

Les conditions climatiques de la torrentialité au cours du Petit Age Glaciaire de Provence

O. SIVAN*, C. MIRAMONT**, G. PICHARD***, V. PROSPER LAGET****

L'objectif de cet article est de caractériser les conditions climatiques de la torrentialité au Petit Age Glaciaire en Provence. L'étude s'appuie sur des chroniques de crues et de débordements des torrents sud-alpins (vallée de l'Ubaye en particulier) et sur les mesures instrumentales des précipitations à Marseille. Plusieurs périodes caractérisées par des crues fréquentes dans l'hydrosystème durancien (1550-1590, 1680-1700, 1750-1800, 1830-1900) succèdent à des périodes d'accalmie relative (1660-1680, 1710-1740, 1800-1830). Ce travail montre (1) que les cours d'eau, selon leur rang, ne connaissent pas les mêmes régimes de crue, témoignant ainsi de forçages météorologiques différents, (2) que la fréquence élevée des crues durant le Petit Age Glaciaire n'est pas liée à une augmentation globale des totaux pluviométriques mais à une variabilité accrue des précipitations interannuelles, les périodes de crues plus fréquentes coïncidant avec des séries d'années pluvieuses (1750-1800, 1830-1860) et les périodes de raréfaction des crues avec des séries d'années sèches (1800-1830). Enfin, le croisement de ces données avec d'autres indicateurs paléoclimatiques comme les séries de cernes de croissance des mélèzes de montagne offre des perspectives pour caractériser les nuances régionales du climat provençal à l'échelle des temps historiques.

In

Mots-clés : Petit Age Glaciaire, archives, torrentialité, crues, précipitations, climat, Marseille, Alpes-du-Sud

Key words :

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Le Petit Age Glaciaire est généralement considéré comme une période de dégradation climatique caractérisée par une recrudescence du froid et de l'humidité (Le Roy Ladurie 1983). Si les variations thermiques sont aujourd'hui assez bien connues et modélisées à l'échelle des temps historiques (GIEC

2001), les variations des précipitations sont encore peu étudiées alors même qu'elles constituent le moteur principal de l'évolution des paysages fluviaux. Les travaux du GIEC (2007), qui abordent le sujet sur la base d'un *corpus* de données limité au XX^e siècle, proposent l'existence d'un assèchement associé au réchauffement récent et la probable augmentation de la fréquence des

* Institut National de Recherches Archéologiques Préventives / CEPAM CNRS UMR 6130. INRAP, 24 avenue de la Grande Bégude, Immeuble le Mozart, 13770 Venelles. Courriel : olivier.sivan@inrap.fr

** Université Aix-Marseille 1, IMEP CNRS UMR 6116, Bâtiment Villemin, Europôle de l'Arbois - BP 80, F-13545 Aix-en-Provence cedex 04. Courriel : cecile.miramont@univ-provence.fr

*** Georges Pichard, 11 avenue du Parc Borely, 13008 Marseille.

**** Université Aix-Marseille 1, UMR ESPACE site aixois, 29 av. Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence. Courriel : valerie.laget@univ-provence.fr

événements hydrologiques extrêmes en région méditerranéenne dans un avenir proche. Ces résultats, dont les experts du GIEC eux mêmes s'accordent à dire qu'ils souffrent encore de nombreuses incertitudes, pourraient trouver une résonance particulière dans des enregistrements hydrologiques et paléoclimatiques plus anciens.

Les données couvrant la période du Petit Age Glaciaire du sud-est de la France s'avèrent, à ce sujet, particulièrement abondantes. De nombreux travaux réalisés sur les organismes fluviaux ont mis en évidence des changements importants dans la morphologie fluviale et dans l'intensité des flux hydro-sédimentaires lors de cette période (Bravard et Peiry 1993, Bravard 1989, Arnaud Fasseta 1998, Gautier 1992, Miramont 1998, Miramont et Guilbert 1997, Miramont *et al.*, 1998, Sivan 1998, Sivan 2000 ; Provansal *et al.*, 2003 ; Maillot *et al.*, 2006). Dans l'ensemble, ces travaux montrent, d'une part, que les précipitations ont une responsabilité essentielle dans l'apparition des changements hydrologiques qui ont affecté les paysages fluviaux au cours des derniers siècles et, d'autre part, que les modifications incessantes des paysages fluviaux ont un impact direct sur les modes de vie des sociétés rurales (apparition/disparition de terroirs). C'est en particulier le cas dans les régions de montagne où les fortes contraintes naturelles (vallées étroites, crues dévastatrices, engravements...) obligent les hommes à de continuelles et contraignantes adaptations. Dans quelques cas extrêmes, les populations montagnardes n'ont trouvé leur salut que dans un abandon définitif de leurs terres et une migration vers des lieux plus cléments. Par exemple, dans les cinq années qui suivirent les débordements du printemps 1856 dans la vallée de l'Ubaye (fig.1), 62 demandes de passeport (dont 38 pour les agriculteurs) ont été enregistrées pour un exode vers le Mexique et la Nouvelle Orléans. Avec cette récurrence de crues et de débordements du Petit Age Glaciaire les hommes ne subissent peut-être que les conséquences de leurs propres pratiques agro-pastorales. Les auteurs établissent volontiers un lien de cause à effet entre l'élévation du nombre d'événements catastrophiques (inondations, engravements...) et l'exploitation massive des pentes (déforestation) lors du maximum d'occupation rurale (Demontzey, 1882, 1894 ; Surell, 1941 ; Fourchy, 1944 ; Pichard, 2001). Quelle que soit l'implication des hommes dans ces événements, la dépendance des crues avec les pluies reste une évidence. La question se pose donc des conditions climatiques (pluviométriques) responsables de la récurrence de la torrencialité et des crues pendant le Petit Age Glaciaire. Cette période serait-elle globalement plus humide ? Peut-on établir une périodisation au sein de cette dégradation climatique ? La quantité d'eau est-elle le seul moteur de l'activité hydrosédimentaire ?

Nous tenterons de répondre à ces questions en reconstituant l'histoire de l'activité hydrologique de la vallée de l'Ubaye à partir du recensement des événements exceptionnels, crues, débordements, engravements, laves torrentielles mentionnés dans les

sources écrites (archives municipales, départementales, archives des eaux et forêts, du service RTM de l'ONF, délibérations municipales, bulletin de la société scientifique et littéraire des Basses-Alpes...). Ces données sont ensuite comparées à celles obtenues pour l'ensemble du réseau hydrographique durancien. Les signatures climatiques de ces fluctuations hydrologiques sont discutées à l'aide d'enregistrements instrumentaux des précipitations à Marseille.

Les débordements en montagne au cours du Petit Age Glaciaire : le cas de la vallée de l'Ubaye

Localisation du secteur d'étude et présentation des données

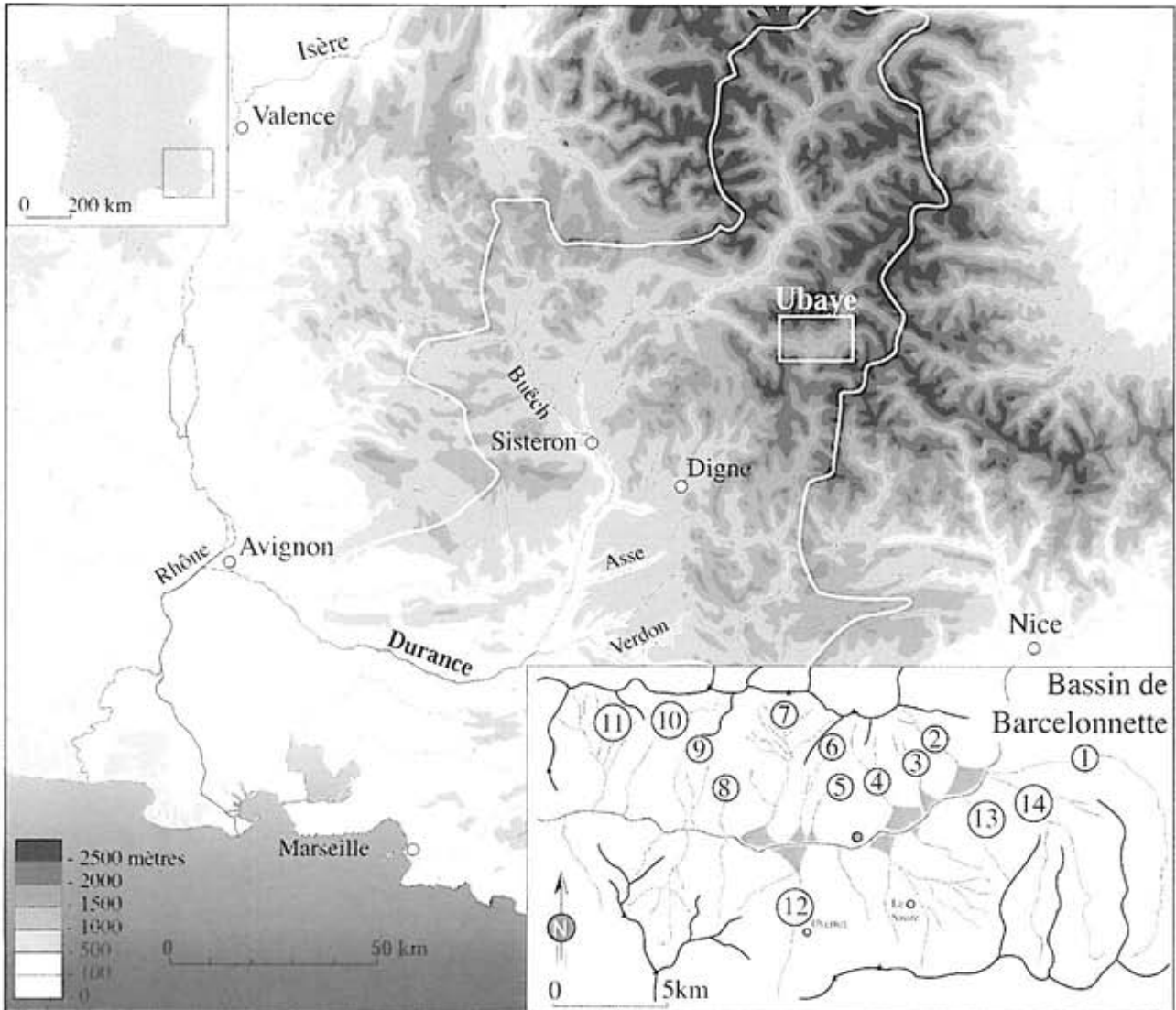
Située dans le Sud-Est de la France et plus précisément dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la vallée intra-alpine de l'Ubaye se trouve confinée dans la partie la plus septentrionale du département des Alpes-de-Haute-Provence (fig.1).

Bordée de l'Embrunais au Nord-Ouest et du Queyras au Nord-Est, elle s'étend sur près de 80 kilomètres entre la frontière italienne à l'Est, et le lac de Serre-Ponçon à l'Ouest. Ses limites Sud sont matérialisées par les cols de Restefond, de la Cayolle et d'Allos, donnant accès respectivement aux vallées de la Tinée, du Haut Var et du Haut Verdon.

Au cœur de cette unité géographique s'individualise le bassin de Barcelonnette au sein duquel se développent la rivière d'Ubaye et quelques uns des plus grands torrents de la vallée dont les bassins versants s'ouvrent dans les marnes noires jurassiques autochtones et les séries sédimentaires du flysch à helminthoïde.

De type méditerranéen à tendance continentale, le climat ubayen se caractérise par deux saisons humides, le printemps et l'automne, et deux saisons plus sèches, l'hiver et l'été. La chaleur et la sécheresse des étés sont renforcées, dans la cuvette de Barcelonnette, par une position d'abri : la chaîne des trois Évêchés fait barrière aux vents d'ouest et la moitié orientale du massif de Restefond bloque les masses d'air chaud et humide instables en provenance de la Méditerranée. Dans ce contexte, la vallée reçoit un volume annuel de précipitations de 700 mm. Si le rythme saisonnier des pluies d'une année sur l'autre n'évolue pas, les totaux annuels peuvent quant à eux varier du simple au quadruple : 228 mm seulement pour l'année 1921, alors que cinq ans après, en 1926, il est tombé 1175 mm d'eau.

La chronique des crues des torrents de l'Ubaye repose sur le dépouillement des délibérations municipales des communes de Barcelonnette (Mairie de Barcelonnette) et de Jausiers (Archives départementales de Digne), les ouvrages à objectif scientifique écrits par des valléens comme Coste (1932) et Arnaud (1895), les éphémérides du « Bulletin de la Société Scientifique et Littéraire des Basses-Alpes » et les inventaires et documents iconographiques du service de Restauration des Terrains de Montagne de Barcelonnette (Sivan, 1998,



1 : T. d'Abriès. 2 : T. des Sanières. 3 : T. du Bourget. 4 : T. de Faucon. 5 : T. de la Valette. 6 : T. de St. Pons. 7 : Riou Bourdoux. 8 : T. de la Bérarde. 9 : T. des Thuiles. 10 : T. de Rioclar. 11 : T. de l'Abéous. 12 : T. du Bachelard. 13 : T. de Poche. 14 : T. de Clapouse.

Fig. 1 : Localisation du secteur d'étude

2000). Ces témoignages d'archives ont permis d'établir des chronologies de crues depuis le début du XVII^e siècle (fig. 2). L'ampleur des fluctuations présentées dans les histogrammes de crues, est fortement influencée par les conditions de conservation des archives et par l'intérêt changeant que portaient les populations aux manifestations hydrosédimentaires. Plusieurs incendies détruisirent une partie de la ville de Barcelonnette (1628, 1740, 1761) et avec elle un nombre non négligeable de documents écrits (registres des délibérations municipales). Par la suite, les mentions de débordements augmentent inévitablement à partir de 1850 à la suite de l'instauration des politiques de reboisements et d'entretien des terrains de montagne. Elles diminuent avec la déprise agricole de la fin du XIX^e début du XX^e siècle et augmentent à nouveau lorsque les services forestiers vont réinvestir, après guerre, les zones de

montagne. Dès lors, la lecture et les interprétations des histogrammes doivent tenir compte de ces limites et rester particulièrement prudentes. Une période riche de nombreuses mentions de crues n'est validée que si les autres organismes duranciens enregistrent un signal identique.

Histoire hydrosédimentaire des cours d'eau ubayens

La rivière d'Ubaye

À l'échelle pluridécennale, trois principales périodes apparaissent plus favorables aux débordements de l'Ubaye : 1610-1660, 1830-1870 et 1950-1980.

Le pic de la décennie 1840-1850 correspond avant tout à la crue généralisée de l'automne 1843. Les conséquences des précipitations des 1 et 2 novembre avaient alors été amplifiées par une soudaine fonte des neiges.

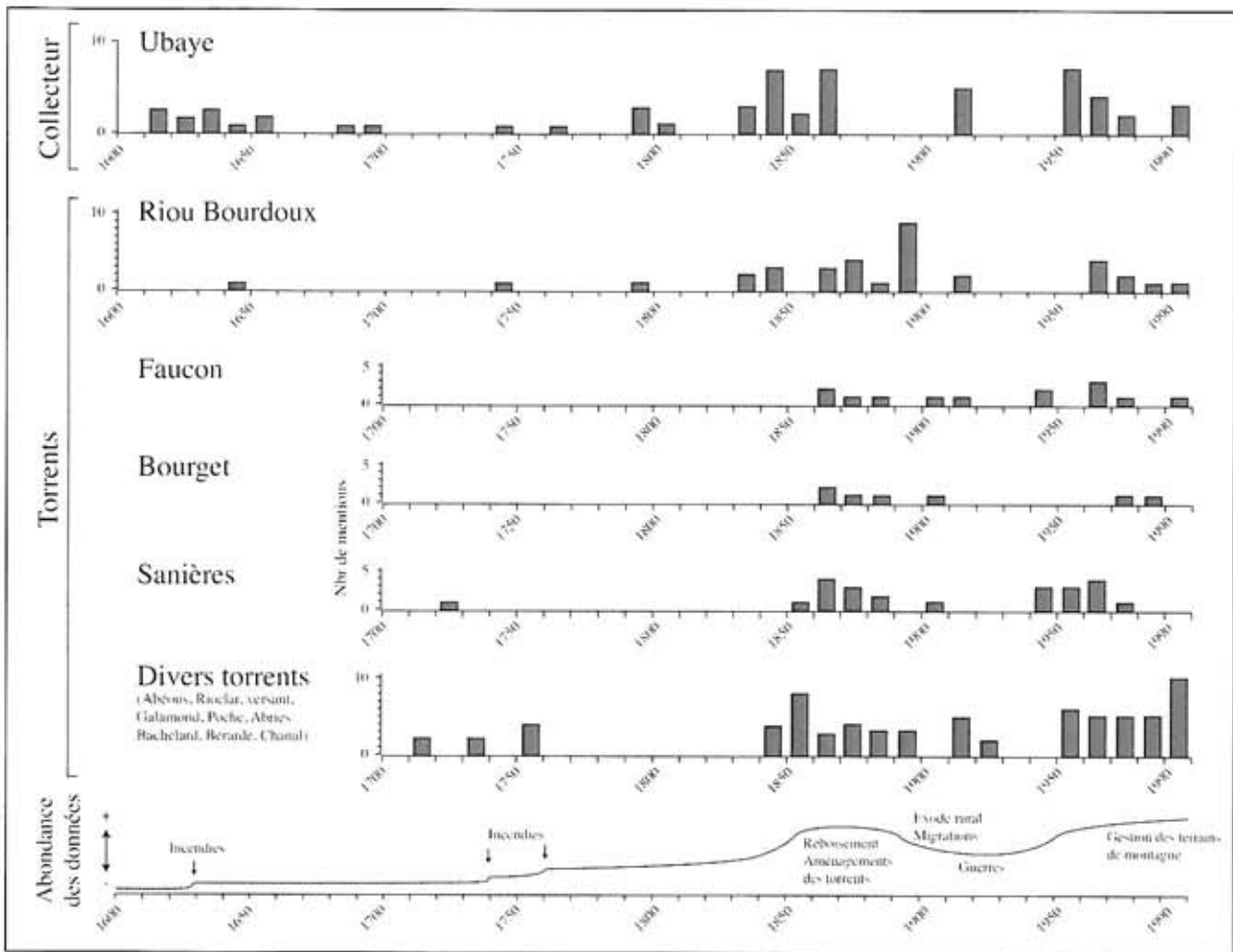


Fig. 2 : Chronologies des crues et des débordements dans la vallée de l'Ubaye

La décennie 1860-1870 est marquée par les deux épisodes de débordements généralisés de l'année 1868, le 17 août et les 2-3 octobre. Les causes semblent liées à la recrudescence des orages d'été (les sources écrites parlent du « *trop célèbre été de 1868* ») et à des pluies globalement abondantes.

Les crues estivales de la période 1910-1920 (06/07/1910 ; 13/08/1914 ; 15/06/1915) sont dues, selon les sources écrites, à de violents épisodes orageux.

Le pic des années cinquante correspond à un seul épisode particulièrement violent connu dans la vallée de l'Ubaye sous l'appellation "inondations de juin 1957". Dans ce cas, une importante fonte des neiges printanière a amplifié les conséquences des pluies.

De 1990 à 1998, seules des précipitations d'automne ou de printemps ont entraîné des débordements de l'Ubaye.

Ces observations mettent en évidence, dans la rivière principale de la vallée, l'existence de débordements d'automne et de printemps dus à d'importants épisodes pluvieux parfois renforcés par une fonte des neiges, et de débordements d'été, nettement plus rares, provoqués par des situations orageuses.

Les torrents

Si l'on occulte les trop rares données obtenues pour le XVIII^e siècle dues aux incendies des archives et à la perte de registres, trois périodes distinctes apparaissent dans les histogrammes de crues des torrents (fig. 1) :

La première, de 1840 à 1920, se caractérise par une fréquence et un nombre important de mentions de crues et ceci dans tous les principaux torrents ubayens.

La deuxième, de 1920 à 1950 se distingue par une franche diminution du nombre d'observations et même une absence totale pour la décennie 1930-1940.

Enfin, de 1950 à 1990, la troisième période semble connaître une recrudescence des manifestations torrentielles.

La comparaison par décades des histogrammes confirme naturellement les grandes tendances précédentes, mais révèle, en leur sein, le fonctionnement propre de chaque torrent. S'il n'est pas rare que plusieurs torrents débordent en même temps, il arrive aussi qu'un seul organisme fonctionne indépendamment des autres. Dans certains cas extrêmes, comme au cours de la décennie 1890-1900, une forte activité du Riou Bourdoux avec un débordement par an correspond à une activité particulièrement réduite des autres organismes.

Tout en fonctionnant de manière autonome sous le contrôle de phénomènes localisés de nature météorologique comme les orages, les manifestations torrentielles connaissent, toutefois, des variations par périodes d'une cinquantaine d'années qui semblent synchrones entre bassins et qui répondent, vraisemblablement, à des fluctuations climatiques d'influence régionale ou extra-régionale.

L'apport des sources écrites à la connaissance des conditions climatiques favorables à la torrentialité.

L'évolution des moyennes pluviométriques mensuelles relevées à Barcelonnette montre une nette augmentation des valeurs depuis le milieu du XIX^e siècle (fig. 3). Ces courbes de précipitations sont fondées sur les seules données disponibles en archive. Dès lors, les périodes prises en compte pour le calcul des moyennes sont relativement courtes et les erreurs induites par l'utilisation probable de différents appareils de mesure ne peuvent être quantifiées. Ces données seront toutefois intégrées à la discussion car elles sont en accord avec les mesures plus robustes des observatoires météorologiques marseillais (cf. *infra*). Retenons que l'augmentation des moyennes mensuelles ubayennes depuis le milieu du XIX^e s'accompagne d'une raréfaction des manifestations torrentielles.

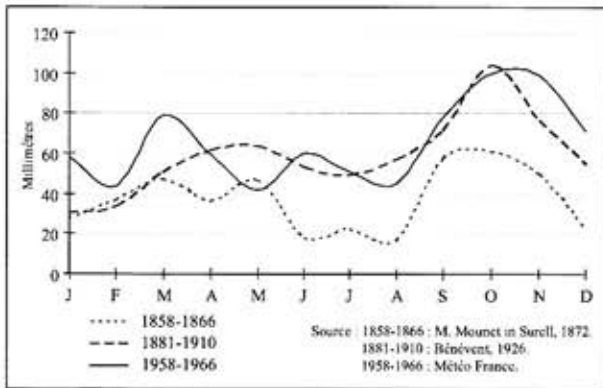


Fig. 3 : Evolution du régime des précipitations à Barcelonnette entre 1858-1866 et 1958-1966. Moyennes mensuelles en millimètres

Pour ce qui est de la répartition saisonnière des crues, celles de l'Ubaye se produisent préférentiellement à la fin du printemps et en automne au cours de longues périodes pluvieuses ; ces précipitations peuvent être accrues par une fonte des neiges soudaine (fig.4). Principalement printanière, la fusion peut aussi se manifester en automne à la suite de précipitations nivales précoces donc particulièrement sensibles aux phénomènes de redoux.

Les débordements torrentiels, quant à eux, apparaissent essentiellement en période estivale, lors des mois de juillet et août (fig. 4 et fig. 5). Dès lors, la torrentialité dans les petits organismes apparaît comme un phénomène paradoxal qui, tout en relevant de fortes précipitations, apparaît préférentiellement lors de la

saison sèche estivale et s'épanouit pleinement à la fin du Petit Age Glaciaire lorsque les totaux pluviométriques sont inférieurs à ceux d'aujourd'hui. Les crises de torrentialité recensées depuis le début du XVIII^e siècle ne traduisent donc pas un accroissement global du volume des précipitations, mais plutôt une modification de leur régime et de leur intensité à relier sans doute, pour partie, à une augmentation de la fréquence des épisodes orageux estivaux survenus lors d'une période où la couverture forestière était amplement dégradée par une pression démographique alors à son apogée (fig. 6). La dégradation ou l'absence quasi-totale d'un couvert forestier sur certains versants était considérée, par les auteurs (Fourchy 1944, Demontzey 1894, Surell 1841), comme la principale cause de la recrudescence des manifestations torrentielles. Ce constat servira d'ailleurs de fondement aux travaux de restauration des terrains de montagne qui, dès 1864, permirent le reboisement de grandes superficies (2500 hectares entre 1864 et 1914) et l'aménagement du lit des torrents (seuils, barrages...). Quelle que soit son importance, le facteur anthropique reste cependant difficilement quantifiable.

Même si les effets des manifestations orageuses actuelles sont tempérés par les reboisements et les barrages édifiés à la fin du XIX^e et pendant le XX^e siècle, il arrive, comme cela a été le cas récemment lors de la canicule de 2003, que les torrents fassent encore de nombreux dégâts lors de la période estivale (Remaître *et al.* 2004). Le 5 août 2003 une lave survenue dans le torrent de Faucon a emporté un pont, des barrages, coupé la départementale D900, envahi le domaine du Bérard et pénétré dans plusieurs maisons pour y laisser plus d'un mètre de sédiments (fig. 7).

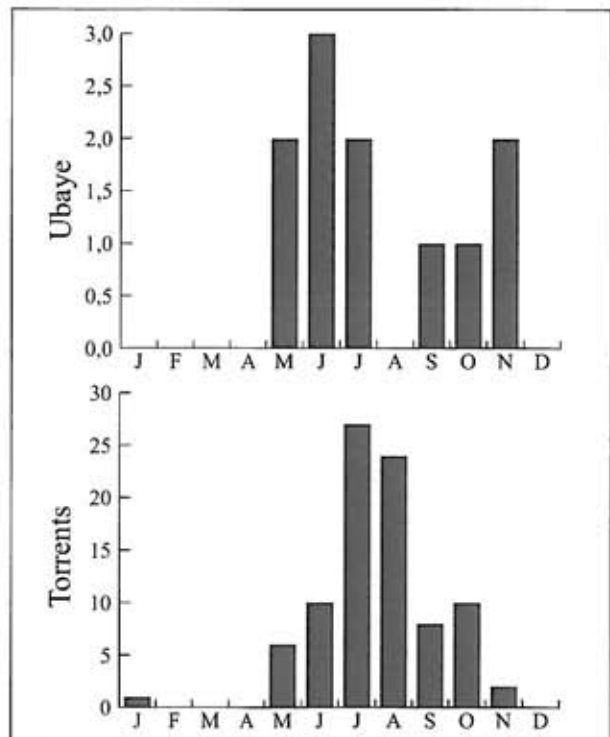


Fig. 4 : Répartition saisonnière des crues et débordements de l'Ubaye et des torrents ubayens

« Le ciel éclatant et limpide des Alpes d'Embrun, de Barcelonnette et de Digne se maintient durant des mois entiers pur du moindre nuage, et engendre des sécheresses dont la longue durée n'est interrompue que par des orages pareils à ceux des tropiques ».

Propos de l'économiste Blanqui (1846), adressé à l'Académie des Sciences qui l'avait chargé d'étudier la situation des Alpes françaises.

« Climat excessif et sec, orages fréquents et violents et neiges abondantes susceptibles de fusion soudaine. » (Demontzey, 1894).

« Presque tous les jours, depuis le 8 jusqu'au 20 août, le ciel, serein pendant la matinée, se chargeait brusquement de nuages l'après-midi, et l'orage éclatait avec une incroyable violence, se déchainant sur un point quelconque de la vallée, sans que le plus souvent il tombât une goutte d'eau sur d'autres points assez rapprochés. Ces orages suivaient toujours les lignes de crêtes, étaient accompagnés de grêle dans les régions supérieures, et c'est sur les parties les plus élevées qu'il tombait le plus d'eau, comme l'ont démontré les nombreuses expériences faites dans les bassins de réception des différents torrents ». « Dès midi, les nuages commencent à se montrer à l'horizon ; ils s'amoncellent rapidement dans la partie haute de la vallée entre Jausiers et la Condamine. Cependant la chaleur est accablante et pas un souffle de vent n'agite l'air. Vers deux heures, les nuages deviennent plus épais et prennent une teinte d'un noir jaunâtre caractéristique... aussitôt l'orage éclate avec furie ; les éclairs sillonnent le ciel, le tonnerre gronde et le vent s'élève, entraînant avec lui l'orage qui vient s'abattre au-dessus de Faucon... Il est trois heures, et, tandis que le ciel reste serein vers le sud, tout semble indiquer que la pluie tombe avec une extrême violence dans la montagne. A trois heures et demie, tout est fini. »

« il éclata à la fois sur les deux bassins du Bourget et de Faucon. Dans l'un et l'autre la pluie dura vingt-cinq minutes. Il tomba 42 millimètres d'eau dans la région supérieure et 12 millimètres dans la région inférieure. Le torrent de Faucon fut aussitôt rempli d'un amas considérable de laves d'un volume évalué à 234 000 mètres cubes, dont 169 000 de matériaux et 65 000 d'eau. Cette masse de matériel mis une heure à s'écouler. Dans le torrent du Bourget, qui seul avait été jusque-là l'objet de travaux de correction et de reboisement, on constata une simple crue d'eau légèrement trouble qui atteignit, sur l'échelle limnimétrique du barrage repère, une hauteur de 45 centimètres et dura environ quatre heures. »

Note de M. Schlumberger, garde général des forêts, sur la lave descendue, le 13 août 1876, dans le torrent de Faucon (Demontzey, 1882).

Fig. 5 : Les conditions climatiques de la torrentialité d'après quelques témoignages écrits.

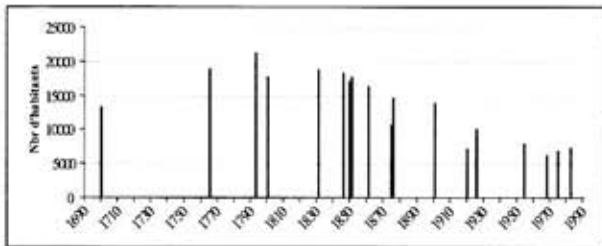


Fig. 6 : Evolution de la population de la vallée de l'Ubaye depuis le XVIII^e siècle



Clicic - O. Sivon

Fig. 7 : Lave torrentielle survenue le 5 août 2003 dans le torrent de Faucon (vallée de l'Ubaye).

De l'Ubaye à la Provence : les données hydrologiques et pluviométriques régionales

Les données disponibles

L'exploitation des documents d'archives a fourni de nombreuses données qui permettent de documenter la période du Petit Age Glaciaire à une échelle spatio-temporelle plus vaste, celle de la Provence (Pichard 1999, ce volume). Deux types de sources historiques sont disponibles : d'une part des chroniques de crues et de débordements des rivières et d'autre part des mesures instrumentales de la pluviométrie.

Afin de replacer les débordements des rivières et torrents de l'Ubaye dans un contexte régional plus vaste, nous utiliserons les chroniques des débordements de la Durance et de ses affluents élaborées par Mougin (1931) et Pichard (1999).

L'importante activité hydro-sédimentaire qui caractérise les rivières durant le Petit Age Glaciaire se distingue clairement dans les chroniques des débordements de la Durance et des torrents alpins. Ainsi la chronologie des crues dans le bassin durancien peut être scindée en plusieurs phases (fig. 8). Après une période de calme hydrologique apparent (Miramont *et al.* 1998), des épisodes de crue fréquents apparaissent dans les années 1340-1410. Alors que la période 1410-1550 ne connaît que de rares épisodes de crue, la période 1550-1590 apparaît comme une période de crise hydrologique qui marque le réveil incontestable des cours d'eau méditerranéens et l'entrée dans la dégradation du Petit Age Glaciaire *s.s.* Les crues et débordements sont récurrents jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Au sein de cette période de crise hydro-sédimentaire, la fin du XVII^e siècle et les premières années du XVIII^e siècle connaissent des crues dont l'ampleur et l'intensité ont valeur de maxima historiques.

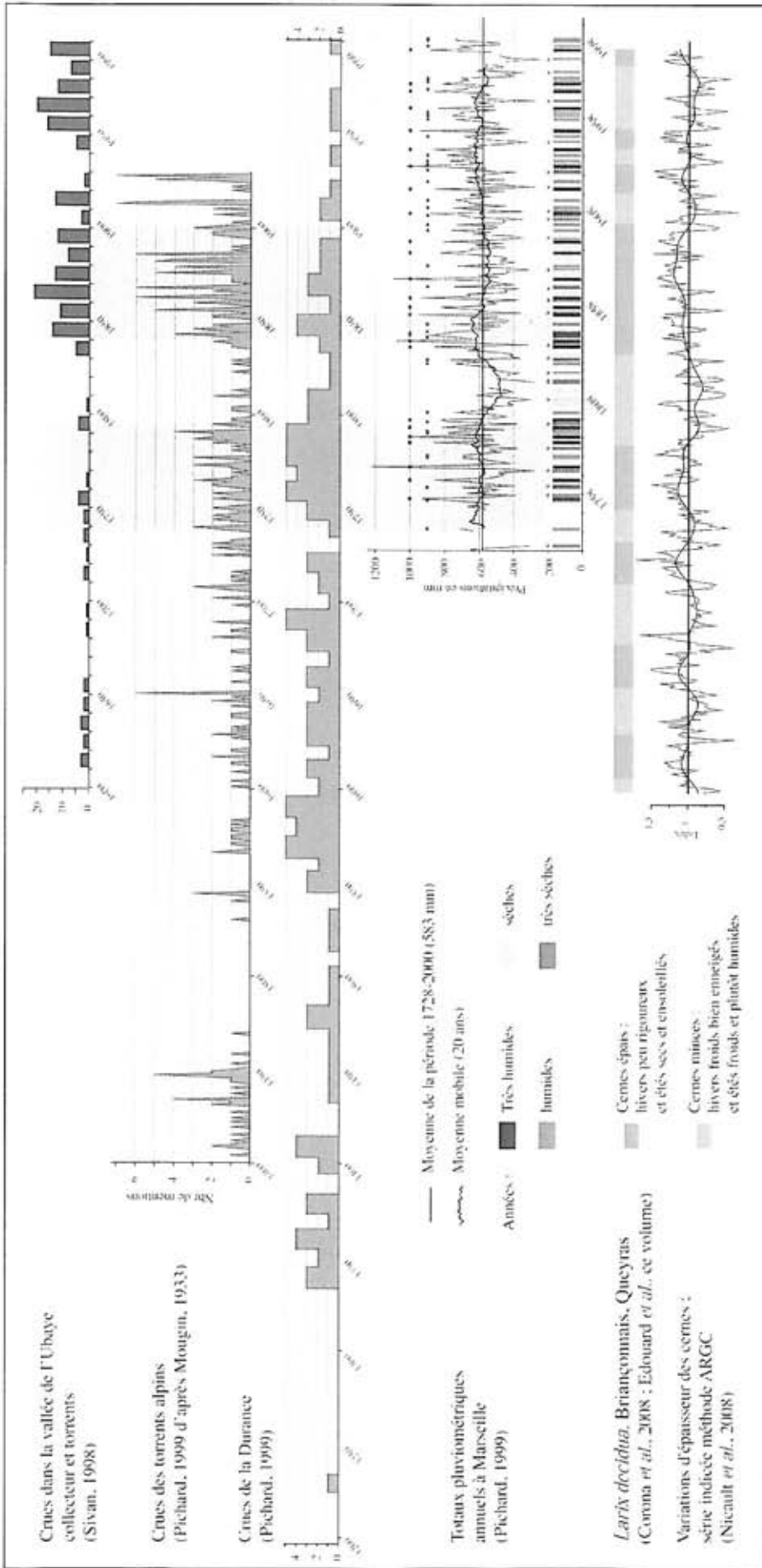


Fig. 8 : Chronologies de crues dans le bassin durancien et indicateurs paléoclimatiques

Après une brève accalmie entre les années 1730 et 1745, la fin du XVIII^e siècle connaît à nouveau des crues dévastatrices. Les années 1800-1840 connaissent un apaisement relatif des débordements et précèdent la dernière période de débordements importants de la fin du XIX^e siècle. Le XX^e siècle n'enregistre plus que de rares épisodes de débordements.

Les variations de fréquence et d'intensité des épisodes hydro-sédimentaires se sont traduites dans les rivières par des changements dans la morphologie fluviale des cours d'eau. Les cartes anciennes (XVIII^e et XIX^e siècles) montrent clairement que les grandes rivières comme la Durance et le Buëch étaient caractérisées par un style fluvial en tresses marqué par des lits fluviaux très larges, peu végétalisés, aux chenaux multiples et mobiles, séparant de nombreuses îles et attestant de la tendance à l'aggradation sédimentaire (Gautier 1992 ; Miramont 1998 ; Miramont *et al.* 1998). Ce style fluvial en tresses disparaît progressivement au cours du XX^e siècle sous l'effet de la raréfaction des crues, puis dans le cas de la Durance, sous l'effet des aménagements construits à partir des années soixante.

L'évolution de la fréquence des crues de l'Ubaye et de ses torrents affluents s'inscrit parfaitement dans ce schéma régional (fig. 8). La période d'accalmie relative des années 1800-1840 est reconnue à la fois en Ubaye, dans la Durance et dans les torrents alpins. La récurrence de la torrentialité lors de la seconde partie du XIX^e siècle se marque conjointement dans les chroniques ubayenne, durancienne et dans celles des torrents. Les débordements se raréfient partout à partir du début du XX^e siècle. Seul le dernier pic de torrentialité enregistré en Ubaye n'apparaît pas dans les autres chroniques ; il reflète avant tout la sur-abondance de la documentation plus que des phénomènes de débordements accrus.

Les mesures instrumentales des paramètres climatiques les plus anciennes et les plus continues à l'échelle de la région sont celles de la ville de Marseille (Pichard, 1988, 1999, ce volume). Nous utiliserons ici les enregistrements homogénéisés des précipitations réalisés à l'Observatoire des Accoules (de 1728 à 1873) et à l'Observatoire de Longchamp (de 1874 à 1981). La figure (fig. 8) met en relation les crues de la Durance, des organismes ubayens et des torrents alpins avec les précipitations enregistrées à Marseille.

Comparaison des enregistrements hydrologiques et pluviométriques.

La question qui se pose est de savoir si la raréfaction des crues enregistrées dans les rivières et torrents de Provence depuis le Petit Age Glaciaire est un phénomène lié à une diminution de la pluviométrie au cours du temps. L'analyse des mesures instrumentales des précipitations réalisées à Marseille permet de répondre à cette question, même si cette station ne représente qu'un point d'enregistrement au sein d'une région assez vaste.

Les tendances à long terme. Le Petit Age Glaciaire est-il globalement plus humide ?

L'évolution des totaux pluviométriques annuels (fig. 8) ne montre pas de tendance à l'assèchement entre les XVIII^e, XIX^e et XX^e siècles. Le Petit Age Glaciaire n'apparaît pas comme une période globalement plus humide. La figure 9 montre que la moyenne des totaux de précipitations annuels est légèrement plus élevée au XX^e siècle que pendant le Petit Age Glaciaire. Il faut néanmoins relativiser cette observation car il est possible qu'il existe un biais systématique introduit par le perfectionnement des pluviomètres et des méthodes de recueil des données au XX^e siècle pouvant expliquer la variation des totaux annuels de précipitations.

PERIODE	1728-1899	1900-2000	1728-2000
Moyenne	575	597	583
Ecartype	171	152	164
Minimum	274	254	274
1 ^{er} quartile (Q1)	452	484	462
Médiane (Q2)	538	607	572
3 ^e quartile (Q3)	667	693	675
Maximum	1218	1019	1218
Coefficient de variation	30%	25%	28%

Fig. 9 : Les totaux pluviométriques annuels à Marseille (en mm) : comparaison entre le Petit Age Glaciaire et le XX^e siècle.

La figure 10 montre que la médiane et les totaux de précipitations annuels compris dans l'intervalle interquartile (Q3-Q1) sont plus faibles au Petit Age Glaciaire qu'au XX^e siècle. Sur la période 1728-1899, une année sur deux a connu des précipitations comprises entre 452 et 667 mm, alors que sur la période suivante (1900-2000) une année sur deux a enregistré des pluies comprises entre 484 et 693 mm.

En revanche, le Petit Age Glaciaire est caractérisé par une plus grande variabilité interannuelle des précipitations : le coefficient de variation des totaux pluviométriques annuels atteint 30% pour la période 1728-1899 alors qu'il n'est que de 25% pour le XX^e siècle. Cette plus forte variabilité durant le Petit Age Glaciaire est surtout due à l'occurrence d'années exceptionnellement pluvieuses au nombre desquelles se distinguent les années 1772, 1788, 1839 et 1872.

Au final, nous retenons que, durant le Petit Age Glaciaire, l'ambiance climatique est globalement moins humide que durant la période suivante, mais la variabilité interannuelle des précipitations est plus importante.

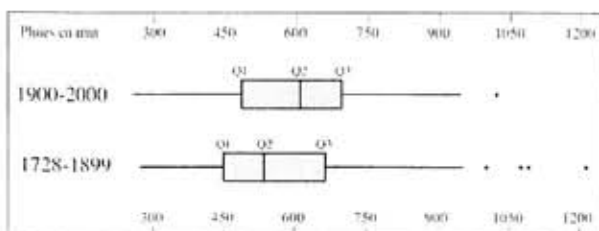


Fig. 10 : Variabilité des totaux annuels de précipitations : graphiques en boîtes et moustaches.

La largeur des moustaches (trait noir horizontal) est définie respectivement par les valeurs de $Q1 - 1,5 (Q3 - Q1)$ pour la limite inférieure et par $Q3 + 1,5 (Q3 - Q1)$ pour la limite supérieure. Les valeurs exceptionnelles situées en dehors des moustaches sont représentées par les points noirs.

Les fluctuations à moyen terme. Une similitude des enregistrements ?

Afin de caractériser le rythme interannuel des précipitations à Marseille, nous distinguons :

- les années très pluvieuses dont les totaux de précipitations sont supérieurs à D9, le décile supérieur de la série (10% d'années les plus pluvieuses) ;
- les années pluvieuses dont les totaux de précipitations sont compris entre Q3 et D9 ;
- les années très sèches dont les totaux de précipitations sont inférieurs à D1, le décile inférieur de la série (10% d'années les plus sèches) ;
- les années sèches dont les totaux de précipitations sont compris entre D1 et Q1.

Ainsi, nous isolons les 50% d'années extérieures à l'intervalle interquartile (Q3-Q1) et les considérons comme les plus sèches (<Q1) ou les plus humides (>Q3) de la série.

Durant le Petit Age Glaciaire, deux périodes caractérisées par une fréquence élevée d'années pluvieuses ou très pluvieuses se distinguent. Elles correspondent à deux périodes de crues fréquentes dans les rivières et les torrents (fig. 8).

- la période 1750-1800 au sein de laquelle se distinguent les années 1772 et 1788 aux totaux pluviométriques exceptionnels atteignant respectivement les valeurs de 1218 et 1006 mm (soit près de 2 fois la moyenne sur l'ensemble de la période 1728-2000). Cette période est synchrone d'une crise hydro-sédimentaire marquée par les crues dévastatrices dans les rivières à la fin du XVIII^e siècle.
- la période 1830-1860 qui comprend l'année 1839, remarquable par son total de précipitation atteignant 1079 mm. Cette période est contemporaine de l'apogée des débordements dans les rivières et les torrents.

L'accalmie relative des débordements au cours de la première partie du XIX^e siècle (période 1800-1830) est synchrone d'années relativement plus sèches au sein desquelles s'individualisent, par exemple, les années exceptionnellement sèches de 1808 et 1817.

Enfin, les années 1860-1900 ne connaissent que peu d'années pluvieuses ou très pluvieuses, alors que les débordements dans les torrents connaissent un maximum historique. Il est vraisemblable que la multiplication des témoignages de crue reflète en partie l'abondance des sources d'archives disponibles. Par ailleurs, il est très probable que la recrudescence de la torrentialité soit, comme en Ubaye, à mettre aussi en relation avec une surexploitation des pentes par les sociétés agropastorales.

Le XX^e siècle, en particulier à partir de 1930, est caractérisé par une fréquence assez élevée d'années pluvieuses à l'exception des années 1980-1990. Néanmoins, les années très pluvieuses sont rares en

comparaison de la période du Petit Age Glaciaire. Malgré l'occurrence d'années pluvieuses, cette période correspond à une raréfaction des phénomènes de crues. Il est vraisemblable que les reboisements artificiels et spontanés des pentes à la suite de l'exode rural de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle aient contribué à la raréfaction des crues des torrents. En Durance, les aménagements construits à partir des années soixante, sont responsables de la disparition des petites et moyennes crues. Mais la rivière est encore affectée par les épisodes hydrologiques paroxysmaux que les barrages n'arrivent pas à contenir (années 1993-1994 par exemple). Enfin, il est aussi possible que la raréfaction des crues soit à mettre en relation avec un changement des régimes saisonniers et de l'intensité journalière des précipitations.

Synthèse, conclusions et perspectives

Les témoignages d'archives montrent une fréquence élevée des crues durant le Petit Age Glaciaire (1350-1900) dans l'hydrosystème durancien. Au cours de cette crise hydro-sédimentaire, remarquablement bien illustrée par les cartes anciennes (développement du style fluvial en tresses), des périodes de crues fréquentes (1550-1590, 1680-1700, 1750-1800, 1830-1900) succèdent à des périodes d'accalmie relative (1660-1680, 1710-1740, 1800-1830).

L'analyse des sources d'archives écrites montre que les cours d'eau, selon leur rang, ne répondent pas aux mêmes forçages météorologiques : en Ubaye, les débordements des torrents ont lieu essentiellement en période estivale, tandis que les collecteurs principaux connaissent des crues de saisons intermédiaires (automne, printemps).

L'analyse de l'évolution des précipitations à Marseille depuis 1728 et des enregistrements - plus partiels - des pluies en Ubaye montre que la fréquence élevée des crues durant le Petit Age Glaciaire n'est pas liée à une augmentation globale des totaux pluviométriques annuels. En revanche, une variabilité accrue des précipitations interannuelles a caractérisé cette période. Durant le Petit Age Glaciaire, les périodes de crues plus fréquentes coïncident avec des séries d'années pluvieuses et très pluvieuses (1750-1800, 1830-1860) et les périodes de raréfaction des crues sont synchrones d'années sèches à très sèches (1800-1830).

Afin de mieux comprendre les variations à moyen terme des conditions climatiques de la torrentialité, nous comparons les fluctuations de croissance des mélèzes dans le Briançonnais et le Queyras (Edouard *et al.* ce volume ; Corona *et al.* 2008) avec les chronologies des débordements puis les mesures instrumentales des précipitations disponibles à Marseille (fig. 8). Les mélèzes possèdent des cernes larges lors d'années aux étés secs et ensoleillés et aux hivers doux. A l'inverse, leur croissance est ralentie lors d'années aux hivers froids et aux étés frais et humides (Belingard 1996 ; Corona *et al.* 2008). On observe une bonne correspondance au cours des XVIII^e et XIX^e siècles,

entre les périodes marquées par des crues fréquentes et des années pluvieuses à très pluvieuses récurrentes (1750-1800, 1830-1860) et une bonne croissance des mélèzes ; inversement, la période 1800-1830, marquée par une fréquence des crues plus faible et une récurrence d'années sèches et très sèches coïncide avec une faible croissance des mélèzes. Ainsi, durant le Petit Age Glaciaire se succèdent des périodes pluri-décennales aux ambiances climatiques contrastées : d'une part des périodes connaissant des crues fréquentes, des séries d'années aux totaux pluviométriques importants et des années aux étés secs et aux hivers doux et, d'autre part, des périodes caractérisées par des crues plus rares, par l'occurrence d'années sèches voire très sèches et par des années aux hivers froids et aux étés humides et frais. L'étude de la torrentialité historique dans la vallée de l'Ubaye illustre bien ces observations. Les textes d'archives décrivent en effet, clairement que les débordements des torrents ont lieu durant des étés chauds, secs et orageux (fig. 5), même lorsqu'ils s'inscrivent dans des séries d'années globalement plus pluvieuses.

Les trois types d'indicateurs paléoclimatiques utilisés (chroniques de crues, mesures des précipitations et séries dendrochronologiques) proviennent de différentes unités géographiques de la Provence (littoral, moyenne et haute montagne). Durant le Petit Age Glaciaire, les enregistrements semblent connaître des fluctuations pluri-décennales assez similaires. Mais le synchronisme observé entre ces différentes données devient moins net pour la fin du XIX^e et le XX^e siècle. Il est évident que chaque indicateur traduit les particularités régionales de son lieu d'origine, qui s'expriment plus ou moins fortement selon les époques. Une analyse plus fine permettra de régionaliser l'information paléoclimatique et de distinguer les tendances communes des particularités locales.

Enfin, nous n'avons abordé dans le cadre de cet article que les variations paléoclimatiques et paléohydrologiques à moyen terme. La quantité et la qualité des données disponibles en haute et basse Provence vont permettre, dans les études à venir, de changer de niveau de lecture et de travailler aux échelles annuelles, saisonnières et journalières.

Remerciements : les auteurs remercient Christophe Corona et Jean-Louis Edouard de leur avoir communiqué les courbes dendrochronologiques.

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud 1895 : ARNAUD (F.) – Notice historique sur les torrents de la vallée de l'Ubaye, Paris Imp. Nat., extrait des documents et des notices de la vallée de Barcelonnette, 39 p.

Arnaud-Fasseta 1998 : ARNAUD-FASSETA (G.), Dynamique fluviale holocène dans le delta du Rhône. Thèse de doctorat de géographie, Université d'Aix-Marseille I, 329 p.

Belingard 1996 : BELINGARD (C.), Etude dendrochronologique de la dynamique de la limite supérieure

de la forêt dans les Alpes du Sud en relation avec les facteurs climatique et anthropique. Thèse de doctorat d'Ecologie. Université d'Aix-Marseille III, 103 p.

Bravard et al. 1993 : BRAVARD (J.-P.) et PEIRY (J.-L.), La disparition du tressage fluvial dans les Alpes françaises sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau (XIX^e- XX^e siècle), *Zeitschrift Geomorph., Suppl. Bd. 88*, pp. 67-79.

Bravard 1989 : BRAVARD (J.-P.), La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Age et à l'époque moderne, *Bulletin de la Société géographique de Liège, n°25*, pp. 145-157.

Corona et al. 2008 : CORONA (C.), GUIOT (J.), EDOUARD (J.-L.), CHALIE (F.), BUNTGEN (U.), NOLA (P.), URBINATI (C.), Millennium-long summer temperature variations in the European Alps as reconstructed from tree rings. *Climate of the past discussion*, 4, 1159-1201.

Coste 1932 : COSTE (J.), Vallis Montium, Histoire de la Vallée de Barcelonnette Hautes Terres de Provence des origines à nos jours, Imprimerie Vollaire Gap, 228 p.

Demontzey 1894 : DEMONTZEY (P.), Bassin de la Durance, le périmètre de l'Ubaye. L'extinction des torrents en France par le reboisement, Imprimerie Nationale, pp 244-310.

Demontzey 1882 : DEMONTZEY (P.), Traité pratique du reboisement des montagnes. Ed. Rothschild, Paris, 1882, 528 p.

Edouard et al. ce volume : EDOUARD (J.-L.), CORONA (C.), THOMAS (A.), GUIBAL (F.), DENELLE (N.), Le Petit Age Glaciaire dans les cernes de croissance des arbres. Approche dendrochronologique.

Fourchy 1944 : FOURCHY (P.), Remarques sur la question du déboisement des Alpes. *Revue de Géographie alpine*, 1944, pp. 116-117.

Gautier 1992 : GAUTIER (E.), Recherches sur la morphologie et la dynamique fluviale dans le bassin du Buëch (Alpes du sud), Thèse de doctorat de géographie, Université Paris-X-Nanterre, 439 p.

GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.

GIEC, 2001: Climate Change 2001. Intergovernmental panel on climate change (IPCC, GIEC) 2001, 850p.

Le Roy Ladurie 1983 : LE ROY LADURIE (E.), Histoire du climat depuis l'an mil, Flammarion, Poche, 2 vol., 287 et 252 p.

Maillet et al. 2006 : MAILLET (G.), VELLA (C.), PROVANSAL (M.), SABATIER (F.), Connexions entre le Rhône et son delta (partie 2) : évolution du trait de côte du delta du Rhône depuis le début du XVIII^e siècle, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2, 125-140.

Miramont et al. 1997 : MIRAMONT (C.) et GUILBERT (X.), Variations historiques de la fréquence des crues et de la morphogenèse fluviale en Moyenne Durance. *Géomorphologie : relief, processus et environnement*, 4, 325-338.

Miramont 1998 : MIRAMONT (C.) Morphogenèse, activité érosive et détritisme alluvial holocènes dans le bassin de la Moyenne Durance (Alpes française du Sud), Thèse de doctorat de Géographie, Université de Provence.

Miramont et al. 1998 : MIRAMONT (C.), JORDA (M.), PICHARD (G.), Morphogenèse et dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne au cours de la période historique : l'exemple de la moyenne Durance (France du sud-est). *Géographie Physique et Quaternaire*, 52 (3), 381-392.

Mougin 1931 : MOUGIN (P.), La restauration des Alpes, Ministère de l'Agriculture. Direction des Eaux et Forêts, Imprimerie nationale, 1931, 584 p.

Nicault et al. sous presse : NICAULT (A.), GUIOT (J.), EDOUARD (J.-L.), BREWER (S.), Preserving long-term fluctuations in standardization of tree-ring series by the Adaptive Regional Growth Curve (ARGC), *Dendrochronologia*.

Pichard 1988 : PICHARD (G.), Les météorologistes provençaux aux XVII^e et XVIII^e siècles», in *Provence historique*, t. XXXVIII, fasc. 153, juillet-août-septembre 1988, pp. 249-284.

Pichard 1999 : PICHARD (G.), Espaces et Nature en Provence. L'environnement rural 1540-1789, Thèse de l'Université de Provence Aix-Marseille I, Formation doctorale

Culture, Société et Echanges des Pays de la Méditerranée Septentrionale, Aix-en-Provence, 1999 4 volumes avec les annexes 1800 pages environ

Provansal et al. 2003 : PROVANSAL (M.), VELLA (C.), ARNAUD-FASSETTA (G.), SABATIER (F.), MAILLET (G.), Role of fluvial sediment inputs in the mobility of the Rhône delta coast (France), *Géomorphologie Relief Processus Environnement*, 4, 271-282.

Remaître et al. 2004 : REMAITRE (A.), MAQUAIRE (O.), MALET (J.-P.), La lave torrentielle du 5 août 2003. Rapports d'observations et investigations géomorphologiques. Rapport interne au RTM 04, 30 p et ann.

Sivan 2000 : SIVAN (O.), Torrents de l'Ubaye. Gap, Sabença de la Valeia, 2000, 48 p.

Sivan 1998 : SIVAN (O.), Evolution climatique holocène (historique) et torrentialité. Exemple de la vallée de l'Ubaye. Mémoire de maîtrise de géographie, Université de Provence.

Surell 1841 : SURRELL (A.), Étude sur les torrents des Hautes-Alpes. Paris, Dunod, 2^e ed., 1870, XIX, 1841, 243 p.