Persée
http://www.persee.fr

Mise en évidence de l'ajustement d'un lit fluvial à partir de documents d'archives : le cas de la haute Drôme

Hervé Piégay;Norbert Landon

Revue de géographie alpine, Année 1999, Volume 87, Numéro 3
p. 67 - 86

Voir l'article en ligne

Mise en évidence de l'ajustement d'un lit fluvial à partir de documents d'archives : le cas de la haute Drôme A study of river bed adjustment using archive documents : the case of the Upper Drôme river Norbert Landon, Hervé Piégay. Résumé : Le présent article montre comment l'exploitation simultanée de sources écrites, de plans, de profils en travers et en long anciens, de cartes anciennes, de photographies aériennes et de données complémentaires collectées sur le site peut permettre de reconstituer l'évolution de la géométrie du lit d'une rivière à l'époque contemporaine en relation avec les changements affectant son bassin versant. La Drôme à l'amont de Luc en Diois a servi d'exemple dans la mesure où de nombreux documents historiques sont disponibles. Les sources écrites ont notamment apporté des renseignements précis concernant la construction des voies de communications (position, choix des matériaux, date de rénovation, chronique des inondations...). Ces éléments ont permis de mieux caler chronologiquement les changements morphologiques enregistrés à partir de comparaisons de documents topométriques de différentes dates. Les principaux résultats sont les suivants : le comblement du Grand Lac, très important à l'époque moderne, se ralentit fortement au XIXe siècle. Les apports sont presque nuls dans la plaine au XXe siècle. Une réduction des apports solides est également enregistrée durant le XXe siècle. Ces changements sont mis en relation avec les travaux conduits dans la plaine, les changements climatiques globaux enregistrés durant la période contemporaine et les changements affectant le bassin versant. Le reboisement spontané des versants observé surtout entre 1945 et 1970 est en effet considéré comme un facteur clé limitant les entrées actuelles de la charge de fond dans le système fluvial.

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.
Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l’éducation nationale et de la recherche, Direction de l’enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir http://www.sup.adc.education.fr/bib/). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.

Mise en évidence de l'ajustement d'un lit fluvial à partir de documents d'archives : le cas de la haute Drôme

Norbert Landon, Hervé Piégay

U.M.R. 5600 du C.N.R.S.« Environnement - Ville - Société »,18 rue Chevreul F-69362 Lyon cedex 07

Introduction

Affluent du Rhône moyen, la Drôme dont le bassin versant s'étend sur 1 642 km² draine le massif préalpin du Diois (Fig. 1). Ce cours d'eau est l'un des derniers grands affluents du Rhône dont le fonctionnement hydrologique est encore naturel. Dotée selon M. Pardé (1925), en raison de son relief et de sa latitude d'un régime préalpin, la rivière possède une charge de fond assez abondante en apparence et un style fluvial en tresses encore actif. Néanmoins, elle est depuis plusieurs décennies soumise à un approfondissement de son lit révélant un déficit sédimentaire marqué. Des extractions dans le lit actif ainsi que des travaux de stabilisation du bassin versant et des modifications naturelles du régime des eaux permettent d'expliquer cette tendance (Landon, 1999). Cependant, alors que l'incision touche la plus grande partie du linéaire de la Drôme, le tronçon situé à l'amont de Luc-en-Diois semble échapper à cette évolution ; son lit enregistre en effet une dynamique d'exhaussement. Quasiment isolé du reste du bassin par un éboulement de grande ampleur, ce secteur, qui draine notamment la plaine du Grand Lac (Fig. 1), est caractérisé par des apports sédimentaires abondants depuis au moins les deux derniers siècles. C'est donc sur cette partie du bassin versant que notre attention s'est portée afin d'essayer d'identifier les facteurs contrôlant cette dynamique sédimentaire.

Les recherches conduites sur ce tronçon présentent en outre une certaine originalité méthodologique du fait que l'on dispose de sources documentaires relativement rares à partir desquelles les changements géométriques enregistrés par la rivière peuvent être étudiés. La transformation d'un style fluvial ou plus communément la rétraction, le déplacement latéral, voire l'élargissement d'un lit, peuvent être facilement mis en évidence à partir d'une analyse fine et complémentaire des photographies aériennes de l'Institut Géographique National couvrant la période 1940-1998, du cadastre napoléonien au 1 :10 000e levé à partir de 1807 et des différentes cartes à moyenne et grande échelle levées à partir de la fin du XIXe siècle (1 :80 000e -1 :20 000e . Plusieurs articles ont fait état de l'intérêt des documents anciens, cartographiques et photographiques, pour l'analyse de la dynamique fluviale (Braga et Gervasoni, 1989 ; Peiry, 1989 ; Hooke et Redmond, 1989 ; Landon et Piégay, 1997).

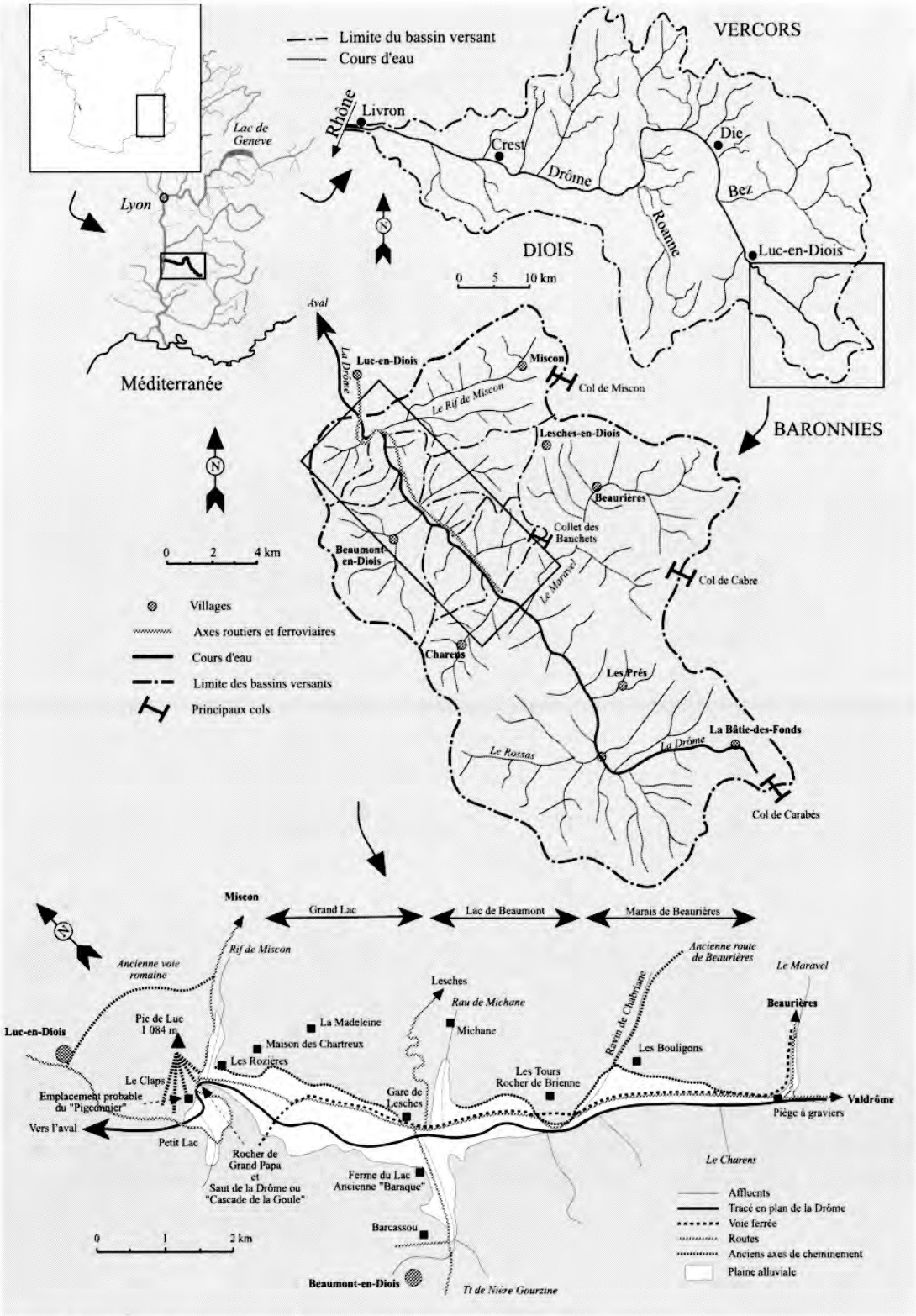

Figure 1 : Localisation et présentation du secteur d'étude

Les documents historiques permettant de connaître les changements verticaux enregistrés par les systèmes fluviaux, incision ou exhaussement du lit, ont en revanche encore été peu exploités. Les profils en long levés par les grandes forces hydrauliques dans les années 1920-1930 constituent notamment une source d'information exceptionnelle. Confrontés aux levés récents, ils permettent d'évaluer l'incision du lit de nombreuses rivières françaises durant le XXe siècle et d'établir un diagnostic dans un cadre géographique large.

L'objet du présent article est de montrer comment l'exploitation simultanée des sources écrites, des plans, des profils topographiques anciens (en travers et en long), des cartes, des photographies aériennes ainsi que des données collectées sur le site peut permettre de reconstituer l'évolution de la géométrie du lit d'une rivière à l'époque contemporaine en relation avec les changements affectant son bassin versant.

Démarche méthodologique et cadre d'étude

La démarche méthodologique

Elle repose avant tout sur une analyse historique fine permettant de reconstituer la mise en place du paysage actuel du secteur d'étude. Pour cela, nous avons utilisé un certain nombre de travaux déjà réalisés (Froment, 1973 ; Gardelle, 1980 ; Desaye, 1986 ; Daumas et Laudet, 1986), complétés par des recherches aux Archives Départementales de la Drôme. Cette approche historique nous permet de comprendre combien le rôle de l'homme a été fondamental dans le façonnement du paysage actuel de la haute vallée de la Drôme depuis 1442 (Fig. 1).

La seconde phase de notre travail consiste à déterminer l'impact de ces changements sur la dynamique sédimentaire des plaines de la haute Drôme. Elle repose sur une approche combinant : 1/ L'analyse de l'évolution du profil en long de la Drôme entre Valdrôme et le Claps (16 km). Pour cela, nous disposions d'un profil en long de 1928 que nous avons comparé à deux profils, l'un partiel levé en 1953 couvrant la plaine du Grand Lac, l'autre, levé par nous-mêmes en 1996 sur l'ensemble du tronçon. 2/ La détermination de l'évolution de la dégradation spécifique du haut bassin en reconstituant les volumes de sédiments déposés dans la plaine du Grand Lac, mais également à l'amont de celle-ci, dans le secteur du marais de Beaurières, déconnecté de la Drôme, et dans la plaine alluviale de celle-ci au droit du marais. Cette approche a été rendue possible grâce à l'existence de profils en travers anciens couvrant la plaine du Grand Lac (1886 et 1913), ceux-ci étant comparés aux profils que nous avons levés en 1997 (Fig. 2). En amont, l'analyse a été réalisée à partir de profils en travers et de sondages effectués dans le marais de Beaurières et la plaine alluviale actuelle de la Drôme. La chronologie des changements fluviaux a été comparée à la chronologie des changements affectant le bassin versant afin d'établir des liens de cause à effet entre ces deux compartiments géographiques emboîtés.

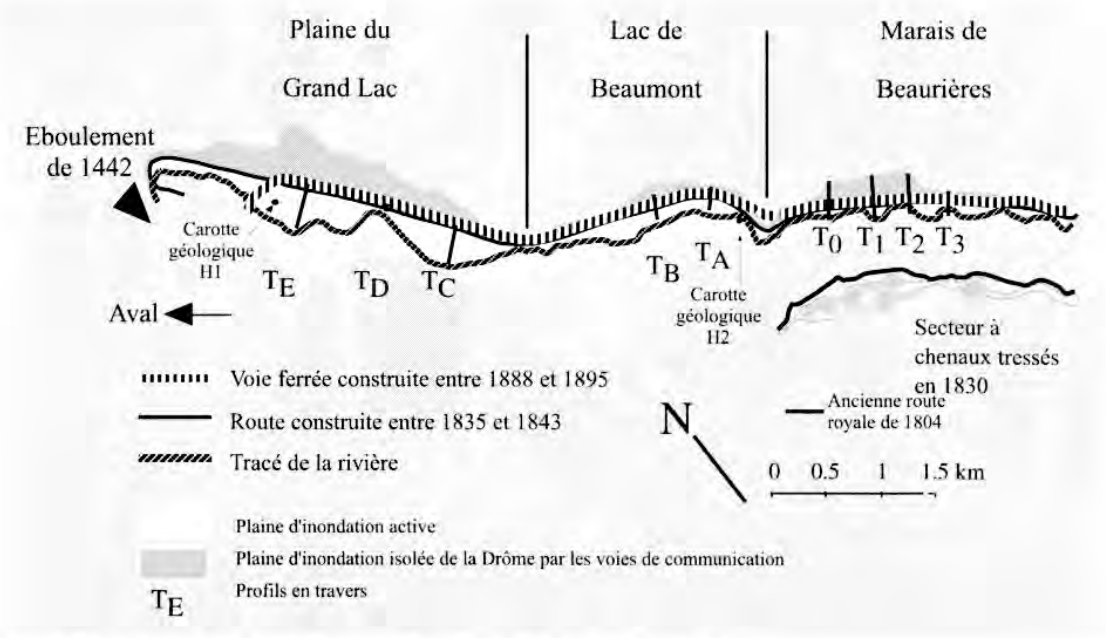

Figure 2 : Localisation des profils en travers levés dans les différentes plaines

Le cadre d'étude

En amont de Luc-en-Diois, le bassin versant de la Drôme n'est que de 194 km² et l'ensemble du haut bassin se trouve isolé de l'aval par la formation d'un éboulement provoqué par un glissement ayant affecté le Pic de Luc situé à environ 2 km à l'amont du village (Fig. 1). Ce pic domine de 500 m le lit de la Drôme. C'est aux environs de 1442 (Froment, 1973) qu'une dalle de 15 m d'épaisseur représentant un volume de 1,5 millions de m³ s'est détachée de la partie sommitale du pic à la faveur d'une diaclase. La masse rocheuse s'est disloquée en blocs au contact d'un éperon rocheux (« Le Pigeonnier ») situé à la base du versant. Les deux amoncellements, désignés localement par le terme de « Claps », ont alors formé un double barrage créant ainsi deux lacs séparés par une dénivellation de 75 m : le Petit Lac, situé au pied de l'éboulement, et le Grand Lac en amont de celui-ci (Fig. 1).

Ce glissement explique en grande partie le fonctionnement physique actuel et ancien de la rivière Drôme de sa source au confluent du Bez notamment en terme de transport solide. En effet, une des principales conséquences fut la diminution brutale des apports de charge solide à l'aval de Luc-en-Diois par piégeage de cette dernière à l'intérieur du bassin supérieur. Le comblement va être particulièrement rapide créant ainsi une vaste plaine alluviale soumise très régulièrement aux inondations. Mais dès la fin du XVIIIe siècle et tout au long du XIXe, les hommes vont essayer d'en tirer profit en l'aménageant à des fins agricoles. De plus, ils vont établir au centre de la plaine un axe de circulation, routier et ferroviaire, assurant le passage de la vallée du Rhône, via la vallée de la Drôme, au Bochaine. Plus stratégique qu'économiquement nécessaire, cet axe devait permettre aux militaires de rallier Gap et les lignes de défenses des Hautes-Alpes. Route et chemin de fer furent donc aménagés, les travaux de drainage et de mise en valeur des plaines se poursuivirent malgré les crues torrentielles qui endommageaient fréquem-

ment les récoltes et les fossés (Froment, 1973). Si les apports limoneux de ces crues contribuaient alors à bonifier les terrains agricoles, en revanche la submersibilité de la plaine gênait l'utilisation de la route installée initialement au niveau de la plaine. Le problème nécessita de multiples rehaussements de la route et aujourd'hui, le risque de submersibilité n'est toujours pas réglé, notamment à l'amont de la plaine du Grand Lac où le processus d'exhaussement du lit persiste. Le transport solide est encore très actif et les accumulations de matériaux créent des problèmes malgré les aménagements qui ont été faits tant au niveau de la Drôme et du Maravel, son principal affluent, que des versants. Dans un contexte de pénurie de charge solide à l'échelle du bassin de la Drôme, cette dynamique est tout à fait originale et pose la question de l'impact des interventions humaines sur les processus de recharge sédimentaire.

Historique des aménagements et impact sur la plaine

Assèchement et mise en valeur du lac

A partir de 1787, des travaux de drainage de la plaine du Grand Lac vont être entrepris par les moines chartreux de Durbon (Froment, 1973). A cette époque le drainage de la plaine avait été assuré par le creusement d'un canal de « *30 toises de long et 12 pieds de profondeur en amont du Pic de Luc* »[1] réalisé entre 1787 et 1789. Delacroix (1835) note que ces travaux se traduisirent par le premier abaissement du niveau des eaux après celui de 2 m enregistré en décembre 1755 faisant suite à une crue exceptionnelle ayant ouvert une brèche dans le barrage supérieur du Claps. Des mesures de la profondeur du lac réalisées en 1776 et 1788 donnaient respectivement 15 m et 9 m. Ainsi, l'action des moines conjuguée aux processus naturels de colmatage du lac aura permis, en 12 ans, une diminution de 6 m de la profondeur du lac. Mais en 1835 les travaux ayant été repris successivement par MM. Guilhermoz et Crozet n'ont pas encore permis le total assèchement de la plaine du Grand Lac. « *Les eaux des torrens qui, à la moindre pluie, se précipitent dans ce bassin, viennent sans cesse remettre en marécage les parties d'abords desséchées* » (Delacroix, 1835). Le lac, alors d'une superficie de 300 hectares, subsistera jusqu'au percement d'un tunnel entre 1837 et 1839 qui alimente aujourd'hui le « Saut de la Drôme ». Malgré ces travaux, en 1878, le sol du Grand Lac reste marécageux et ce n'est qu'entre 1903 et 1904 que des travaux d'assainissement sont entrepris pour régler de façon définitive le problème (Mougin, 1931). Au cours du XIXe siècle, deux événements vont être également déterminants pour l'évolution contemporaine des plaines situées à l'amont du Saut de la Drôme. C'est, d'une part, l'ouverture de la route royale n° 93 de Valence à Sisteron qui passera par le Claps et le Col de Cabre au sud-est de Beaurières (Fig. 1), et d'autre part, l'ouverture de la ligne de chemin de fer reliant Die à Aspres-sur-Buëch.

1. Soit 60 m de longueur pour 4 m de profondeur.

La route du Diois au Bochaine

Le tracé actuel de la route dont le plan fut dressé par l'ingénieur Montricher le 27 avril 1835 est approuvé par le Ministère de l'Intérieur, dont dépendait le Conseiller d'Etat des Ponts et Chaussées, et des Mines, le 11 juillet 1835. Les travaux vont être réalisés entre 1835 et 1843. La construction en 1851 d'un refuge au col de Cabre sur la Route Royale devenue Route Nationale n° 93[2] laisse supposer qu'alors la jonction « moderne » entre le Diois et le Bochaine est enfin achevée. L'histoire de la route est cependant loin d'être terminée, car à partir des années 1870, les communautés riveraines signeront de nombreuses pétitions pour qu'un exhaussement de celle-ci soit réalisé afin de la mettre à l'abri des inondations[3]. Des travaux portant sur 6 714 m vont être réalisés en 1878. En 1885, un nouveau projet d'exhaussement est présenté pour la plaine du Grand Lac entre les ravins de Miscon et de Michane sur 2 531 m. Un rapport de l'Ingénieur Ordinaire de Crest du 13 décembre 1885[4] stipule : « *... de 1878 à 1881 l'administration dut faire exécuter un exhaussement de 2 m 30 sur une longueur de 6 714 m en amont de l'ancien lac de Luc afin d'avoir une revanche d'au moins 1 m 50 sur le niveau de la plus haute crue comme celle du 20 octobre 1872, et de mettre la chaussée à l'abri de toute submersion pendant une période d'environ 30 ans* ». Il précise, en outre, qu'au départ l'ensemble de la chaussée avait été établi à 0,5 m au dessus du niveau de la plus haute crue connue. Cela semblait suffisant mais les ingénieurs avaient mal évalué la capacité de transport de la Drôme. Le projet d'exhaussement dans la Plaine du Grand Lac sera finalement rejeté par le ministère en 1886 à cause de la construction de la voie de chemin de fer, qui apparaissait alors plus prometteuse que la route.

L'ouverture de la ligne de chemin de fer reliant Die à Aspres-sur-Buëch

La ligne de chemin de fer Livron-Die-Aspres appartient aux lignes dites de deuxième génération, postérieures à 1881, celles qui ne furent pas jugées rentables par les grandes compagnies. Il faut attendre le 19 mars 1875 pour que l'Etat prescrive une mise à l'étude de la ligne. Cette dernière va durer trois ans et la décision de réaliser la ligne sera enfin prise grâce à l'intervention de l'Armée, qui mise sur la position stratégique de la voie du fait de la dégradation des relations avec l'Italie. Mais il fallut attendre le 16 juillet 1892 pour qu'un premier train militaire expérimental de 500 tonnes ouvre la ligne Die-Aspres (Gardelle, 1980).

Le principal impact de l'ouverture de cette voie à l'amont du Claps résulte de la construction du talus de la voie qui, avec une hauteur de 3 à 5 m, contribue de façon beaucoup plus déterminante que la route à diviser la plaine d'inondation de la haute Drôme en plusieurs entités plus ou moins déconnectées les unes des autres (Fig. 1). A titre d'exemple, la largeur moyenne de la plaine du Grand Lac, à l'amont du tunnel de

2. A.D.D. 7S29/30.
3. A.D.D. 7S44 et 45.
4. A.D.D. 78/20 W 28.

la voie ferrée, est passée de 600 m à 400 m et le bassin versant est réduit de 169 à 154 km². Depuis la fin du XIXe siècle, les surfaces de l'ancien lit majeur de la Drôme, localisées au nord du talus de la voie ferrée, ne sont plus soumises aux apports de charge solide lors des crues de la Drôme et du Maravel. Depuis un siècle, seuls les apports des petits bassins versants drainant la rive droite de la Drôme vont fournir une maigre charge sédimentaire à ces secteurs. Au contraire, les apports de la Drôme amont et du Maravel vont continuer à se déposer en amont de la plaine. C'est de cette dynamique sédimentaire très contrastée que résulte aujourd'hui l'existence du marais de Beaurières.

Diagnostic de la dynamique sédimentaire du haut bassin de la Drôme

Evolution du profil en long et des apports de charge de fond au cours du XXe siècle

Trois profils en long de la ligne d'eau d'étiage levés en 1928, 1953 et 1996 nous permettent d'avoir une bonne vision de l'évolution verticale du lit au cours du XXe siècle (Fig. 3). Globalement, pour la période 1928-1996, le bilan sédimentaire du tronçon étudié est largement positif et le lit enregistre un exhaussement. Trois secteurs peuvent être distingués.

1/ A l'aval, le secteur de la plaine du Grand Lac (pk 81-88) est caractérisé par une certaine stabilité à l'échelle du siècle. Le profil de la ligne d'eau de 1996 est légèrement au-dessus de celui de 1928 (environ 1 m au maximum), mais comme le levé a été effectué pour un débit également supérieur, nous ne considérerons pas comme significative cette différence. Seul le tracé du profil en long du fond du lit de 1953 met en évidence une évolution importante au cours de la période 1928-1953. En effet, on constate une accumulation importante de matériaux à l'amont, comprise entre 1 et 2 m, entre le rocher de Brienne et le pont de Beaumont. Plus à l'aval, le lit est par contre incisé de près de 2 m localement. Ce dernier phénomène s'explique par des travaux de recalibrage effectués au début des années 1950. Par la suite, les travaux de recalibrage sur l'ensemble du linéaire de la Drôme dans la plaine du Grand Lac et la mise en place de seuils au niveau du rocher de Brienne vont redonner à la Drôme une pente moyenne plus faible proche de celle de 1928. Cette dernière est passée de 2,4 ‰ en 1928 à 8 ‰ en 1953 et 4,9 ‰ en 1996. Une des conséquences de ces aménagements, sans doute voulue pour diminuer l'inondabilité à l'aval, a été de bloquer la charge en transit à l'amont de la plaine du Grand Lac.

2/ Le secteur compris entre les points kilométriques 87 et 96, situé à l'amont de la plaine du Grand Lac, se caractérise par un exhaussement très important, pouvant atteindre 5 m. La mise en place des seuils de Roche Brienne explique en partie l'importance de cette évolution. La dénivellation est de plus de 3 m entre l'aval des ouvrages et l'amont. Néanmoins, d'autres facteurs d'explication doivent être avancés, dans la mesure où l'exhaussement dépasse la hauteur des seuils et se manifeste à l'amont, bien au-delà du tronçon influencé par ces seuils.

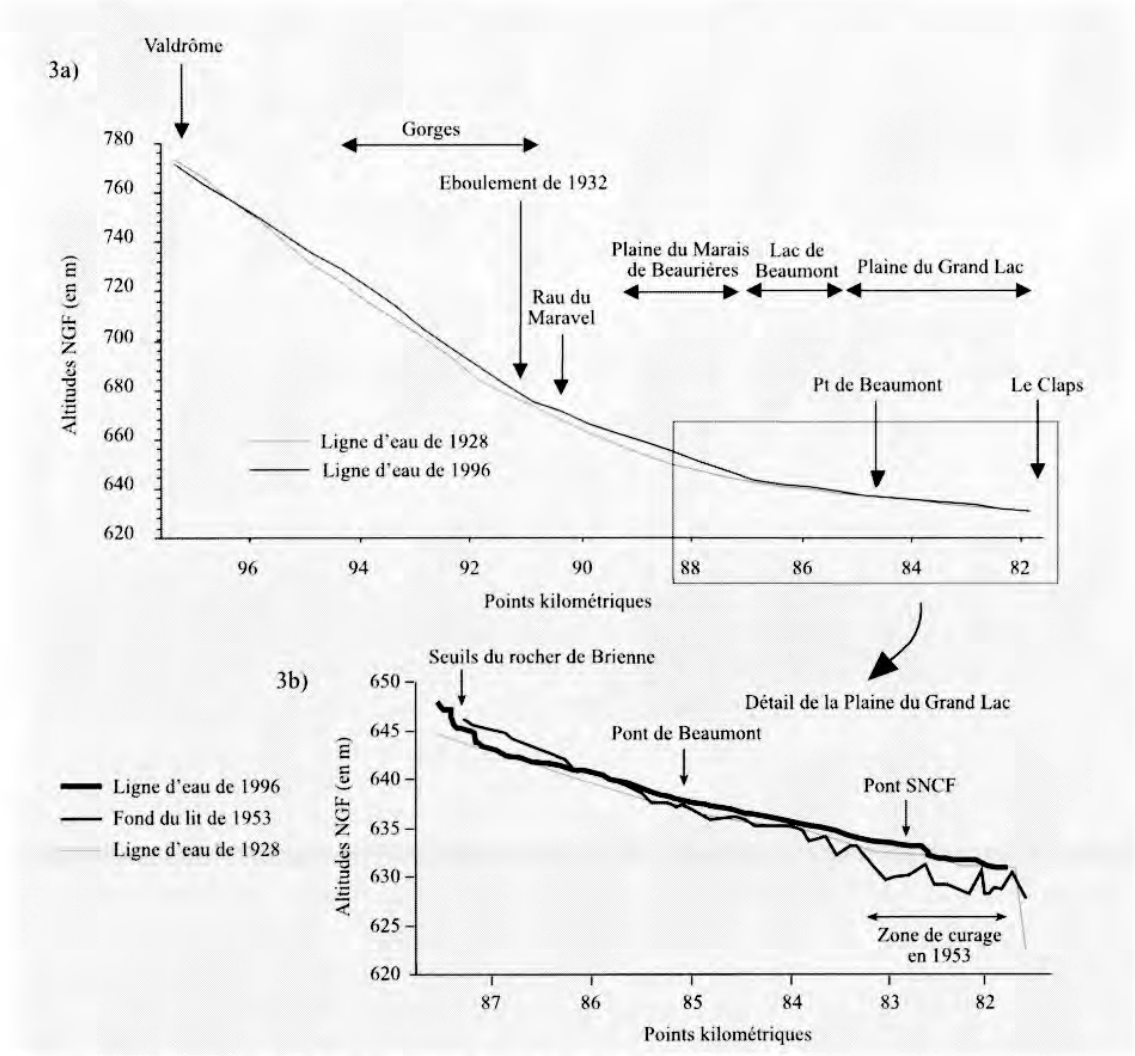

Figure 3 : Évolution du profil en long de la Drôme entre 1928 et 1996

3/ A l'amont de ce tronçon en exhaussement, nous trouvons un petit secteur incisé localisé entre le pont de Valdrôme et les gorges de la haute Drôme. Cette incision comprise entre 1 et 2 m est de faible étendue car elle est bloquée vers l'amont par le radier-seuil en béton des ponts sur la Drôme et sur le ruisseau de Rossas, affluent de rive gauche.

Finalement, la tendance à l'exhaussement domine pour l'ensemble du profil en long. L'homme semble être un des agents à l'origine de cette tendance, mais il reste à déterminer dans quelle mesure.

Nous avons étudié l'évolution de la sédimentation grossière au cours des deux derniers siècles en amont du Lac de Beaumont, sur un tronçon où les dépôts de matériaux sont essentiellement grossiers, au moins depuis 1830 (Fig. 1 et 2). Ce travail a été fondé sur l'analyse des profils en long de 1928 et 1996, des photographies aériennes verticales et de documents d'archives. Les volumes (V) transportés par la Drôme et stockés à l'amont du Lac de Beaumont ont été estimés à partir de la formule suivante (Landon *et al.*, 1998) :

$$V = \sum_{i=1}^{19} I_{28/96} Lba_{91} c$$

avec c, la longueur des segments observés (500 m dans notre cas), Lba_{91}, la largeur moyenne de la bande active en 1991 (m) sur chaque segment et $I_{28/96}$ la valeur d'incision (m), mesurée par segment sur la période 1928-1996. La largeur retenue pour estimer le volume stocké correspond à la largeur de la bande active de 1991, car nous avons observé que les changements en plan du chenal sont très faibles, au moins depuis 1946, le lit majeur s'exhaussant en même temps que le lit mineur par apports de sédiments fins. Il s'agit d'une valeur minimale dans la mesure où la largeur du lit actif s'est réduite au cours de la période.

Le volume de charge de fond stocké entre 1928 et 1996 dans le fond de vallée a été estimé à 90 $m^3.an^{-1}.km^{-2}$. Ce volume correspond au volume minima transporté par la Drôme, une partie de la charge ayant migré vers l'aval. Ce volume est très important comparé aux volumes enregistrés en 1996-1997 sur l'Esconavette et la Barnavette (respectivement 13,5 et 26 $m^3.an^{-1}.km^{-2}$), deux affluents de la Drôme localisés en rive gauche à la hauteur de la confluence Drôme-Bez et sur lesquels des mesures précises du transport solide sont effectuées (Piégay *et al.*, 1997 ; Liébault *et al.*, 1999). Ce volume est également très important comparé aux volumes extraits à la confluence Maravel-Drôme (km 90,2) entre 1993 et 1997 qui atteignent en moyenne 31 $m^3.an^{-1}.km^{-2}$ (Tabl. 1).

Des levés topographiques ont été également effectués sur le tronçon traversant la plaine du marais de Beaurières afin de confirmer les résultats précédents. Quatre profils en travers ont été levés (T0 à T3) (Fig. 2 et 4). Connaissant l'historique de l'aménagement de la plaine, nous avons pu déterminer les volumes déposés au cours de la période 1842-1997. Il est en effet possible de considérer que l'altitude du toit des galets dans le marais de Beaurières correspond à l'altitude du lit de la Drôme avant la construction de la route, soit en 1842. Le cadastre de 1830 (Fig. 2) montre en effet que la rivière occupait à cette date tout le fond de vallée. Ces profils nous permettent de constater combien l'élévation du lit de la Drôme a été importante depuis 1842 (Fig. 4). La différence d'altitude entre le sommet de la sédimentation graveleuse dans le marais et celui du lit de la Drôme actuel peut atteindre 4 à 6 m. En outre, comme la bande active est, sur la plupart de ces profils en travers, plus haute que la base de la sédimentation fine du lit majeur ancien (Unité IIa, Fig. 4) mais à la même altitude, voire plus basse, que le toit des galets du lit secondaire qui s'est boisé entre 1970 et 1991 (Unité IIb, Fig. 4), il est possible de conclure que l'exhaussement s'est fortement ralenti, voire s'est arrêté, au cours des deux dernières décennies. Le développement d'un lit majeur boisé au sein de la bande active de la Drôme depuis 1970 prouve qu'une modification de la nature des apports sédimentaires est enregistrée. La charge grossière est moins importante, moins souvent mobilisée, laissant à la végétation une possibilité de se développer, de piéger des matériaux fins et de construire un lit majeur. L'analyse des photographies aériennes de 1948 révèle qu'à cette date, la forêt alluviale est déjà présente sur les marges de la bande active.

Nous avons essayé de recaler les profils en long et les profils en travers dans la plaine de Beaurières afin de distinguer la période 1842-1928. Ce recalage a montré que cette période serait caractérisée par un faible exhaussement dans le secteur, comparé à celui enregistré ensuite, ce qui est en contradiction avec les autres résultats. En fait l'exhaussement enregistré dans la plaine de Beaurières est difficile à exploiter car le seuil construit entre 1928 et 1953 à la hauteur du rocher de Brienne, y a favorisé artificiellement le dépôt des sédiments. En outre, l'analyse conjointe du détail du profil en long de 1928 sur le secteur et de sources écrites a révélé que l'altitude du lit dans ce secteur a été artificiellement modifiée entre 1913 et 1928 à la suite d'extractions, les matériaux étant utilisés pour surélever la route. Une souille d'extraction est localement visible sur le profil de 1928. La valeur minimale de 90 $m^3.an.km^{-2}$ n'est cependant pas remise en question dans la mesure où cela est très localisé. Néanmoins cela a permis de montrer que l'analyse minutieuse et comparée de l'ensemble des documents d'archives peut mettre en lumière leurs limites. Sans l'analyse des sources écrites, ni les seuils, ni le réhaussement de la route n'auraient été connus.

L'ensemble des données collectées permet de confirmer que globalement, même s'ils restent encore importants aux yeux des gestionnaires du cours d'eau, les apports de charge de fond diminuent depuis le début du siècle. Deux périodes peuvent être distinguées. Avant les années 1950-70, l'exhaussement du lit et de la plaine alluviale est rapide. Après 1970, les apports tendent à se tarir, le lit mineur se rétracte.

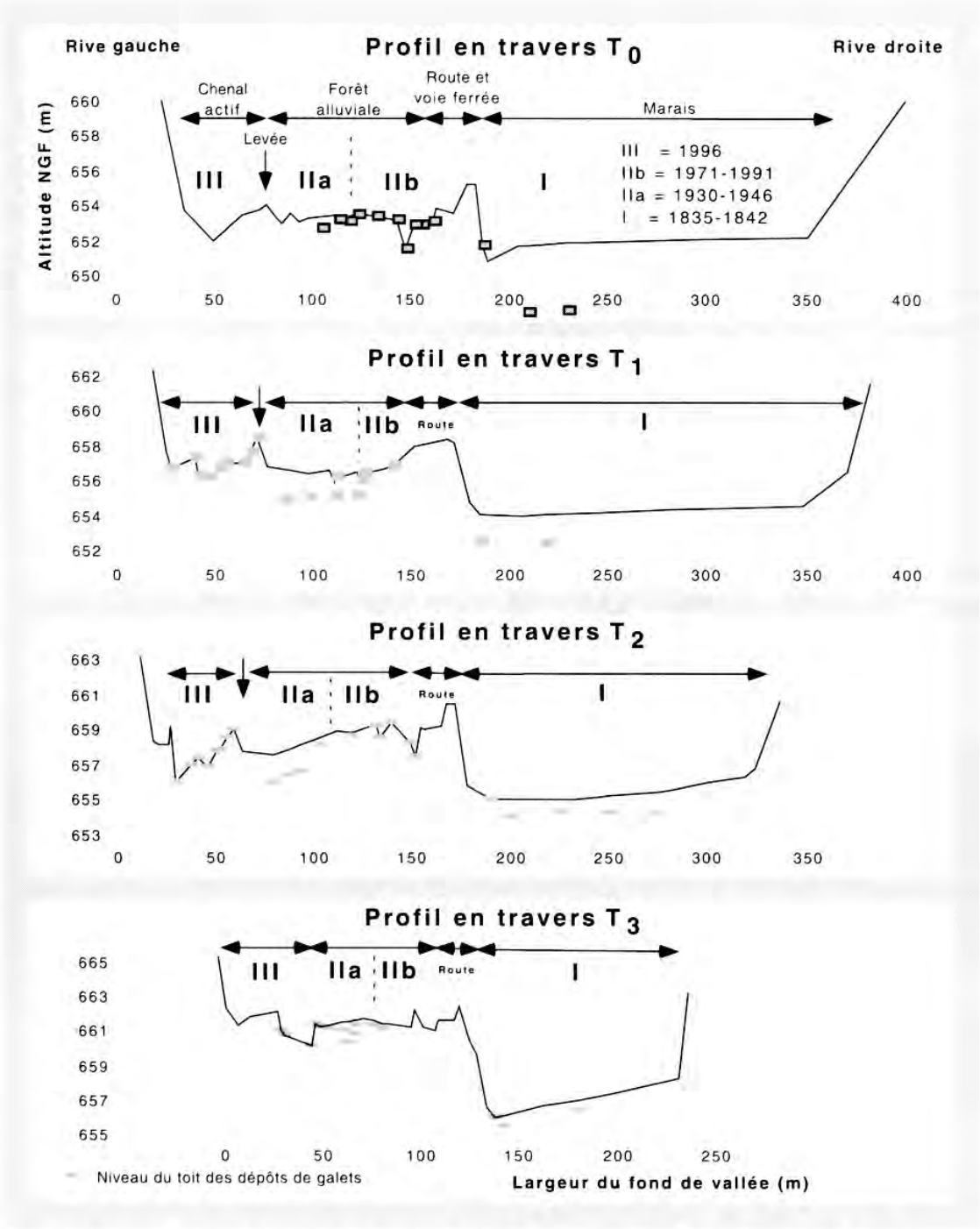

Figure 4 : Évolution altitudinale du marais de Beaurières et de la plaine alluviale de la Drôme en amont de Roche Brienne depuis la construction de la route (1842)

Evolution de la sédimentation dans la plaine du Grand Lac

Comme pour tous les systèmes lacustres, les sédiments constituant le remplissage de la plaine du Grand Lac se composent, à l'aval et dans la partie centrale, de limons à l'origine de la formation d'argiles compactes (Fig. 5). Ce n'est qu'à l'amont du lac que

nous trouvons des dépôts plus grossiers comportant des dépôts graveleux et des argiles sableuses déposés dans ce qui devait constituer le cône de déjection fluvio-lacustre de la Drôme. Notre analyse historique de la sédimentation de la plaine du Grand Lac est donc essentiellement centrée sur la fourniture de matière en suspension.

Comme nous l'avons vu précédemment, les problèmes d'inondation de la plaine et de la route, omniprésents tout au long du XIXe siècle, sont encore signalés par les archives du début du XXe siècle. Dans un rapport du sous-ingénieur subdivisionnaire Samuel, de Die, en date du 13 mai 1913, il est une nouvelle fois question de travaux d'exhaussement de la route dans la Plaine du Grand Lac entre le passage à niveau de la ligne de chemin de fer (pk 76,47) et la gare de Beaumont (pk 78,2)[5]. L'exhaussement moyen de la plaine est alors de l'ordre de 2,5 cm.an^{-1}. L'ingénieur précise que les hauteurs d'eau peuvent atteindre 0,8 à 1,12 m par rapport au niveau normal de la route et que cette dernière « *est submergée au moins deux fois par an* ». Il fait également référence aux travaux d'exhaussement qui ont été réalisés en 1878 entre le pont de Beaumont et Les Tours[6] en précisant que les hautes eaux déversent déjà sur la route entre les pk 78,59 et 79,71. Cela signifie qu'entre 1878 et 1913 la plaine se serait exhaussée naturellement de 1 m 50 puisque les travaux de 1878 prévoyaient « *une revanche* » de cette valeur « *sur le niveau de la plus haute crue* ».

Pour les ingénieurs des Ponts et Chaussées, il n'est pas question de réaliser de nouveaux travaux d'exhaussement car le trafic est faible. En outre, ils évoquent également l'effet des reboisements qui tendent à diminuer l'importance des crues : « *les hauteurs successives atteintes à Crest en 1872, 1882, 1886 et 1892 dépassaient 3 m ; elles n'ont plus été atteintes depuis cette date ; le maximum de 1907 a été seulement de 2 m 55* ».

Notre propre analyse minore quelque peu ces valeurs d'exhaussement de la plaine mais celui-ci est réel. Compte tenu des données fournies par les trois profils en travers (Tabl. 2, Fig. 6), il serait de 0,53 m pour la période 1886-1913 ce qui correspondrait à un exhaussement annuel moyen de 1,96 cm.an^{-1} (Tabl. 3). Pour la période 1842-1886, la comparaison entre le niveau isolé de la plaine en rive droite et le niveau soumis aux inondations fait apparaître une élévation moyenne de 0,91 m, soit un exhaussement annuel moyen de 2,06 cm. L'élévation de la plaine du Grand Lac au cours de la période 1842-1913 est donc de l'ordre de 2 cm. an^{-1}.

En tenant compte de la largeur de la plaine pouvant subir des dépôts sédimentaires lors des plus hautes eaux enregistrées au cours de la période 1886-1913, nous avons estimé que les apports annuels moyens sur ce tronçon ont été de 8 244 m^3 pour une surface de 42 hectares. Après la construction de la route et de la ligne de chemin de fer, la largeur moyenne de la plaine du Grand Lac était de 323 m pour une longueur de 3 km,

5. A.D.D. 7S44.

6. A.D.D. 7S44 - Approuvé par le ministère des Ponts et Chaussées le 29 mars 1877, le projet prévoyait un exhaussement de la route sur 6 714 m entre les pk 78,45 et 85,164. A cette occasion un « aqueduc » de colmatage fut réalisé sous la route vers les Rochers de Brienne afin de faciliter le colmatage du marais de Lesches.

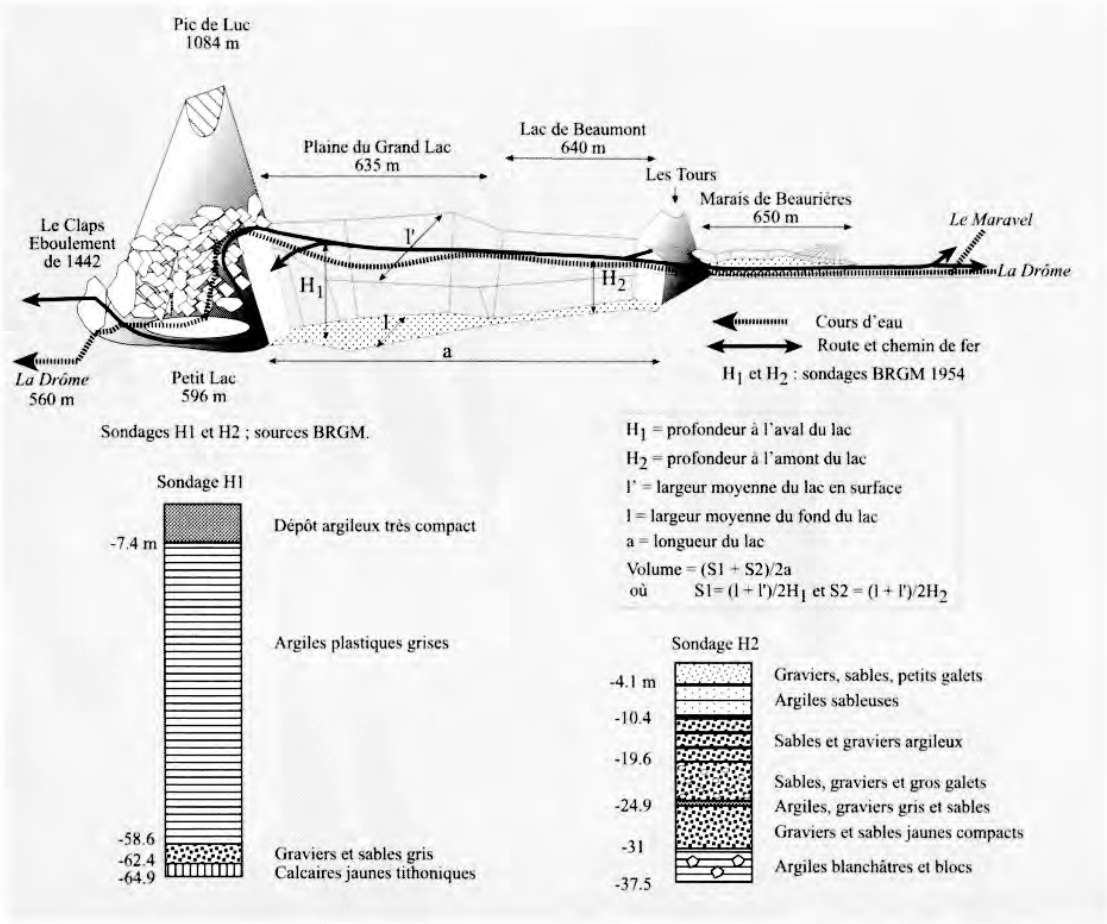

Figure 5 : Détermination du volume de remplissage du lac et présentation de sa nature géologique d'après deux sondages profonds

Profils	Exhaussement moyen (m) 1842-1886	1886-1913	Hauteurs des plus hautes crues (en m)	Largeurs inondables (en m)*
TE	+ 0,72	+ 0,51	636,02 à 636,696	425
TD	+ 1,09	+ 0,37	636,9 à 637,42	350
TC	+ 0,93	+ 0,7	637,87 à 637,988	340
Moyenne	*0,91*	*0,53*	—	*372*

Tableau 2 : Exhaussement de la plaine du Grand Lac entre 1842 et 1913

* Déterminées à partir de la carte I.G.N. au 1 :25 000 en fonction des hauteurs des crues

nous pouvons donc estimer que les apports annuels moyens ont été d'environ 19 000 m^3. Si nous rajoutons la portion de l'ancien lac située en amont on obtient un volume annuel moyen de 30 000 m^3. Etant donné que la surface du haut bassin est de 154 km^2 au Saut de la Drôme (en excluant toute la zone déconnectée de la plaine par les talus de la route et du chemin de fer), cela représente alors une dégradation spécifique de l'ordre de 195 $m^3.km^{-2}.an^{-1}$. Nous sommes alors bien loin de la valeur estimée par Descroix (1991) pour le colmatage du lac de la Grande Plaine au cours de la période 1442-1789. Partant du principe que le lac était comblé au moment de la Révolution

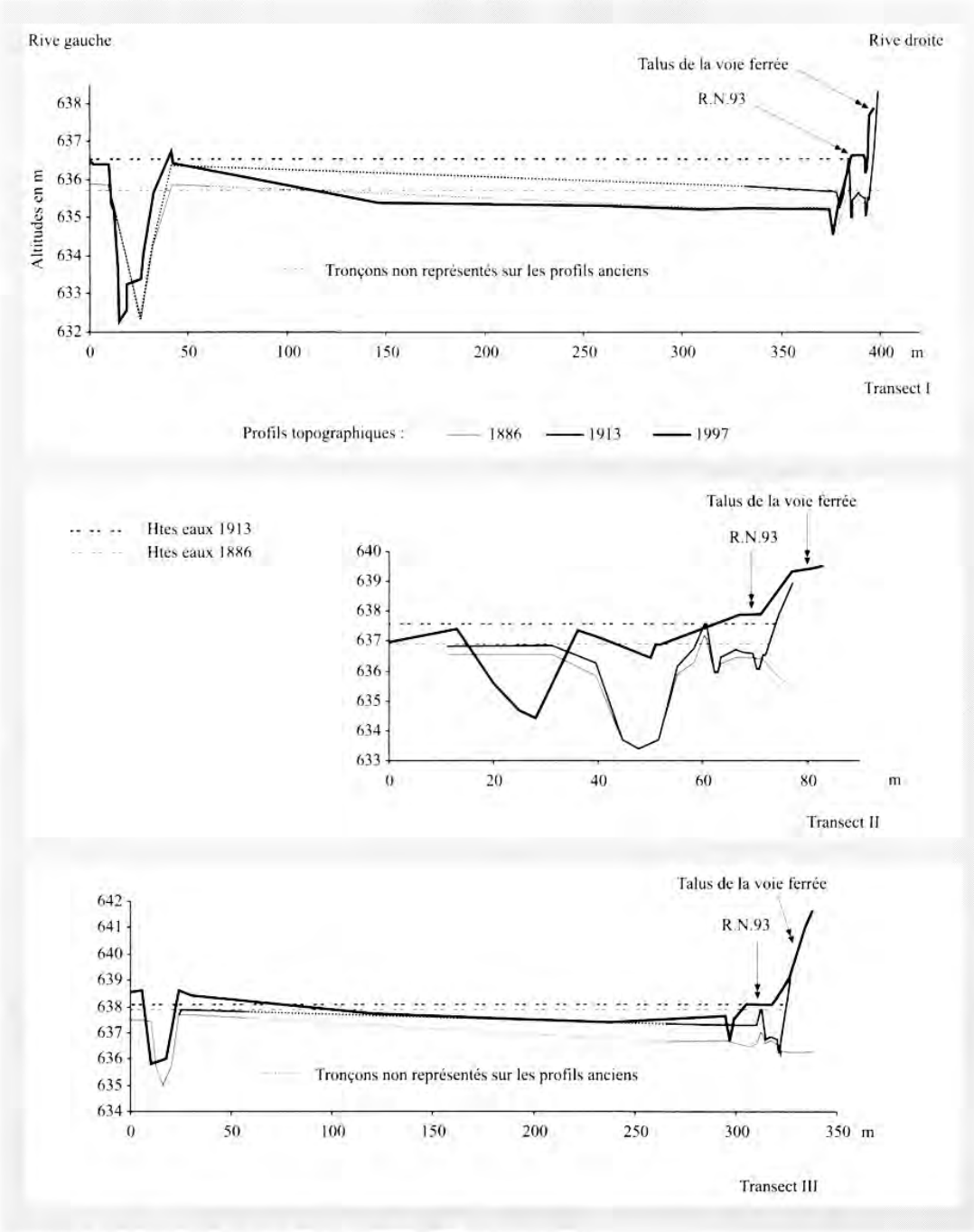

Figure 6 : Évolution altitudinale de la plaine du Grand Lac de 1886 à 1997

Française (Froment, 1973) et que ce dernier avait un volume de 90 millions de m^3, il aurait obtenu une dégradation spécifique de l'ordre de 1 400 $m^3.km^{-2}.an^{-1}$. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette grande différence.

Tout d'abord, le lac était loin d'être complètement asséché en 1789 puisqu'en 1835, Delacroix note « *le lac de Luc remonte jusqu'à Beaumont, et couvre une superficie de plus de 300 hectares* ». Ce n'est qu'après le percement du tunnel à l'aval de la plaine que le lac

	Période	Nombre d'années	Epaisseur moyenne du dépôt (m)	Surface du bassin (km^2)	Volume du dépôt (Mm^3)	Erosion spécifique ($m^3.km^{-2}.an^{-1}$)
Grand Lac	1442-1842	400	Variable	169	70.00	1 036
TC-TD-TE *	1842-1886	44	0,91	154	1,37	201
TC-TD-TE *	1886-1913	27	0,53	154	0,8	195
TC-TD-TE *	1913-1997	84	0,17	154	0,26	20
TA-TB**	1842-1997	154	4	154	6	253
TA-TB-TC-TD-TE ***	1842-1997	154	1,61	154	3,47	146
Marais de Beaurières	1842-1996	154		5,5	0,37	431

Tableau 3 : Exhaussement et détermination de l'érosion spécifique : synthèse

* Sous-estimation de l'épaisseur du dépôt

** Sur-estimation de l'épaisseur du dépôt

*** L'exhaussement du Grand Lac est distingué de celui du marais

va être effectivement asséché même si pendant tout le XIXe siècle, sa surface va être régulièrement recouverte par les eaux de crue. Ce n'est donc pas en 350 ans que le lac fut comblé mais en 400. Cela donne alors une dégradation spécifique d'environ 1 190 $m^3.km^{-2}.an^{-1}$.

La seconde remarque porte sur le volume du lac. Estimé à 90 Mm^3, il semblerait que ce chiffre soit quelque peu surestimé. En effet, la plaine, telle qu'elle se présente aujourd'hui, entre le Claps et les Tours, a une longueur de 4 750 m et une largeur moyenne de 443 m. Des sondages effectués pour le compte du B.R.G.M. en 1954 ont révélé que le substratum était atteint à - 62 m à l'aval du lac et à - 37,5 m à l'amont (Fig. 5). Si on tient compte de la valeur moyenne des pentes des versants entourant le lac (40 %), il est probable que le fond de vallée présentait avant 1442, une largeur comprise entre 150 et 200 m. Aussi, en utilisant la formule de calcul de cubature de L. Lapointe et G. Meyer (1994) (Fig. 5) le volume du lac ne serait pas de 90 millions de m^3 mais seulement de 70. Ainsi, la dégradation spécifique ne serait donc plus que de 1 036 $m^3.km^{-2}.an^{-1}$ (Tabl. 3).

Au cours de la période 1913-1997, on note une diminution très nette des dépôts limoneux dans la plaine du Grand Lac. La comparaison entre nos levés topographiques de 1997 et ceux de 1913 font apparaître un exhaussement moyen de 17 cm soit 2 $mm.an^{-1}$. L'érosion spécifique ne serait alors plus que de 20 $m^3.km^{-2}.an^{-1}$. Ce chiffre mérite d'être discuté car les importants travaux de recalibrage du lit effectués dans les années 1950 (DDE, 1953) et les travaux de drainage de la plaine effectués en 1904-1905 (Mougin, 1931) ont permis une meilleure évacuation des crues vers l'aval et donc de la charge en suspension. S'il est incontestable que la charge peut s'évacuer plus facilement, il est possible de considérer que les apports ont également pu se tarir. De plus, d'autres facteurs, tels que la modification de l'occupation du sol à l'échelle du bassin versant ou la construction de seuils RTM sur les affluents de la Drôme, ont également dû contribuer à réduire les apports.

Causes des changements enregistrés par le lit de la Drôme

Comme l'ont souligné J.-P. Bravard (1991) et plus récemment C. Miramont et X. Guilbert (1997), il est difficile d'identifier l'importance respective des causes de tels changements. La plupart des auteurs établissent une liste de causes potentielles parmi lesquelles l'enfrichement des versants généralement calé sur la fin du XIXe siècle et la fin de la péjoration climatique du Petit Âge Glaciaire (1880) sont le plus souvent cités.

Le Petit Âge Glaciaire

Les données acquises sur cette partie de la Drôme permettent d'apporter quelques précisions chronologiques. La diminution de la sédimentation fine dans la plaine du Grand Lac entre la période moderne et la période contemporaine et entre le XIXe et le XXe siècles peut être expliquée par deux principaux facteurs : 1. Le percement du tunnel au niveau du saut de la Drôme (1837-1839) a facilité l'évacuation des crues. Ainsi, la charge en suspension a pu transiter plus rapidement et s'évacuer vers l'aval. 2. Le colmatage du lac s'est effectué en grande partie au cours de la période du Petit Âge Glaciaire (1550-1880). Cette période est considérée comme propice à l'augmentation de la dégradation spécifique du fait de l'accroissement des cycles gel-dégel favorisant la fragmentation des roches en place et de la fréquence des phénomènes de solifluxion, d'autant que le milieu est fortement déboisé et donc plus sensible à l'érosion (Grove, 1988 ; Bravard, 1989). Le premier facteur est sans conteste le plus important pour expliquer la réduction de la sédimentation enregistrée entre l'époque moderne et l'époque contemporaine dans la mesure où cette réduction est observée dès le XIXe siècle, alors que les crues sont fortes et la pression agricole maximale. Comme une réduction de la sédimentation est également observée au cours de l'époque contemporaine, il est possible de penser qu'elle est alors liée au second facteur, le Petit Âge Glaciaire ne se terminant qu'à la fin du XIXe siècle, alors que l'enfrichement du bassin suite à la déprise rurale et aux actions RTM commence à se manifester. Les actions très importantes de stabilisation du bassin versant (Tabl. 4) conduites à cette période par les services de Restauration des Terrains de Montagne (RTM) pourraient également être responsables de la diminution des apports de sédiments.

L'étude de la charge de fond est historiquement plus restreinte compte tenu des sources disponibles. Elle révèle néanmoins que les apports, élevés dans la première moitié du XXe siècle, se réduisent fortement au cours des dernières décennies. Si la forte résilience du système fluvial peut être mise en avant sur les cours d'eau de piémont pour expliquer un décalage chronologique entre la date des changements affectant le bassin versant (fin XIXe) et celle des changements fluviaux qui en résultent (post-1945), cet argument est plus ténu lorsque le problème se pose sur des tronçons localisés à proximité des sources de production sédimentaire. Il apparaît ainsi difficile d'expliquer sur cette partie de la Drôme une réduction des apports solides dans les années 1970-80 par des facteurs datant de la fin du XIXe siècle. Réalisés pour stabiliser les versants et lutter contre la torrentialité, la plupart des périmètres RTM (Fig. 7) ont été délimités dans le but de protéger la voie de chemin de fer. C'est pourquoi pratiquement aucun périmètre

Tableau 4 : Surfaces forestières communales et bilan des travaux de stabilisation du haut bassin versant de la Drôme depuis le XIXe siècle (Sources : Delacroix, 1835 ; INSEE, 1988 ; O.N.F. - D.D.A.F., 1994)
(1) Le bilan des travaux correspond respectivement aux forêts domaniales du Claps (A), du Maravel (B) et de Val Drôme (C). La forêt du Claps couvre d'autres communes situées sur des bassins versants à l'aval du Saut de la Drôme. La part de forêt domaniale de ces deux communes ne représente que 34 % de la surface totale. Il conviendrait donc de diviser au moins par trois les chiffres présentés pour les territoires de Miscon et Beaumont. Pour (2), (3), et (4) les chiffres indiquent le nombre d'éléments réalisés. – (2) Barrage : ouvrage transversal au talweg d'une hauteur supérieure à 2 m 50. – (3) Seuil ou barrage rustique : ouvrage transversal au talweg d'une hauteur inférieure à 2 m 50. – (4) Clayonnages – (5) Curage de lit – (6) Enrochements de berges.

n'est localisé en rive gauche de la Drôme (Fig. 7). Ce facteur ne peut donc pas être mis en avant dans ce cas puisqu'il concerne des parties du bassin versant aujourd'hui déconnectées du cours de la Drôme par les aménagements. C'est pourquoi l'évolution du reboisement a été étudiée afin de préciser la chronologie de ce facteur. L'amorce de la déprise rurale, à partir de la deuxième moitié du XIXe siècle (Fig. 8a), a peut être joué en faveur du reboisement des versants (Fig. 8b) mais de façon mineure vis-à-vis des travaux planifiés des services RTM. Néanmoins, la principale période de reboisement se manifeste surtout entre les années 1930 et 1970. En effet, si nous tenons compte du taux de boisement de 1835, que nous considérons comme un minimum en dessous duquel on n'est probablement pas descendu (17 %), et que nous lui ajoutons les surfaces de reboisement du RTM, quasiment en place en 1928 (Mougin, 1931), nous obtenons un taux de boisement de 33 % en 1928. Or en 1970, il était de 55 %. Ainsi, la modification du couvert végétal du haut bassin s'est déroulée, pour l'essentiel, en deux temps : une phase programmée, celle du RTM à la fin du XIXe siècle et au début du XXe, et une phase plus spontanée en relation avec la très forte déprise agricole et non rurale, devenue déterminante dans les années 1945-50. Il est ainsi possible d'enregistrer une forte réduction des apports solides à la suite de changements affectant le couvert végétal du bassin versant, sans qu'intervienne de manière prépondérante la question de la fin du Petit Âge Glaciaire dont les conséquences morphologiques sont encore floues et susceptibles de varier latitudinalement.

Le contexte géomorphologique de ce tronçon explique en outre que des apports de charge de fond sont encore observés, alors que le reste du bassin versant n'exporte plus

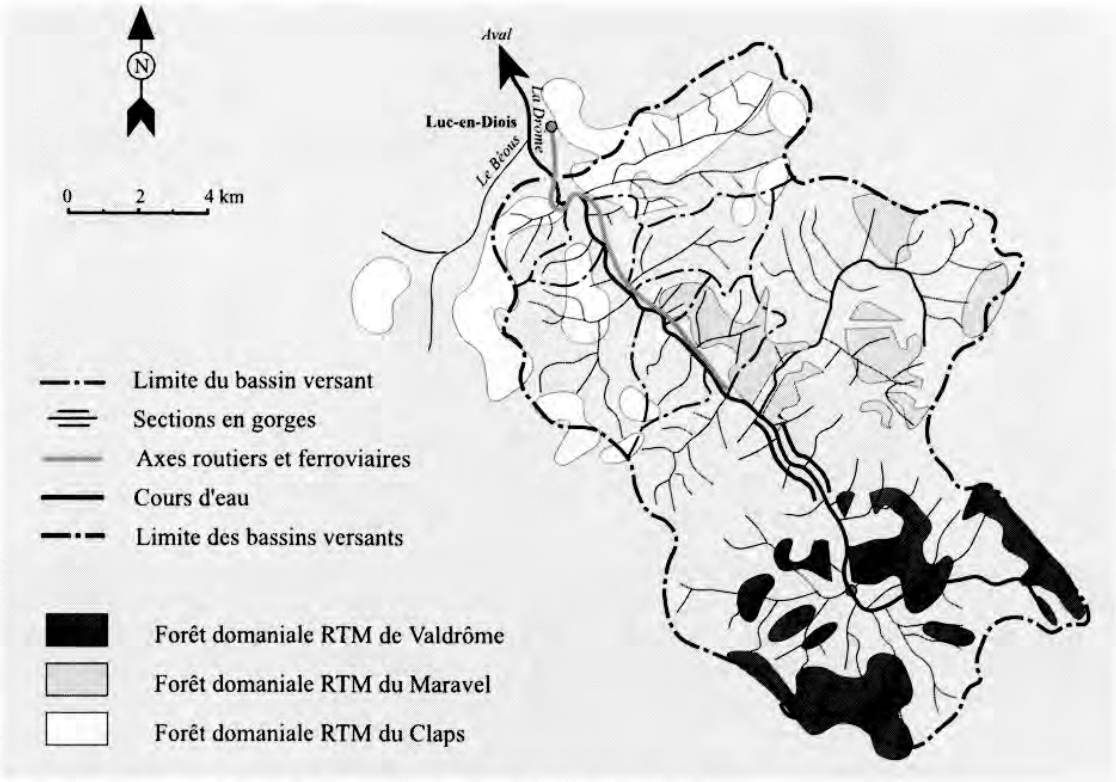

Figure 7 : Localisation des principaux périmètres RTM du haut bassin de la Drôme

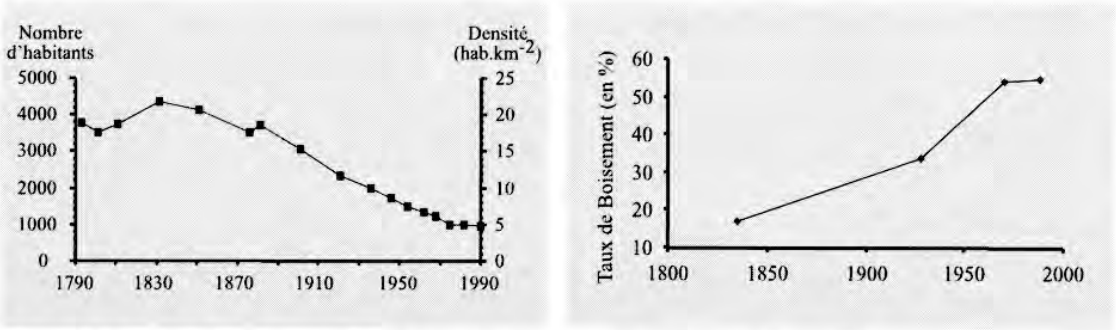

Figure 8 : Évolution de la population de 1793 à 1990 [a] et du taux de boisement de 1835 à 1988 [b]

que de faibles quantités de sédiments. D'une part, la nature géologique du bassin versant à dominante marno-calcaire et calcaro-marneuse et l'importance des formations superficielles composées de matériaux meubles, souvent instables, produits par l'érosion (éboulis et éluvions) sont favorables à la recharge en matériaux. D'autre part, le réseau hydrographique draine des vallées étroites aux versants pentus ; le système fluvial est ainsi étroitement connecté aux sources sédimentaires. On notera en particulier, à l'amont du confluent Maravel-Drôme, un tronçon de 4 km sur la Drôme s'étirant dans des gorges dont le versant en rive gauche est particulièrement instable. Alimentant directement le lit de la Drôme, les matériaux ont été bloqués dans leur transit par un éboulement survenu en 1932 à l'amont du Maravel (Masseport, 1960). De même, la réactivation depuis 1994 de certains glissements de terrain sur le bassin versant de ce dernier explique l'importance des matériaux en transit actuellement.

Conclusions

Les documents historiques nous ont permis de constater que les apports de sédiments dans la plaine du Grand Lac de Luc-en-Diois ont considérablement évolué depuis 1442. Même si le transport de charge solide reste actif comparé aux autres secteurs du bassin versant de la Drôme (Landon, 1999), nous avons pu mettre en évidence le passage d'une période extrêmement favorable à la production sédimentaire (Petit-Âge-Glaciaire, surexploitation des pentes du fait d'une forte pression agricole) à une période plutôt calme.

L'originalité des présents résultats tient au fait qu'ils tendent à démontrer que le rôle de l'homme semble prépondérant par rapport au changement climatique intervenu après la seconde moitié du XIXe siècle pour expliquer les changements fluviaux enregistrés :

1. Le percement du tunnel du saut de la Drôme (1839) est le principal facteur expliquant la forte réduction des dépôts sédimentaires dans la plaine du Grand Lac à l'époque contemporaine.

2. Le ralentissement de l'exhaussement affectant le lit de la Drôme au cours de la seconde moitié du XXe siècle peut être chronologiquement associé, compte tenu de la faible résilience du système, à l'accélération du reboisement après 1950, celle-ci s'expliquant par la poursuite de la déprise rurale (Fig. 8b) et par une mutation des pratiques agricoles favorisant les cultures intensives de plaine.

L'analyse des documents d'archives permet de mettre en lumière des changements affectant le système fluvial et le bassin versant. En exploitant de manière étroite et simultanée les sources écrites et les documents topométriques et cartographiques et en les enrichissant de mesures complémentaires, il est possible de caler chronologiquement les changements observés et d'établir des relations étroites entre ces changements et leurs causes. Deux conditions élémentaires doivent néanmoins être remplies : disposer d'un grand nombre de sources, choisir un secteur localisé à l'amont du bassin versant où les causes potentielles de changement sont moins nombreuses et le temps de réponse du système fluvial (aux changements affectant le bassin versant) est plus court.

Bibliographie

BRAGA G., GERVASONI S., 1989. – « Evolution of the Po river : an example of the application of historic maps », In : Historial Change of Large Alluvial Rivers : Western Europe, J. Wiley and Sons, 127-143.

BRAVARD J.-P., 1989. – « La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Age et à l'époque moderne ». *Bull. de la Soc. Géog. de Liège*, 25 : 145-157.

BRAVARD J.-P., 1991. – « La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux : quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières ? ». *La Houille Blanche*, 7-8 : 515-521.

DAUMAS J.-C., LAUDET R., 1986. – « Préhistoire et protohistoire du Diois ». *Revue Drômoise*, LXXXV : 1-9.

DELACROIX M., 1835. – « Statistique du département de la Drôme », Imprimerie Borel, Nouvelle édition par les Editions de la Tour Gile, 696 p.

DESAYE H., 1986. – « Les voies de communication entre la combe de Die et le sillon alpin dans l'Antiquité et au Moyen Age ». *Revue Les Etudes Drômoises*, Ed. Association Universitaire des Etudes Drômoises, n° 3 : 35-40.

DDE, 1953. – « Plaine du Grand Lac - Documents topographiques ». *Rapport, cartes et plans.*

FROMENT L., 1973. – « Le Claps et l'ancien Lac de Luc-en-Diois », Imprimerie A. Robert (Marseille), 42 p.

GARDELLE C., 1980. – « La ligne du Diois ou les variations du destin ». *Revue Drômoise, Archéologie, Histoire, Géographie*, Tome LXXXIII : 211-223.

GROVE J.M., 1988. – « The little ice age », Ed. Methuen, London, 498 p.

HOOKE J.M., REDMOND C.E., 1989. – « Use of cartographic sources for analysing river channel change with examples from Britain », In : Historial change of large alluvial rivers : Western Europe, J. Wiley and Sons, chap. 5 : 79-93.

LANDON N., 1999. – « L'évolution contemporaine du profil en long des affluents du Rhône moyen - Constat régional et analyse d'un hydrosystème complexe, la Drôme ». Doctorat de Géographie et d'Aménagement du Territoire, Université Paris 4 - Sorbonne, 2 vol., 734 p.

LANDON N., PIÉGAY H., 1997. – « Un corpus de données géoréférencées pour la gestion du compartiment physique des hydrosystèmes fluviaux : l'exemple de la Drôme », In : Actes du Colloque Théo Quant (1997), Besançon : 35-43.

LANDON N., PIEGAY H., BRAVARD J.-P., 1998. – « The Drôme river incision (France) : from assessment to management ». *Landscape and Urban Planning*, 43 : 119-131.

LAPOINTE L., MEYER G., 1994. – « Topographie appliquée aux travaux publics, batiments et levers urbains », ed. Eyrolles, 270 p.

LIEBAULT F., CLEMENT P., PIEGAY H., LANDON N., 1999. – « Assessment of bedload supply potentiality from the tributary watersheds of a degraded river : the Drôme (France) ». *Arctic and Alpine Research*, vol. 31, n° 1, 12 p.

MASSEPORT J., 1960. – « Le Diois, les Baronnies et leur avant-pays rhodanien - Etude morphologique », Ministère de l'Ed. Nat. et C.N.R.S, Université de Grenoble, Imp. Allier-Grenoble, 478 p.

MIRAMONT C., GUILBERT X., 1997. – « Variations historiques de la fréquence des crues et évolution de la morphogenèse fluviale en moyenne Durance (France du sud-est) ». *Géomorphologie*, 4 : 325-339.

MOUGIN P., 1931. – « La restauration des Alpes », *Rapport pour le compte du Ministère de l'Agriculture, Direction Générale des Eaux et Forêts, Imprimerie Nationale*, Paris, 584 p.

PARDE M., 1925. – « Le régime du Rhône, étude hydrologique - Etude Générale ». Université de Lyon, Institut des Etudes Rhodaniennes, Vol. 1 : 883 p.

PEIRY J.L., 1989. – « L'utilisation du cadastre sarde de 1730 pour l'étude des rivières savoyardes : l'exemple de la vallée de l'Arve (Haute-Savoie) ». *Revue de Géographie de Lyon*, 64(4) : 197-203.

PIEGAY H., LANDON N., BRAVARD J.P., CLEMENT P., LIEBAULT F., 1997. – « Channel incision and potentiality of reversibility : the Drome river case, France. » In : Management of landscapes disturbed by channel incision : 1-6, Center for Computational Hydroscience and Engineering, University of Mississippi, Oxford, Mississippi.