue. Elle n'est plus que de 60 cm pour le débit biennal, et de 40 cm pour le débit décennal. Il n'y a pas d'incidence notable plus à l'aval.

5.5. Apports du torrent de Crève-Cœur

Le dépôt initial du torrent de Crève-Cœur à sa confluence a une hauteur de 1m. Cette hauteur est réduite à 35 cm lorsque le débit atteint la valeur biennale. Elle diminue à 33 cm pour la valeur décennale du débit et à 30 cm pour le débit centennal. Il n'y a pas d'incidence notable plus à l'aval.

5.6. Apports du torrent de la Rippaz

Le dépôt initial du torrent de la Rippaz à sa confluence a une hauteur de 1,30 m. Cette hauteur diminue rapidement avec la montée de crue. Elle n'est plus que de 28 cm lorsque le débit atteint sa valeur biennale, 10 cm lorsque le débit atteint sa valeur décennale et nulle pour le débit centennal. Il n'y a pas d'incidence notable plus à l'aval.

5.7. Apports du torrent de Balme

Le dépôt initial du torrent de Balme à sa confluence a une hauteur de 1,10 m. Cette hauteur diminue rapidement avec la montée de crue. Elle n'est plus que de 50 cm lorsque le débit atteint sa valeur biennale, 30 cm lorsque le débit atteint sa valeur décennale et 20 cm pour le débit centennal. Il n'y a pas d'incidence notable plus à l'aval.

5.8. Apports du Giffre

Le dépôt initial du Giffre à sa confluence est de 4 m. La hauteur du dépôt diminue rapidement avec la montée de crue. Il n'est plus que de 70 cm lorsque le débit atteint sa valeur biennale, 30 cm lorsque le débit atteint sa valeur décennale et nul pour le débit centennal. La simulation montre un engravement de 70 cm à l'aval du seuil aval du Giffre, et aucune incidence notable plus à l'aval.

5.9. Apports du Borne

La hauteur de dépôt initial du Borne à sa confluence est de 40 cm. Cette hauteur diminue rapidement avec la montée de crue. Elle n'est plus que de 20 cm lorsque le débit atteint sa valeur biennale, 10 cm lorsque le débit atteint sa valeur décennale et 5 cm pour le débit centennal. Il n'y a pas d'incidence notable plus à l'aval.

5.10. Apports du Foron de Reignier

La hauteur de dépôt initial du Foron de Reignier à sa confluence est de 30 cm. Cette hauteur diminue rapidement avec la montée de crue et s'annule dès que le débit atteint sa valeur biennale. Il n'y a pas d'incidence notable plus à l'aval.

5.11. Apports de la Ménoge

La hauteur de dépôt initial de la Ménoge à sa confluence est de 75 cm. Cette hauteur diminue à 60 cm lorsque le débit atteint sa valeur biennale et à 50 cm pour le débit centennal. Un dépôt de 40 cm est obtenu à l'aval dans la zone du casino d'Annemasse.

6. ETUDE DE L'INONDABILITE

L'analyse précédente a mis en évidence les secteurs du lit de l'Arve susceptibles de s'enfoncer et ceux qui sont susceptibles de s'engraver. Cette analyse a été menée à la fois sur l'évolution du lit sur le long terme et dans un contexte événementiel. Les conséquences des engravements et atterrissements ont été ensuite analysés en terme d'impact sur l'inondabilité des terrains de part et d'autre de l'Arve.

Dans l'étude de l'inondabilité, nous avons considéré, pour l'analyse de l'évolution sur le long terme, le scénario qui produit les plus forts engravements, à savoir le Scénario 5. Cette étude a été réalisée tronçon par tronçon et s'est limitée aux seuls secteurs susceptibles de s'engraver. Les limites des zones submersibles pour la crue centennale ont été reportées sur les plans au 1/2000.

6.1. Tronçon de Servoz

Vis à vis de l'évolution du lit sur le long terme, il n'y a pas dans ce tronçon de problème vis à vis de l'inondabilité.

En revanche, dans un contexte événementiel, l'analyse précédente a mis en évidence de possibles engravements de part et d'autre du pont de l'Avenue. Ces engravements sont susceptibles de relever la ligne d'eau de 90 cm, à l'amont du pont, dans le cas d'un apport solide décennal de la Griez conjugué à une crue centennale de l'Arve (cas le plus défavorable traité). Pour autant, le pont ne sera pas en charge. Cette surélévation de la ligne d'eau induit une extension de la zone inondable en rive droite à l'amont du pont.

A l'aval du pont, l'engravage est, dans le cas le plus défavorable traité, susceptible de surélever la ligne d'eau de 15 cm avec pour conséquence une extension de la zone inondable en rive droite et une revanche nulle sur l'endiguement en rive gauche.

Il est donc impératif de curer les atterrissements de part et d'autre du pont de l'avenue dans le cas d'apports événementiels.

6.2. Tronçon de Chedde

Les engravement au droit de l'usine hydroélectrique de EDF sont susceptibles de produire une surélévation du niveau d'eau de 80 cm sans conséquence sur l'inondabilité des terrains bordant l'Arve mais avec une diminution de la revanche vis à vis de la submersion des berges. Un curage de ce secteur après un apport événementiel est envisageable.

Les atterrissements événementiels à l'amont proche du seuil du Fayet ne posent pas de problème vis à vis de l'inondabilité.

6.3. Tronçon Seuil du Fayet à Sallanches

L'engravement au pied du seuil du Fayet, qu'il soit événementiel ou qu'il résulte d'une évolution sur le long terme, est sans conséquence sur l'inondation des terrains.

L'engravement sur le tronçon compris entre les ponts de la voie nouvelle et de la Carabote augmente le niveau d'eau d'environ 60 cm. La zone inondable correspondante est figurée sur les plans au 1/2000. Les terrains concernés ont une faible vulnérabilité vis à vis de l'inondation (anciennes gravières) aussi il est suggéré de ne pas faire de curage des atterrissements.

L'engravement sur le tronçon des lacs de la Cavettaz et confluence du torrent de la Bousaz conduit à une élévation de la ligne d'eau d'environ 10 cm sans conséquence sur l'inondabilité.

L'engravement à l'amont des ponts de Sallanches induit une augmentation du niveau d'eau qui, en crue centennale, est à la limite du débordement en rive droite. Le curage est donc impératif dans cette zone si un engravement du lit est constaté.

A la confluence de la Sallanches, et en dehors d'un hypothétique apport de la Sallanches qui pourrait être généré par un glissement de terrain dans le bassin versant amont de la Sallanches, le niveau d'eau est surélevé d'environ 50 cm sans incidence sur l'inondabilité.

6.4. Tronçon Sallanches à Magland

Les atterrissements événementiels des torrents de Crève-Cœur, Rippaz et Balme sont sans incidence sur l'inondabilité des terrains de part et d'autre de l'Arve. Nous examinons ci-après l'incidence de l'évolution sur le long terme sur l'inondabilité.

Les atterrissements à l'amont de la confluence du torrent de Crève-Cœur et la surélévation de la ligne d'eau qui en résulte sont sans incidence sur l'inondabilité.

Entre la confluence du torrent de Crève-Cœur et le pont de Luzier, la ligne d'eau est susceptible de s'élever d'environ 25 cm sans aggravation sensible de la zone submersible.

A l'aval du pont de Luzier, la ligne d'eau est également susceptible de s'élever de 25 cm. La zone inondable correspondante est tracée sur les plans au 1/25000. A priori, il n'est pas nécessaire de devoir recourir à des curages.

Entre les PK 52,2 et 51,5, zone de la Glière (scierie), l'engravement est susceptible de produire une surélévation de la ligne d'eau de 10 cm sans modification appréciable des limites de la zone submersible.

A Magland, entre les ponts du Cretet et de la Perrière, la variation du niveau d'eau reste inférieure à 10 cm, néanmoins de part la grande vulnérabilité de ce tronçon, l'entretien du lit, pour maintenir son niveau actuel, est impératif.

6.5. Tronçon Magland à Cluses

Entre les ouvrages N°6 et 5 de l'autoroute A40 (PK 47,4 à 45,8), la surélévation du niveau d'eau prévisible est de 20 cm, ce qui est sans incidence sur les limites de la zone submersible.

A l'aval immédiat de l'ouvrage N°5 de l'autoroute, l'engravement est susceptible de surélever la ligne d'eau de 40 cm sans conséquence sur l'inondabilité car le secteur est encaissé.

Entre les ouvrages N°5 et 4 de l'autoroute (PK 45,8 à 42,4), la surélévation de la ligne d'eau liée à l'engravement de ce secteur est sans incidence sur l'inondabilité.

6.6. Tronçon de la traversée de Cluses

A l'aval immédiat du pont de la Sardagne, le niveau d'eau est susceptible de s'élever de 80 cm sans aucune incidence sur l'inondabilité du fait de la grande revanche disponible au niveau des berges.

6.7. Tronçon du seuil de Pressy au pont d'Anterne

Entre le seuil de Pressy jusqu'au pont d'Anterne, l'engravement régressif est susceptible de surélever la ligne d'eau de 40 cm à l'amont se réduisant progressivement pour s'annuler à l'aval, avec pour conséquence un léger élargissement de la zone inondable entre le Foron de Scionzier et le torrent de Marnaz.

6.8. Tronçon seuil d'Anterne à Bonneville

Les apports événementiels du Giffre ne posent pas de problème vis à vis de l'inondabilité des terrains de part et d'autre de l'Arve. Ci-après, nous examinons l'incidence sur l'inondabilité de l'évolution du lit sur le long terme.

La construction d'un seuil à l'aval de la confluence du Giffre a pour conséquence un engravement à l'amont de ce seuil qui conduit à une surélévation de 90 cm de la ligne d'eau avec pour conséquence une extension de la zone inondable rive droite dont la vulnérabilité est faible.

A l'aval du Bronze, au droit du futur franchissement de l'Arve (entre les PK 31 et 29), du fait de possibles atterrissements, la ligne d'eau est susceptible de se relever de 30 cm. Il est impératif de curer les atterrissements dans cette zone car la revanche des digues, aussi bien en rive droite qu'en rive gauche, est nulle.

Au droit de la prison de Bonneville (PK 27), l'engravement est susceptible de relever la ligne d'eau de 40 cm. Le curage est impératif. En l'absence de curage, et malgré l'aménagement proposé dans l'étude du tronçon Pressy-Bonneville, on retrouverait la zone inondable actuellement identifiée en l'absence d'aménagement.

6.9. Tronçon confluence du Borne à Pont de Bellecombe

Les apports événementiels du Borne ne posent pas de problème vis à vis de l'inondabilité des terrains de part et d'autre de l'Arve. Ci-après, nous examinons l'incidence sur l'inondabilité de l'évolution du lit sur le long terme.

L'engravement attendu entre les PK 22 à 20 conduira à un exhaussement de 10 cm sans incidence appréciable sur la zone submersible.

L'engravement calculé à l'amont du pont de Bellecombe correspond à un lissage d'une irrégularité du profil en long. L'exhaussement correspondant de la ligne d'eau est sans incidence sur l'inondabilité.

6.10. Tronçon Pont de Bellecombe au barrage d'Arthaz

Les apports événementiels du Foron de Reignier ne posent pas de problème vis à vis de l'inondabilité des terrains du secteur de Pont Neuf. Ci-après, nous examinons l'incidence sur l'inondabilité de l'évolution du lit sur le long terme.

Dans le secteur de Pont Neuf, le relèvement attendu de la ligne d'eau, d'environ 5 cm, est négligeable et sans conséquence appréciable sur l'inondabilité.

6.11. Tronçon de Arthaz à la frontière franco-suisse

L'engravement résultant d'apports événementiels de la Ménoge peut conduire à une déviation du lit de l'Arve à la confluence vers le lac de Creuse comme ceci s'est déjà produit dans le passé.

Plus à l'aval, au droit du casino d'Annemasse, les apports événementiels de la Ménoge sont susceptibles de surélever la ligne d'eau de 30 cm. Les limites de la zone submersible seront inchangées, car cette zone est limitée par le pied du versant, et en l'absence de curage, la fréquence de submersion serait augmentée. Il est donc impératif de curer les apports événementiels dans cette zone.

L'analyse de l'évolution du lit de l'Arve sur le long terme met en évidence un possible engravement dans le secteur du pont de Zone (CD 19 – La Châtelaine). Cet engravement est susceptible de rehausser la ligne d'eau de 40 cm. Il s'en suit une modification des zones inondables, dans un secteur peu vulnérable. Il est suggéré de ne pas réaliser de curages dans cette zone.

6.12. Tronçon helvétique

L'Arve dans sa partie aval est installée dans une situation de transport solide déficitaire durable. Dans la partie helvétique, les apports événementiels sont quasi inexistantes. En conséquence, la situation actuelle vis à vis de l'inondabilité ne sera pas sensiblement modifiée à court et moyen terme, et ceci quel que soit le scénario envisagé d'apports de matériaux solides à l'Arve à l'amont.

oOo

ANNEXE 1

PLANS DE SITUATION ET PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

ANNEXE 1.1

PLANS DE SITUATION

ANNEXE 1.2

PHOTOGRAPHIES DE L'ARVE DANS DIFFERENTS TRONÇONS

ANNEXE 1.3

PHOTOGRAPHIES DE QUELQUES AFFLUENTS DE L'ARVE

ANNEXE 1.4

PHOTOGRAPHIES DE MATERIAUX DE SURFACE DE L'ARVE

ANNEXE 2

DONNEES HYDROLOGIQUES – DEBITS CLASSES

ANNEXE 3

PROFILS EN LONG DES TRONÇONS HOMOGENES

ANNEXE 3.1

FIGURES DE LA SECTION 4.2

ANNEXE 3.2

FIGURES DE LA SECTION 4.4

ANNEXE 3.3

FIGURES DE LA SECTION 4.8

ANNEXE 4

PRESENTATION DU LOGICIEL CAVALCADE

ANNEXE 5

RESULTATS CAVALCADE – EVOLUTION SUR LE LONG TERME

ANNEXE 5.1

FIGURES DE LA SERIE 5.1

ANNEXE 5.2

FIGURES DE LA SERIE 5.2

ANNEXE 5.3

FIGURES DE LA SERIE 5.3

ANNEXE 5.4

FIGURES DE LA SERIE 5.4

