



HAL
open science

Programme “ Méthode intégrée ”

Jean-Louis Ballais

► **To cite this version:**

Jean-Louis Ballais. Programme “ Méthode intégrée ”. [0] Rapport provisoire UMR ESPACE CNRS, C.E.T.E. Méditerranée, Aix-en-Provence, France. 2001, 34 p. hal-01573322

HAL Id: hal-01573322

<https://amu.hal.science/hal-01573322>

Submitted on 9 Aug 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROGRAMME
« METHODE INTEGREE »

Rapport provisoire

Centre d'Etudes Géomorphologiques d'Aix
UMR 6012 E.S.P.A.C.E. CNRS
Institut de Géographie
29, avenue Robert Schuman
13621 AIX-EN-PROVENCE Cedex 1

décembre 2001

PROGRAMME
« METHODE INTEGREE »

Rapport provisoire

Etude réalisée par Jean-Louis Ballais

LES BASES THEORIQUES DE LA METHODE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

1 – La nécessité d’une méthode hydrogéomorphologique : les limites des méthodes hydrauliques :

Catastrophe après catastrophe, la collectivité, prise au dépourvu, compte les morts et les dégâts (en milliards de francs) et se pose toujours les mêmes questions : pourquoi ? Aurait-on pu faire l'économie du désastre ? Fatalité ou imprudence ? Il semble que la multiplication des dispositifs législatifs et réglementaires, de même que celle des études, soit impuissante à enrayer cette dérive qui tourne le dos au développement durable.

En ce qui concerne les études, les limites des méthodes employées ressortent très nettement de l'analyse. Ce constat confirme les multiples observations consécutives à des catastrophes antérieures, telles que celle de Vaison la Romaine en 1992 : les études hydrologiques et hydrauliques ont été souvent impuissantes, jusqu'ici, à fournir aux aménageurs une appréciation fiable du degré de risque pris au niveau du choix d'urbaniser ou non en zone inondable et, lorsque le diagnostic s'est avéré correct, la marge d'erreur inhérente à tout calcul physique a pu être utilisée à mauvais escient par les mêmes aménageurs.

Les bases scientifiques de ces calculs, définies depuis très longtemps dans le domaine hydraulique en particulier, ne sont certes pas en cause. Mais leur application au fonctionnement des cours d'eau pose une série de problèmes mal maîtrisés :

- **parce que le milieu naturel** sur lequel se produit le ruissellement puis l'écoulement des crues présente une grande complexité, comparée à celle des tuyaux et canaux pour lesquels ont été définies les lois de l'hydraulique. Aucune formule ne peut prendre en compte de manière correcte les multiples paramètres qui interviennent dans l'écoulement, entre le contact de la goutte de pluie avec le sol et son arrivée dans la mer. Les mesures sur lesquelles s'appuie l'hydraulicien, y compris les plus simples, celles de la topographie de la plaine alluviale, fournissent des résultats dont les marges d'erreur peuvent être importantes, et sont souvent mal connues. Et, si le comportement d'un cours d'eau en situation modale ou lors de petites crues s'avère relativement simple et constant, il en va tout autrement pour les événements exceptionnels, qui peuvent s'accompagner de phénomènes annexes très aléatoires, tels que des embâcles, des ruptures d'ouvrages ou des glissements de versants. Aussi, même la multiplication des mesures, indépendamment de son coût économique, ne permettrait sans doute pas de prévoir ces événements de manière parfaitement fiable.

- **parce que l'approche probabiliste** utilisée dans ces méthodes est mal adaptée aux phénomènes naturels complexes, et que son emploi doit être soumis à des règles sévères rarement respectées dans la pratique. S'il est ainsi logique de déterminer une crue centennale pour un grand cours d'eau suivi en continu depuis 2 ou 3 siècles et caractérisé par un régime relativement régulier (la Seine par exemple, à Paris), le cas de cours d'eau de taille petite à moyenne, à régime irrégulier et connu par un faible nombre d'événements est totalement différent. Dans ce dernier cas, un échantillonnage trop réduit de crues conduit à une sous-estimation systématique de la crue centennale, même

lorsque des corrections sont appliquées aux lois de régression statistique. Il suffit d'ailleurs alors d'une nouvelle crue forte pour conduire à un nouveau résultat de calcul, réévalué à la hausse.

Ce problème était occulté lorsque le dimensionnement des réseaux d'assainissement en milieu urbain était délibérément limité au débit de la crue décennale, pour des questions de coûts d'investissement. La prise en compte de la crue rare se heurte donc aujourd'hui à une difficulté méthodologique majeure.

Or, il s'avère que la crue centennale elle-même ne représente qu'une partie conventionnelle de l'aléa susceptible d'être pris en compte, et qu'il est sans doute préférable, dans une logique de précaution, de prendre en compte la crue exceptionnelle, c'est-à-dire la plus forte crue susceptible d'être écoulée par un cours d'eau, sachant que ces crues dites exceptionnelles peuvent se produire avec une fréquence relativement élevée si on considère non plus seulement un bassin versant, mais l'ensemble des bassins versants appartenant à une province climatique donnée.

Il n'est donc pas étonnant, dans ces conditions, que diverses urbanisations dévastées par les crues de novembre 1999 aient été implantées dans des espaces de lit majeur considérés comme extérieurs à la zone inondable par la crue centennale déterminée par des études hydrauliques.

Ces crues confirment donc, si besoin était, la nécessité de resituer les méthodes hydrologiques et hydrauliques dans un corpus de connaissance plus large, susceptible de définir les conditions aux limites des différentes approches possibles.

2 – L'hydrogéomorphologie, approche naturaliste :

De même que pour les mouvements de terrain, la géologie de l'ingénieur ou la recherche minière, les techniques issues des sciences physiques et probabilistes ne peuvent fonctionner qu'en aveugle si elles ne sont pas étayées sur une connaissance naturaliste du milieu sur lequel elles sont censées s'appliquer (Masson, 1993). Le milieu fluvial ne peut être réduit impunément à une abstraction physico-mathématique. Il fonctionne comme un corps mobile, s'adaptant en permanence à son environnement climatique, géologique, biologique et anthropisé. Il est donc nécessaire de disposer d'une représentation fiable, d'un modèle morphologique (et pas seulement topographique) et fonctionnel de ce milieu. Or, de même que l'observation géologique fournit un modèle de la répartition des roches dans l'espace, l'observation géomorphologique fournit les concepts et critères permettant d'établir un modèle du système fluvial.

La méthode hydrogéomorphologique, dérivée de la géomorphologie dynamique, permet d'établir une cartographie précise des surfaces inondables, basée sur l'observation de caractéristiques, les unes directement issues de l'histoire hydrologique de ces espaces (morphologie, nature des sols), les autres dérivées de cette histoire et de l'intervention des sociétés humaines (peuplement végétal, occupation des sols, parcellaire, urbanisation ancienne). L'utilisation de la photo-interprétation, complétée par des vérifications de terrain, permet, en couvrant rapidement de grands espaces, de généraliser la méthode à toute la gamme des appareils hydrographiques, à des coûts économiquement acceptables par la collectivité (Masson, Garry, Ballais, 1996).

2. – Les fondements de l'hydrogéomorphologie :

2.1. - Eléments de géomorphologie :

Pour comprendre le fonctionnement actuel d'un cours d'eau, il est nécessaire de le replacer dans son contexte spatial et fonctionnel général, c'est à dire dans son bassin versant. Cette démarche conduit à mettre en évidence des emboîtements d'échelles spatiales et à prendre en compte l'évolution récente, quaternaire des bassins versants.

2.1.1 - Définitions et échelles de la géomorphologie :

La géomorphologie est la science qui a pour objet la description et l'explication du relief terrestre (Coque, 1993), lui-même constitué par un système de pentes ou de versants.

Traditionnellement, en France, la géomorphologie se subdivise en trois domaines qui se différencient par l'objet d'étude et, par conséquent, par les échelles spatiales et temporelles utilisées : la géomorphologie structurale, la géomorphologie climatique et la géomorphologie dynamique.

La géomorphologie structurale étudie le relief structural, constitué de formes qui sont longues de plusieurs milliers à plusieurs dizaines de kilomètres, et vastes de plusieurs millions à plusieurs centaines de kilomètres carrés, comme les continents et les régions naturelles (chaînes de montagnes, plaines et plateaux). Elle recherche l'explication de l'existence et des caractéristiques du relief dans leurs rapports avec la structure géologique. Actuellement, la théorie de la tectonique des plaques lithosphériques est celle qui explique le mieux la répartition et les caractéristiques des reliefs à la surface de la Terre. L'évolution de ces formes de relief structural se mesure en millions d'années. La formation et l'organisation des bassins versants s'inscrit dans ces échelles spatiales et temporelles.

La géomorphologie climatique étudie le modelé hérité, constitué de formes de taille kilométrique à décimétrique, comme les moraines ou les terrasses alluviales. Elle recherche la cause de la mise en place de ce modelé dans la succession des systèmes morphogéniques (ou morphobioclimatiques) disparus. Même si cette recherche peut conduire à remonter très loin dans le passé géologique de la Terre, la genèse du modelé se mesure habituellement en quelques milliers à quelques dizaines d'années. L'étude des vallées relève préférentiellement de cette géomorphologie climatique.

La géomorphologie dynamique, enfin, étudie les processus morphogéniques actuels, à une échelle qui va de la dizaine de mètres (ou un peu plus) au millimètre, voire au micron. Elle montre comment se mettent en place et fonctionnent les dunes, les ravins, les différents styles fluviaux, les types de lits, ou encore les chenaux des lits moyens ou les bancs alluviaux dans le lit mineur. Elle articule ainsi étroitement les forces en action et les formes topographiques, parfois éphémères. La connaissance de la plaine alluviale moderne résulte de la géomorphologie dynamique.

La géomorphologie « totale », articulant les trois domaines et les trois échelles spatio-temporelles, permet de replacer la situation instantanée actuelle dans l'ensemble de l'évolution de l'histoire continentale, d'une part, et de l'histoire climatique, d'autre part. De ce point de vue, lorsqu'elle étudie les inondations et leurs effets, elle se distingue donc nettement de la méthode purement hydrologique qui est centrée sur la période actuelle (quelques dizaines d'années de connaissances statistiques) et sur l'histoire récente (au maximum, quelques siècles de données sur les crues).

2.1.2 - L'héritage du Quaternaire

Le Quaternaire représente la dernière ère géologique, d'une durée d'environ 1,8 million d'années, c'est-à-dire très peu à côté des 4,5 milliards d'années probables de la Terre. Cependant, cette période très courte a profondément marqué le modelé de la Terre et c'est, pour l'essentiel, au cours du Quaternaire, que se mettent en place les modelés qui constituent le cadre géomorphologique des plaines alluviales fonctionnelles. Les vallées sont l'héritage de phases d'érosion ou d'accumulation de matériaux consécutives à des variations climatiques qui ont modifié les systèmes morphogéniques et le niveau des mers.

2.1.2.1 - Les fluctuations des mers et des cours d'eau

La principale caractéristique du Quaternaire est son instabilité climatique. Très tôt, au XIX^{ème} siècle, les géologues et les paléontologues ont reconnu l'existence de périodes plus froides que l'Actuel, nommées périodes glaciaires, et de périodes comparables à l'Actuel, nommées périodes interglaciaires. Au début du XX^{ème} siècle, quatre glaciations ont d'abord été définies dans les Alpes bavaroises et nommées de la plus ancienne à la plus récente : Günz, Mindel, Riss et Würm. Les fluctuations climatiques ont pu être précisées depuis, au cours des dernières décennies, en particulier par l'utilisation des isotopes de l'oxygène et, plus précisément, par les rapports $18O/16O$ dans l'eau de mer.

Ainsi, il a pu être mis en évidence, au cours du dernier million d'années, l'existence d'une dizaine de cycles glaciaires pendant lesquels les températures des eaux de surface des océans ont baissé d'environ 6 à 8°C dans la zone tempérée actuelle. Les recherches les plus récentes montrent, par l'étude des mêmes isotopes de l'oxygène dans les glaces du Groenland (Jouzel *et al*, 1994) que même pendant la dernière période interglaciaire semblable à la nôtre, des variations de température de 10°C se produisaient en quelques décennies. Cela prouve l'extrême instabilité du climat de la Terre et incite donc à la prudence concernant les prévisions sur le climat de notre planète.

Lors des périodes froides, les glaciers ont progressé sur les continents et les océans, à partir des inlandsis et des glaciers de l'Antarctique et, surtout, du Groenland, du Nord du Canada et de la Scandinavie. Lors du maximum de la dernière glaciation, il y a environ 18 000 ans, ils sont venus recouvrir tout le Nord de l'Europe, jusqu'aux sites actuels de Londres et de Berlin, et le Nord de l'Amérique, jusqu'à New York. Ainsi, une partie des précipitations beaucoup plus considérable qu'aujourd'hui restait stockée sur les continents sous forme de glace et ne retournait pas à l'océan mondial.

La conséquence en a été une baisse spectaculaire du niveau des mers de l'ordre de 100 à 120 m. La majeure partie des plateaux continentaux a été alors exondée, l'étang de Berre, le bassin d'Arcachon, mais aussi la Manche tout entière ont disparu. A ce moment, tous les fleuves français qui se jettent actuellement dans la Manche confluaient en un seul organisme fluvial qui passait au nord de la péninsule actuelle du Cotentin. La mer du Nord avait aussi disparu et le Rhin et la Tamise y confluaient. Dans ces conditions, le cours des fleuves s'était allongé de plusieurs dizaines à quelques centaines de kilomètres, suivant la baisse du niveau de base.

Inversement, lors de la déglaciation, achevée vers 10 000 ans avant l'Actuel, le niveau de l'océan mondial s'est relevé et le niveau actuel n'a été atteint qu'il y a 5 à 6 000 ans.

Les fleuves ont donc dû s'adapter périodiquement à des abaissements et à des relèvements du niveau de base général, au moins une dizaine de fois au cours du Quaternaire. Dans le détail, les fluctuations ont été encore plus nombreuses car, au cours d'une même période, glaciaire comme interglaciaire, les températures, et le niveau des océans, varient fortement.

2.1.2.2 – La modification des systèmes morphogéniques :

Une autre conséquence majeure des fluctuations climatiques quaternaires a été la modification des systèmes morphogéniques. Pour se limiter à la zone tempérée, elles ont été radicales. En effet, en l'absence d'interventions des sociétés humaines, la zone tempérée se caractérise aujourd'hui par une inefficacité du système morphogénique due, pour l'essentiel, à la protection apportée aux sols par la forêt qui, à l'état naturel, couvre pratiquement toute la surface, à l'exception de quelques géosystèmes particuliers

(montagnes, marécages). Les cours d'eau ne transportent ainsi généralement que des éléments fins (argiles, limons) en suspension.

La chute marquée des températures lors d'une période glaciaire provoque la disparition des forêts actuelles, remplacées par des formations végétales ouvertes (steppes, voire toundras) connues par l'étude des pollens fossiles. Ces steppes sont alors fréquentées par des chevaux, des rennes, des mammoths, et les pingouins viennent jusqu'en Méditerranée (grotte Cosquer). La fragmentation des roches, principalement sous l'effet de la gélifraction, fournit des masses considérables. Ces débris sont mobilisés surtout lors des crues printanières, quand la neige et la glace fondent. Des débâcles saisonnières se produisent alors, à l'image des fleuves actuels de Sibérie ou du Nord canadien qui transportent des masses considérables d'alluvions caillouteuses, dans un lit en tresses. Ces alluvions s'accumulent dans les vallées, sur plusieurs mètres d'épaisseur, jusqu'au niveau de base du moment : c'est ainsi qu'on repère très bien les alluvions grossières de la Seine sous la Manche actuelle (Alduc *et al*, 1979).

Par ailleurs, l'abaissement du niveau marin a modifié la pente des fleuves principaux à l'aval de leur cours, favorisant ainsi une entaille locale, surtout dans les estuaires actuels. En d'autres termes, le contact alluvions-substratum a souvent une pente plus forte que le lit actuel des fleuves. Lors de la période interglaciaire suivante, la forêt ayant recolonisé le continent, les cours d'eau retrouvent un lit à chenal plus étroit, souvent à méandres. Ils ont tendance à entailler les alluvions caillouteuses qui sont mises peu à peu hors d'eau et constituent une terrasse alluviale, c'est-à-dire une surface subhorizontale hors d'atteinte des crues actuelles. La répétition des cycles période glaciaire – période interglaciaire a multiplié les nappes alluviales et les terrasses fluviales, particulièrement dans les grandes vallées comme celle de la Garonne. Dans le détail, et du fait des variations de température et d'humidité, plusieurs terrasses ont pu s'accumuler au cours d'une même phase glaciaire.

2.1.2.3 – Le façonnement des dernières terrasses alluviales généralisées et l'entaille holocène

Les dernières terrasses généralisées, dans la zone tempérée et le domaine méditerranéen, se sont donc accumulées pendant la dernière période froide (appelée Würm dans les Alpes et Weichselien dans le Nord de la France), en particulier vers la fin de cette période, entre 30 000 et 15 000 ans avant l'actuel). A l'exception du cours inférieur des fleuves, à proximité de la mer, la dernière accumulation alluviale caillouteuse würmienne a été entaillée au passage de la période glaciaire à la période interglaciaire, devenant ainsi une terrasse. C'est dans cette entaille que, très généralement, se sont développées les plaines alluviales fonctionnelles des cours d'eau français.

Pendant la période interglaciaire actuelle, appelée Holocène, et qui dure depuis 10 000 ans, il faut distinguer à nouveau, et ce ne sera pas la dernière fois, entre la zone tempérée et le domaine méditerranéen.

Rappelons que la zone tempérée, dans laquelle se situe la majorité du territoire français, se caractérise par des pluies assez abondantes quoique fiables à l'échelle mondiale (600 à plus de 1 000 mm/an), peu intenses (souvent de l'ordre de 1 mm/h) et bien réparties sur l'ensemble de l'année et par des températures moyennes mensuelles comprises entre environ 0 et 20°C, particulièrement dans la variante océanique comme à Brest.

Le domaine méditerranéen, qui n'intéresse que le Sud-Sud-Est de la France, est un peu plus chaud (les températures moyennes mensuelles d'été dépassent 20°C) et, surtout, l'été y est sec (par exemple à Marseille) et les pluies intenses (plusieurs millimètres par heure et jusqu'à 50 mm/h, voire 100 mm/h et plus en automne).

Dans la zone tempérée, l'évolution des cours d'eau paraît très faible, en dehors des embouchures. Mais, certaines études comme celle du Rhône à Vienne (Bravard *et al*, 1990), montrent une évolution parfois rapide, lors de la période historique. En domaine méditerranéen, globalement, de nombreuses grandes rivières, telles le Gardon d'Anduze ou la Durance, ont évolué comme les rivières tempérées. Cependant, de nombreuses autres (Aude, Medjerda) ont eu le même comportement complexe que les petites rivières. Ces dernières sont caractérisées par l'accumulation d'une seule terrasse, préhistorique, ou de deux terrasses, dont une historique (Bayon à l'est d'Aix-en-Provence, nombreux oueds et rivières du Maghreb oriental (Ballais, 1995). Indépendamment de ce fonctionnement passé, actuellement, et à l'exclusion des niveaux de base, tous les cours d'eau ont tendance à creuser leur lit mineur (Veyret *et al*, 1998), tout spécialement en domaine méditerranéen, ce qui a priori est très favorable à la lutte contre les inondations. Mais cet effet positif reste pourtant limité, voire annulé, par les conséquences de l'occupation humaine.

2.2 – Le fonctionnement des bassins versants

Le bassin versant ou bassin hydrographique est une portion d'espace délimitée par des lignes de partage des eaux, où toutes les précipitations sont drainées vers un organisme d'écoulement linéaire, hiérarchisé et structuré. On peut distinguer le bassin versant théorique, qui englobe la totalité des drains, y compris les vallées sans écoulement, et le bassin versant ruisselant, restreint à la partie parcourue par les seules artères fonctionnelles. Lorsque le bassin versant est largement ou totalement constitué de roches perméables, ses limites deviennent très floues, voire impossibles à préciser. En effet, les eaux infiltrées dans le bassin versant réapparaissent quelquefois dans un autre qui pouvait sembler indépendant, exemple très fréquent en régions karstiques (pertes du Doubs alimentant la Loue, pertes de la Loire alimentant le Loiret).

En théorie, dans une lithologie homogène, en zone suffisamment humide, les bassins versants affectent la forme d'une poire renversée, l'amont étant parcouru par de nombreux ruisseaux de premier ordre, confluent en ruisseaux de second ordre et ainsi de suite jusqu'à la rivière, organisme unique d'aval. En réalité, par suite de l'hétérogénéité très fréquente de la lithologie et de l'histoire souvent longue et complexe des réseaux hydrographiques, les formes sont très diverses : le schéma théorique peut encore être perceptible dans le cas d'un réseau dendritique comme celui de la Loire ou celui de la Seine. En revanche, il s'efface totalement sous une très forte influence de la structure géologique et du relief, comme dans les Ardennes belges. Une situation intermédiaire est représentée par le type digité, dans lequel les branches convergent au même point. Dans le type penné, où les affluents se rattachent à l'axe principal en formant un angle aigu ouvert vers l'amont, ou encore lorsque les branches sont peu hiérarchisées, elles déterminent des réseaux parallèles (affluents de rive gauche de la Garonne).

Les conséquences sont évidemment très différentes en ce qui concerne les crues. En particulier, la concentration des confluences sur une distance courte (réseau de la Seine aux environs de Paris, réseau de l'Ouvèze immédiatement à l'amont de Vaison-la-Romaine (Arnaud-Fassetta *et al*, 1993)), favorise la conjugaison des ondes de crue et une montée très rapide des eaux juste à l'aval de cette concentration. A l'inverse, un réseau comme celui de la Garonne favorise plutôt la formation de fortes crues tout à l'aval.

Ces organismes hydrographiques sont d'autant plus complexes que leurs dimensions sont considérables. De plus, ils sont restreints aux zones où l'alimentation de l'écoulement se fait par le ruissellement superficiel et par les eaux souterraines (nappes phréatiques et profondes) capables de soutenir les débits dans l'intervalle des

pluies. Dès la marge du domaine méditerranéen, en particulier, le régime des ruisseaux d'ordre 1 à 3, voire 3, devient saisonnier.

2.3 – Organisation générale d'une vallée :

2.3.1 – Définitions :

D'un certain point de vue, tout relief, tout modelé, peut être décomposé en talwegs et interfluves. On appelle talweg la ligne qui relie les points les plus bas d'une vallée. Sauf exceptions, le lit d'un cours d'eau suit ce talweg. On appelle interfluve tout ce qui n'est pas talweg, c'est-à-dire toute l'étendue entre deux talwegs. Les interfluves représentent la majeure partie du relief terrestre puisque les talwegs ont une largeur relativement faible. La distinction entre talweg et interfluve est le plus souvent facile ; cependant, dans un espace où le lit du cours d'eau est instable et se déplace latéralement, un talweg peut venir occuper partiellement un interfluve et inversement. En fait, le plus souvent, on décompose les interfluves en versants de vallée, en pente vers le talweg, et interfluves stricto sensu, à pentes faibles à nulles entre les versants. Ainsi, la vallée est constituée d'un talweg encadré par deux versants.

2.3.2 – Les versants :

Sur ces interfluves, la morphogenèse dominante est l'érosion aréolaire, qui agit en surface, latéralement, par opposition à l'érosion linéaire, verticale, caractéristique de l'action du cours d'eau sur le fond de son lit. Les agents de l'érosion aréolaire sont multiples : agents atmosphériques, agents biologiques, ruissellement diffus. Ils sont contrôlés par le climat régional, mais aussi par l'orientation, la pente et la lithologie. En montagne, où les pentes sont fortes, les précipitations (pluie et neige) plus abondantes, la gélifraction plus efficace, l'instabilité des versants peut devenir forte. Des masses de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes peuvent ainsi rester en équilibre instable, menaçant les vallées en contrebas (Séchilienne en Savoie, La Clapière dans les Alpes Maritimes). L'érosion aréolaire se définit donc plus par l'aire sur laquelle elle s'exerce que par son processus.

2.3.3 – La partie basse de la vallée :

L'action de l'érosion aréolaire holocène n'a pas été suffisante, dans les vallées larges, pour faire disparaître toute trace de modelé ou de formations superficielles antérieures, en particulier divers types d'accumulations. Nous l'avons vu, des nappes alluviales grossières, qui se sont mises en place lors des périodes froides du Quaternaire, sont devenues des terrasses alluviales par suite de l'entaille linéaire postérieure. En fonction de différents facteurs (lithologiques, tectoniques, morphogéniques), ces terrasses se sont plus ou moins bien conservées. Il en reste cependant des lambeaux, situés en général sur les bords des vallées, qui peuvent dominer la plaine alluviale fonctionnelle de plusieurs dizaines de mètres.

Un bon exemple de conservation de ces vestiges s'observe dans la basse vallée de la Durance, à Lauris : une terrasse alluviale du Pléistocène moyen a tronqué les affleurements de molasse tertiaire. La cohérence relative de ce substrat lui a permis de résister aux entailles et ablations successives de la Durance, si bien qu'aujourd'hui cette terrasse constitue le sommet d'une butte d'environ 50 m d'altitude relative, qui a localisé le site de l'agglomération et du château de Lauris.

Des apports non plus longitudinaux, mais latéraux, sont aussi fréquemment conservés. Les plus spectaculaires sont constitués par les cônes alluviaux, appelés également cônes de déjection. Ils se construisent lorsqu'un cours d'eau torrentiel affluent rejoint la vallée principale. Cette vallée a une pente longitudinale plus faible que celle du torrent, même en haute montagne. C'est cette brusque diminution de la pente qui provoque l'accumulation des alluvions grossières du torrent sous la forme

d'un cône. Les cônes, dont la pente dépasse, en général, 5%, peuvent repousser la rivière principale contre le versant opposé de la vallée, et même des cours d'eau puissants comme le Rhône, dans sa partie valaisanne (Derruau, 1974). A la limite, deux cônes alluviaux qui s'accumulent en face l'un de l'autre peuvent arriver à barrer la vallée, provoquant ainsi la formation d'un lac, comme ce fut le cas sur la Romanche à Bourg d'Oisans, en Savoie. Du fait de la dynamique torrentielle, souvent encore spectaculaire, particulièrement dans les Alpes du Sud, ces cônes sont très exposés aux risques d'inondation (Tricart, 1958, 1974).

Les apports transversaux les plus fréquents sont des colluvions, formations hétérométriques produites par l'érosion aréolaire sur les versants, et qui viennent s'accumuler sur le bord externe des terrasses ou au fond de la vallée. Les processus les plus efficaces depuis le début de l'Holocène ont été liés à la mise en culture, notamment en domaine méditerranéen (Ballais *et al*, 1993), mais aussi en zone tempérée. L'épaisseur des colluvions est souvent métrique, parfois plus importante encore. Si les colluvions peuvent venir adoucir, parfois même effacer, le rebord d'une terrasse, par exemple au contact du lit majeur, elles ne peuvent pas être confondues avec les alluvions dont elles n'ont ni l'organisation structurée en lits ou en lentilles, ni le façonnement (l'arrondi) fluvial.

La plaine alluviale fonctionnelle, plus ou moins large, est en général emboîtée dans ces accumulations variées, souvent au centre de la vallée. Elle s'individualise nettement pour de grands cours d'eau comme la Seine ou la Durance. En ce qui concerne les cours d'eau de plus petite taille, telle la Touloubre au nord d'Aix-en-Provence (Ballais *et al*, 1999), elle existe également, mais elle est plus délicate à mettre en évidence et nécessite des études de terrain plus approfondies.

Cette plaine alluviale fonctionnelle n'est absente que dans deux cas. Le premier correspond aux vallées de petits cours d'eau, d'ordre 1 ou 2, qui s'entaillent directement dans les terrasses récentes, würmienne ou, le plus souvent, holocène, en domaine méditerranéen, comme le ravin de l'Aurigon, à l'est d'Aix-en-Provence (Ballais, 1997). Le second, qui nous intéresse plus, est constitué par des cours d'eau abondants qui s'écoulent directement dans le substratum cohérent, formant des gorges ou des canyons dont le type est celui du Colorado, dans le Sud-Ouest des Etats-Unis, mais qui est bien représenté également en France par le Verdon et le Tarn, par exemple. Si, localement, des esquisses de lit moyen ou majeur apparaissent, le plus souvent, seul le lit mineur est individualisé.

2.4 – Organisation et dynamique de la plaine alluviale fonctionnelle :

2.4.1 – Concepts et définitions :

Les concepts de base sont ceux de la géomorphologie climatique et dynamique, qui analysent l'historique de la formation des vallées, et permettent d'attribuer un âge, une constitution (formation) et une fonction à chaque unité homogène de la plaine alluviale.

Les bases conceptuelles de la méthode hydrogéomorphologique sont solidement établies (Coque, 1993). Les cours d'eau se caractérisent généralement par l'existence de trois lits : le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur (fig.1). Le lit mineur est constamment occupé (Bravard, Petit, 1997) (sauf exception, comme dans le cas des oueds (Ballais, 1995 ; Veyret, 1998), le lit majeur permet l'expansion des crues rares ou exceptionnelles. Le lit moyen, intermédiaire entre les deux précédents, est modelé par les crues fréquentes (périodes de retour de 1 à 5 ans, voire 10 ans). Bien caractérisé dans les régions à pluviométrie contrastée et dans les traversées de piedmonts de massifs montagneux, il ne se distingue pas toujours nettement du lit majeur dans le cas de rivières de plaine et de contexte climatique régulier. En conséquence, les limites

externes du lit majeur d'un cours d'eau constituent la courbe enveloppe de ses crues passées (Lambert *et al.*, 2001). Déterminer la zone inondable par un cours d'eau revient donc à déterminer les limites de son lit majeur. Ses limites externes sont repérées par l'étude stéréoscopique des photographies aériennes et par celle du terrain en combinant la micro topographie avec la granulométrie et la couleur des dépôts.

Les critères permettant de reconnaître et de cartographier ces unités sont accessibles à l'observation de terrain :

- les critères directs, d'ordre strictement géomorphologique sont ceux de la morphologie et de la sédimentologie ; ils sont le produit de la dynamique fluviale,
- les critères indirects, dérivant des précédents, sont ceux de l'écologie et de l'occupation des sols (parcellaire, urbanisations anciennes, vestiges historiques et archéologiques, toponymie),
- les critères hydrologiques, comprenant les relevés de crues (plus hautes eaux connues - laisses de crues).

L'observation de terrain permet de rassembler les informations issues de ces différents critères et de constituer ainsi un faisceau d'indices à partir duquel sera déterminé le modèle hydrogéomorphologique de la vallée. Ce modèle comprend en particulier la détermination de trois unités fondamentales (lits mineur - moyen - majeur), délimités avec précision, le plus souvent morphologiquement, par des talus, entre eux et vis-à-vis de l'encaissant (terrasses alluviales, versants).

Les lits ainsi cartographiés sont des entités physiques indiscutables, aux limites visibles, contrairement aux limites abstraites des crues déterminées statistiquement. Ils sont représentatifs de types de débits caractéristiques : hors crue pour le lit mineur ; de crue fréquente (1 à 10 ans en général) pour le lit moyen ; de crue rare à exceptionnelle pour le lit majeur.

2.4.2 - Les unités géomorphologiques :

Très souvent, le profil transversal d'une plaine alluviale fonctionnelle montre donc l'emboîtement de trois lits. Ces lits constituent des unités géomorphologiques caractérisées par une dynamique homogène.

Le lit mineur est généralement occupé continûment par l'écoulement. En conséquence, il est peu ou pas colonisé par la végétation aérienne. La principale rugosité est donc constituée par celle des alluvions du fond du lit, d'une part, et par celle des berges, d'autre part. Le courant est donc relativement rapide et sa compétence élevée, ce qui permet le transport de particules grossières comme les galets qui, bien souvent, ne sont remuées et déplacées qu'en période de crue, pour des débits légèrement inférieurs au débit à pleins bords.

Dans les cours d'eau à régime très contrasté et à fréquentes variations de débit, ce débit à pleins bords est plus fréquemment réalisé et les efforts auxquels les berges sont soumises sont maximaux. Lorsque ces dernières libèrent un matériel trop grossier pour être transporté au loin, des galets par exemple, une grande partie des débris qu'elles fournissent est abandonnée à courte distance. En d'autres termes, une charge de fond abondante, une grande érodibilité des berges et une puissance élevée du cours d'eau fond apparaître un type de lit en tresses (Bravard, Petit, 1997). Selon Jean Tricart (1960), certains cours d'eau torrentiels des Alpes du Sud (Bléone, Asse, Verdon, Aigues), appartiennent à ce type de lit à tresses quand leur vallée est suffisamment ample. Dans tous les autres cas, mis à part quelques rares exemples d'anastomoses vraies, le lit mineur forme des méandres.

Le chenal d'étiage, ou lit d'étiage, est compris à l'intérieur du lit mineur dans lequel il forme souvent des sinuosités. Il est utilisé par l'écoulement des basses eaux saisonnières et peut être presque à sec en été, dans le domaine méditerranéen.

Le lit moyen ou lit majeur périodique est fréquemment occupé par les hautes eaux, les crues inondantes fréquentes, en principe une fois par an. Au contraire du lit mineur, il se caractérise par un étalement des eaux sur une profondeur beaucoup plus faible et, généralement, par une rugosité considérable, due à la végétation. En effet, les buissons et les herbacées « peignent » le courant et le ralentissent considérablement, au point qu'il arrive que le niveau de l'eau, lors d'une crue, soit sensiblement plus élevé dans le lit mineur que dans le lit moyen. Nous avons pu en observer les conséquences au confluent de la Durance et de l'Asse, à la suite des inondations de septembre 1993.

Ainsi, la compétence est beaucoup plus faible dans le lit moyen et la différence avec le lit mineur est d'autant plus grande que la végétation est abondante dans le lit moyen. Seules les particules fines peuvent transiter dans le lit moyen (ce sont les limons de débordement des géologues). En revanche, les chenaux entaillés dans le lit moyen comportent fréquemment des galets. La zone de passage du lit mineur au lit moyen est ainsi une zone de discontinuité car le courant, brusquement ralenti, abandonne une partie de sa charge au franchissement des berges. C'est ce qui permet la construction des levées alluviales ou bourrelets de berges, surtout en rive concave.

Le lit majeur, ou lit majeur épisodique, ou lit majeur exceptionnel est en général le plus large. Il est souvent colonisé par une formation végétale et couvert d'alluvions fines (limons et argiles) en plaine et dans les larges vallées.

Comme le lit moyen, il n'est recouvert qu'au moment des crues mais, plus éloigné du lit mineur et plus élevé que le lit moyen en général, sa submersion est peu fréquente, sans qu'il soit possible de fixer une récurrence (peut-être à intervalle de cinq à dix ans). Sa submersion par des crues inondantes exceptionnelles est le fait d'écoulements lents et peu profonds à très faible compétence. Il se dépose alors, en partie ou totalement par décantation, des formations fines à très fines.

Le lit majeur est généralement surélevé par rapport au lit moyen, lui-même surélevé par rapport au lit mineur. La dénivellation de quelques décimètres au-dessus du lit moyen se marque par un talus d'ablation en pente forte, souvent subverticale, bien visible en photo-interprétation stéréoscopique. La limite externe du lit majeur est également souvent constituée par une rupture de pente liée au talus d'ablation creusé au Pléistocène supérieur, généralement net, mais parfois masqué par des matériaux liés à l'évolution de l'encaissant (terrasse alluviale ou substratum généralement) et en particulier par des apports colluviaux. Des annexes fluviales (bras) pouvant être assimilées au lit moyen traversent le lit majeur dans certaines configurations géomorphologiques. Leur articulation avec le lit mineur correspond aux premières zones de débordement des crues. La granulométrie des dépôts superficiels du lit majeur, recouvrant des alluvions grossières holocènes, est, nous l'avons vu, caractéristique d'écoulements lents, voire de phénomènes de décantation : limons et argiles, alors que l'encaissant est caractérisé par la roche en place, des alluvions grossières (formations du Pléistocène supérieur en général, parfois du Pléistocène moyen) ou des formations hétérométriques (colluvions). Enfin, ces dépôts fins de lit majeur ont des couleurs souvent sombres, dues à la richesse en matière organique et aux phénomènes de réduction alors que l'encaissant, mieux oxygéné, se caractérise par des dépôts plus ocre, plus clairs. Ce cas est surtout bien développé sur les tronçons intermédiaires des cours d'eau, à l'exception des petits bassins versants.

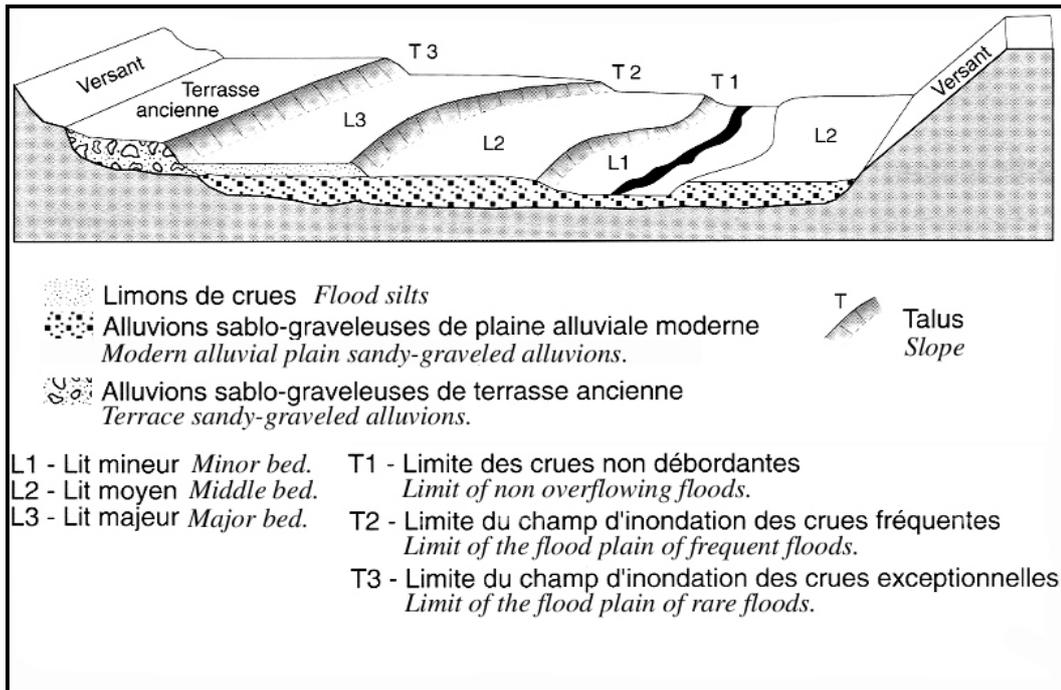


Fig.1 : Relations topographiques entre les différents lits.

Des informations complémentaires peuvent être apportées sur l'hydrodynamique et la morphodynamique en temps de crue : chenaux de décharge en lit majeur (cf. ci-dessous) ; annexes fluviales ; zones d'ablation et zones de sédimentation, etc.

2.4.3 - Les variations vers l'amont et vers l'aval :

Vers l'amont, très généralement, la plaine alluviale se réduit et les apports latéraux augmentent. La réduction de la plaine alluviale atteint son maximum dans les gorges (Tarn, Verdon), où elle peut totalement disparaître. Il n'existe plus alors qu'un seul lit. Dans les vallées importantes, des apports latéraux massifs, par les affluents, prennent souvent la forme de cônes (Alpes) (Tricart, 1974). Ces cônes peuvent s'avancer jusqu'au cours d'eau axial et même le repousser vers la rive opposée de la plaine alluviale, voire le barrer et constituer un lac éphémère comme en Maurienne. Sur les petits cours d'eau, l'amont est souvent constitué par un vallon en berceau (affluents de l'Arc dans le département des Bouches du Rhône, fig. 2), vallon dont la forme résulte d'apports massifs de colluvions et de la répétition des labours pendant des siècles. Dans ce cas, la limite de la zone inondable est constituée, comme précédemment, par la limite entre les limons du lit et les colluvions des versants.

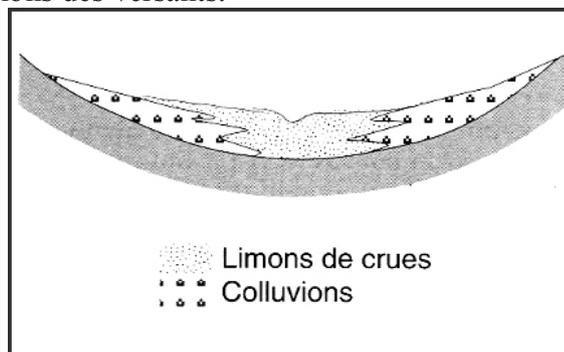


Fig. 2 : Vallon en berceau

Vers l'aval, les cours d'eau principaux présentent souvent une morphologie différente de celle du cours moyen (Loire moyenne, Ouvèze en amont de Bédarrides, basses plaines de l'Aude à l'aval de Moussoulens) : la diminution de la pente provoque une diminution de la granulométrie, de sorte que le lit moyen lui-même est constitué de dépôts fins qui s'accumulent immédiatement sur les bords du lit mineur. Il s'ensuit la disparition progressive du lit moyen, puis, plus à l'aval, la formation de bourrelets de berges caractéristiques des lits en toit (fig. 3). Le lit majeur, toujours localisé à l'extérieur du lit moyen, est alors en contrebas de celui-ci, à l'inverse des situations précédentes. Les dépôts du lit majeur se distinguent plus difficilement de ceux du lit moyen, mais toujours nettement de l'encaissant.

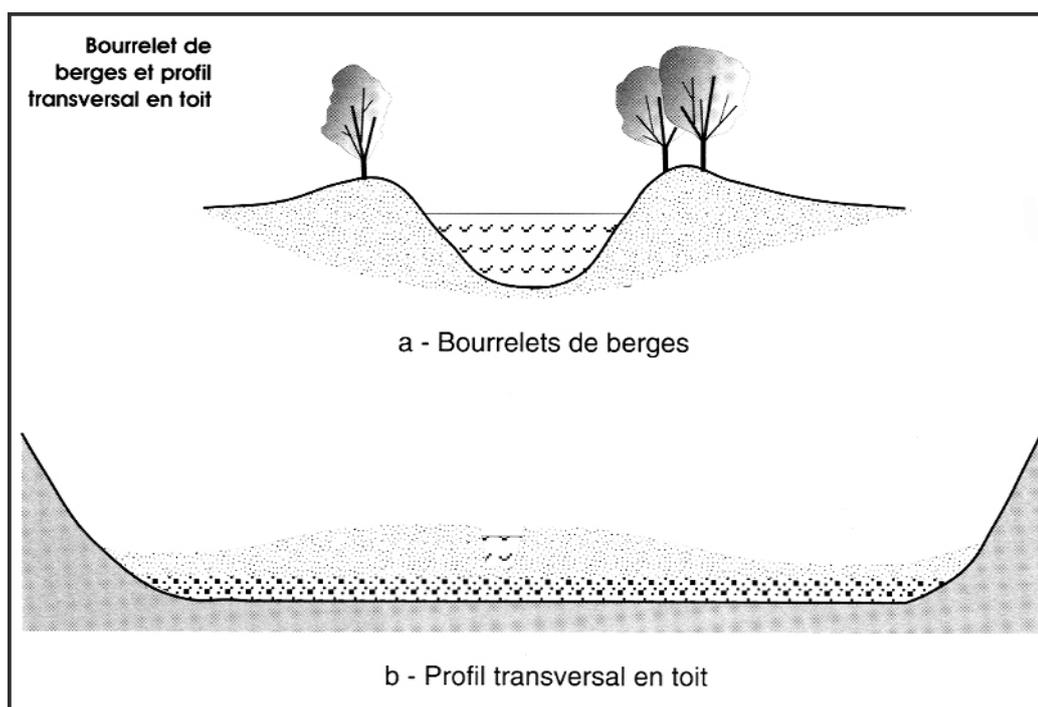


Fig. 3 : Bourrelet de berges (a) et profil transversal en toit (b).

Des évolutions vers l'amont et vers l'aval des caractéristiques des différents lits et de leurs relations entre eux, ainsi que des variations liées à la géologie des bassins versants ou aux actions anthropiques peuvent être introduites dans le modèle de base et analysées en continu de la source à l'embouchure d'un cours d'eau. Chaque cas particulier rencontré peut ainsi être comparé au modèle de base et à ses variantes connues, de manière à interpréter les causes de ces particularités (fig. 4 et 5).

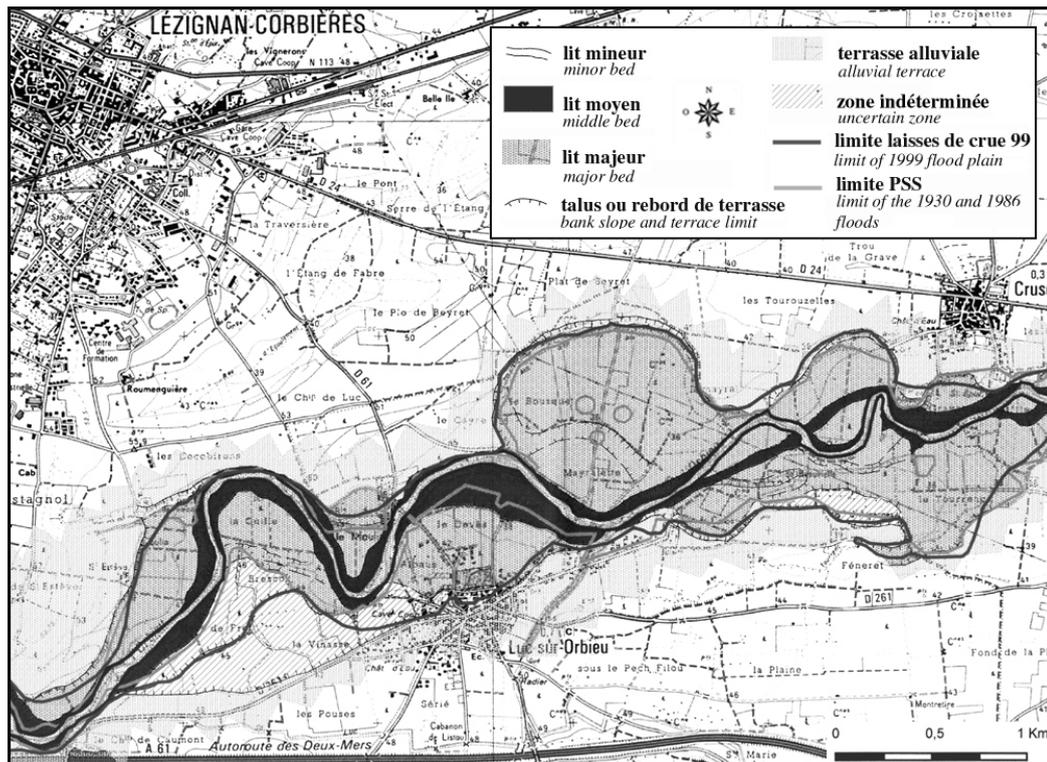


Figure 4 : Crues de Novembre 1999 dans le sud de la France : carte hydrogéomorphologique d'un tronçon de l'Orbieu, et limites des laisses de crues.

Toutes ces données confirment la validité de l'analyse hydrogéomorphologique, qui permet ainsi d'une part de déterminer la limite maximale des crues à prendre en compte, et d'autre part d'interpréter et de prévoir les anomalies de fonctionnement des cours d'eau dues à des aménagements anthropiques plus ou moins récents.

Un autre enseignement important a trait à **l'hydrodynamique du cours d'eau** en période de crue exceptionnelle. La cartographie correspondante (fig. 4 et 5), issue des observations de traces d'érosion et de sédimentation très visibles sur les photographies aériennes, montre que le fonctionnement de ce type de crue est très différent de celui des crues fréquentes, voire rares. Il est en effet couramment admis que le lit majeur, dans les cours d'eau de plaine ou semi torrentiels, n'est affecté que par des submersions lentes somme toute peu dangereuses vis-à-vis d'urbanisations éventuelles. Or, il apparaît clairement que, lors d'une crue exceptionnelle, le courant s'écoule systématiquement selon la ligne de plus grande pente, en court-circuitant les méandres (crues du Pô au printemps 2001). Ainsi s'explique le fait que le lotissement récent de Luc-sur-Orbieu (fig. 4), implanté à faible distance de la limite externe du lit majeur, ait été entièrement ravagé. Ceci indique que les distinctions subtiles consistant à déterminer des zones plus ou moins exposées en termes de hauteur d'eau et de vitesses d'écoulement doivent sans doute être réexaminées, et que l'application du principe de précaution devrait conduire, sauf cas particulier, à exclure la totalité du champ d'inondation hydrogéomorphologique des objectifs d'urbanisation.

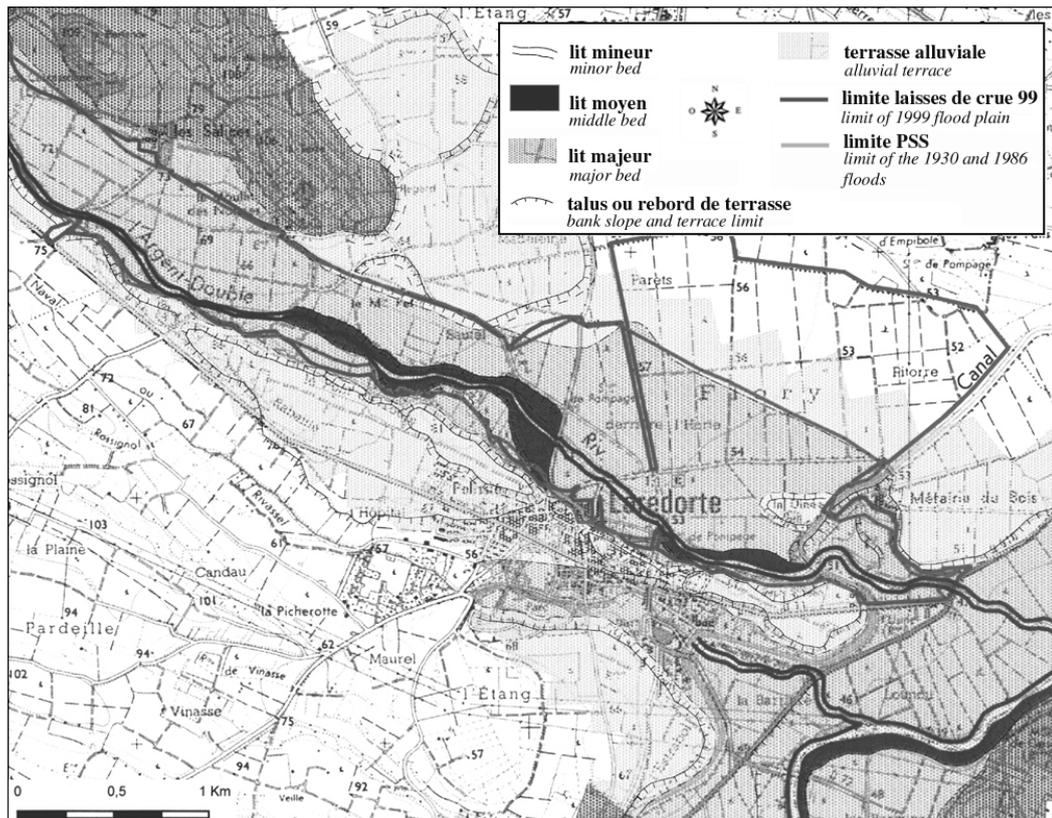


Figure 5 : Crues de Novembre 1999 dans le sud de la France : carte hydrogéomorphologique de l'Argent-Double. Extension du champ d'inondation sur une terrasse ancienne en amont du remblai du Canal du Midi, du fait de la surélévation du lit majeur par hypersédimentation.

2.5 - Conclusion : le bassin versant comme système

Le flux de matière (eau, alluvions) qui parcourt un bassin versant réel, aujourd'hui, de l'amont à l'aval, intègre donc l'ensemble des caractéristiques de ce bassin versant comme les pentes, la végétation, les sols, les formations superficielles, les modes d'occupation du sol (cultures, prairies, villes, etc.). Il intègre également les caractéristiques des différents lits du cours d'eau (longueur, pente, rugosité, végétation en particulier). En conséquence, toute modification d'une de ses caractéristiques en un point du lit provoque aussi des variations en aval et en amont, soit du débit, soit de la pente, soit de la charge alluviale, soit de deux ou trois de ces facteurs.

Références bibliographiques :

Alduc D., Auffret J.-P., Carpentier G., Lautridou J.-P., Lefèbvre D., Porcher M. (1979). – Nouvelles données sur le Pléistocène de la basse vallée de la Seine et son prolongement sous-marin, *Bullet. d'Inform. des Géol. du Bassin de Paris*, vol. 16, n° 2, p. 27-34.

Arnaud-Fassetta G., Ballais J.-L., Béguin E., Jorda M., Meffre J.-C., Provansal M., Roditis J.-C., Suanez S. (1993). - La crue de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992). Ses effets morphodynamiques, sa place dans le fonctionnement d'un géosystème anthropisé, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, Paris, n° 2, p. 34-48.

Ballais J.-L. (1995). - Alluvial Holocene terraces in eastern Maghreb : Climate

and anthropogenic controls, in J. Lewin, M.M. Macklin, J.C. Woodward eds *Mediterranean Quaternary River Environments*, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 183-194.

Ballais J.-L. (1997). - Processus d'évolution d'un ravin de Basse-Provence, le ravin de l'Aurigon (Beaurecueil, Bouches-du-Rhône) : étude préliminaire (octobre 1991 - février 1996), *Réseau Erosion Bulletin* 17, p. 37-45.

Ballais J.-L., Jorda M., Provansal M., Covo J. (1993). - Morphogénèse holocène sur le périmètre des Alpilles, *Travaux du Centre Camille Jullian*, Aix-en-Provence, n° 14, p. 515-547.

Ballais J.-L., Torres T., Fiandino M. (1999). - L'inondation de la Touloubre (Bouches-du-Rhône) de septembre 1993 dans son contexte historique, in P. GABERT, J. VAUDOUR eds *Risques naturels*, Editions du CTHS, Paris, p. 49-65.

Ballais J.-L., Bonté P., Masson M., Garry G., Ben Kehia H., Eyraud C., Ghram A. (2001). - L'évolution du lit majeur des cours d'eau méditerranéens français au cours du XXème siècle : conséquences pour leur aménagement, *Géomorphologie*, sous presse

Bravard J.-P., Bot-Helly A., Helly B., Savay-Guerraz H. (1990). - Le site de Vienne (38), Saint-Romain (69), Sainte-Colombe (69). L'évolution de la plaine alluviale du Rhône, de l'Age du Fer à la fin de l'Antiquité ; proposition d'interprétation, APDCA, Antibes, p. 437-452.

Bravard J.-P., Petit F. (1997). - *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Paris, A. Colin, 222 p.

Coque R. (1993). - *Géomorphologie*, Paris, A. Colin, 503 p.

Derruau M. (1974). - *Les formes du relief terrestre*, Masson, Paris, 120 p.

Jouzel J., Lorius C., Stievenard M. (1994). - Les archives glaciaires du Groenland, *La Recherche*, n° 25, p. 38-45.

Lambert R., Gazelle F., Gholami M., Prunet C. (2001). - La cartographie informative des zones inondables. L'exemple de Midi-Pyrénées. *Actes du colloque « Au chevet d'une catastrophe »*, Perpignan, p. 147-164.

Masson M. (1993). - Après Vaison-la-Romaine. Pour une approche pluridisciplinaire de la prévision et de la planification, *Rev. de Géom. Dyn.*, vol. 2, p. 73-77.

Masson M., Garry G. Ballais J.-L. (1996). - *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*, Les Editions Villes et Territoires, Paris, 100 p.

Tricart J. (1960). - Mise au point : les types de lits fluviaux, *L'Information géographique*, n° 5, p. 210-214.

Tricart J. (1974). - Phénomènes démesurés et régime permanent dans les bassins montagnards (Queyras et Ubaye, Alpes françaises), *Rev. de Géom. Dyn.*, vol. 3, p. 99-114.

Veyret Y., Ballais J.-L., Marre A., Mietton M., Miossec A., Morin S., Valadas B. (1998). - *L'érosion entre nature et société*, SEDES, Paris, 344 p.

L'EVOLUTION DU RISQUE D'INONDATION AU COURS DU TEMPS

Introduction :

Le plus souvent, les voies de communication et les noyaux de peuplement anciens évitent le lit majeur, ce qui en fait un critère complémentaire pour délimiter les zones inondables. Cependant, la réalité est parfois plus complexe car des constructions anciennes peuvent se situer en zone inondable comme à Vaison-la-Romaine (Ballais et Ségura, 1999) et Mollans sur l'Ouvèze, à Anduze et à Cardet sur le Gardon d'Anduze, mais aussi dans la vallée de la Meuse, du Lot et de bien d'autres cours d'eau français. Dès 1925, M. Pardé a rappelé que les 4/5 d'Avignon, en 1840, et la totalité de Tarascon en 1856 ont été inondés par le Rhône. Dans ces villes, ainsi qu'à Codolet, Caderousse, Roquemaure, Aramon, Vallabrègues, Beaucaire, les plus hauts niveaux du Rhône pourraient entraîner des submersions de 3 à 5 m, en l'absence d'ouvrages de protection.

En revanche, ces constructions présentent très fréquemment des formes d'adaptation aux inondations : niveau d'habitation au premier étage alors que le rez de chaussée est occupé par des remises, caves ou garages ou, plus simplement, batardeaux placés aux portes de ce rez de chaussée.

La recherche de témoignages sur les crues historiques relève plutôt de la compétence des historiens et leurs travaux donnent d'excellents résultats (J.C. Meffre *in* Arnaud-Fassetta *et al*, 1993) mais rares sont ceux qui s'y intéressent, ce qui nous a poussés à tenter de les compléter. On peut ainsi, sans trop de difficultés, remonter au XVII^{ème} siècle, grâce aux archives (par exemple, Salvador, 2001) et donc comparer parfois la surface couverte par une inondation donnée avec celle du lit majeur. Jusqu'à maintenant, nous n'avons pas observé de cas de débordement historique au-delà de la limite externe du lit majeur.

L'archéologie est aussi précieuse (Bravard *et al*, 1990) quand elle permet de comparer le niveau actuel du lit majeur à celui contemporain de la construction d'une chapelle ou d'une cathédrale romane (Pyrénées Orientales (Vaison-la-Romaine (Ballais, 1992)) ou encore d'une ferme Louis XIII (Gardon). Il en ressort que les lits majeurs ont tendance à se surélever depuis deux millénaires, au moins dans le Midi méditerranéen français (Ballais *et al*, sous presse).

1 - Le Buëch :

Plusieurs études récentes permettent de montrer cette évolution et sa complexité au cours des derniers siècles. Un premier exemple est fourni par le Buëch (Gautier, 1994). Les travaux d'endiguement, faits à partir de 1770, s'inscrivent dans une phase de très nette intensification de l'activité de la rivière. Au cours des trois dernières décennies du XVIII^{ème} siècle, le bassin subit un accroissement de la fréquence des crues de forte intensité; cette crise morphodynamique s'accroît encore dans les années 1790. Après une relative accalmie, une seconde phase de très forte activité fluviale se manifeste à partir de 1840 et se poursuit jusqu'à la fin du siècle dernier. Cette double recrudescence d'activité a eu des impacts très lourds. Ces crues intenses détruisent les rares installations humaines de la vallée; mais surtout, en provoquant un exhaussement du chenal par accumulation de sédiments, elles entraînent des inondations dans des secteurs jusqu'alors épargnés. Par conséquent, les digues en transformant un chenal large et divaguant en un bras étroit et encaissé constituent la réponse la plus appropriée à ce regain dangereux de dynamique.

Les endiguements sont discontinus, de sorte que cette succession de resserrements

et d'élargissements s'est révélée particulièrement néfaste lors des crues exceptionnelles de 1843, 1856 et 1886. Malgré l'absence, au XXe siècle, d'événements hydrologiques d'une telle intensité, les endiguements influencent toujours la dynamique.

Depuis quelques années (10 à 20 ans selon les endroits), une incision verticale s'est déclenchée dans les secteurs les plus sévèrement aménagés, alors qu'immédiatement en aval, là où le chenal s'épanouit, le matériel s'accumule (et les risques d'inondation en arrière des digues sont accrus).

Les extractions, en excédant très largement les quantités charriées par les cours d'eau créent un déficit sédimentaire que le système compense en reprenant en charge des sédiments jusqu'alors stockés dans le lit. Se déclenchent alors les processus d'érosion progressive et secondairement régressive décrits par de nombreux auteurs. Dans le cas du Buëch, l'érosion progressive déclenchée par les ballastières est importante (entre 2 et 3 m), même si elle demeure relativement modeste par rapport aux 12 m d'enfoncement de l'Arve dans le bassin de Sallanches.

Sur le Buëch, l'enfoncement est bloqué par les alluvions de la nappe fluvio-glaciaire würmienne, dont le calibre dépasse la compétence des crues.

Le déficit sédimentaire créé par les ballastières incite également le cours d'eau à accentuer sa sinuosité car elles transforment un lit à nombreux bras tressés peu profonds en un chenal unique, encaissé et sinueux. La sinuosité permet au système de dissiper son énergie excédentaire en diminuant localement sa pente et de se recharger en sédiments en sapant les berges caillouteuses. Les extractions de granulats sont devenues le principal agent de la morphogenèse fluviale actuelle.

2 – Le Rhône :

Le Rhône présenterait une évolution complexe, sur le temps long. Pardé (1925), précise qu'il existe des indices d'un exhaussement insignifiant du lit du Rhône inférieur : les vestiges d'un ancien pont romain, dégagés près d'Arles, par la crue de 1856, montrent que le niveau des étiages n'a pas varié beaucoup et le pont Saint-Benezet à Avignon et le pont Saint-Esprit ne montrent pas d'ensablements appréciables. En conséquence, le fond du lit serait stable, en dépit de fluctuations secondaires, depuis 10 ou 20 siècles. En revanche, Béthemont (1972, p. 97-98) note que dans la région d'Arles, les vestiges proto-historiques correspondent au niveau de 0,40 m contre 4,40 m pour les vestiges gallo-romains et 6 m pour le niveau actuel, ou encore, qu'au pont de Nizan, près de Roquemaure, 4 m de sédiments rhodaniens recouvrent les tourbes argileuses. En revanche l'accord se fait sur la vitesse importante de l'évolution récente : dans la partie occidentale de la plaine d'Orange, correspondant au champ d'inondation du Rhône, on constate que des martellières mises en place depuis près d'un siècle se trouvent maintenant en contrebas des périmètres qu'elles devraient dominer Béthemont, idem) ; à Avignon, le Rhône montre une forte instabilité avec une tendance à l'exhaussement : étiage à - 0,80 en 1872-1874 puis à + 0,05 en 1917-1918 et - 0,15 en 1920-1921. Ou encore, « d'après les lois de la géographie, les "rapides" doivent se creuser et les secteurs aval s'exhausser; c'est ce qu'on observe à Pont-Saint-Esprit, Roquemaure et Avignon depuis trois quarts de siècle, mais ni à Aramon, ni à Beaucaire. » (Pardé, 1925, p. 800-802).

3 - La région de Clermont Ferrand :

Des études récentes montrent également des tendances à l'accumulation dans les plaines alluviales fonctionnelles, à l'échelle de quelques siècles. Par exemple, J. de Bouard (1994, p. 25 – 48.) montre le fonctionnement de petits cours d'eau proches de Clermont Ferrand. Lors de sa crue du 4 septembre 1764, l'Artière est sorti de son lit, s'est étendu dans toutes les rues du village d'Aubièze et a atteint 6 pieds (1,80 m) de haut dans les bâtiments. Lors de la crue de la Tiretaine du 17 juillet 1835, à

Chamalières, la place de l'église et l'église elle-même furent inondées. D'après la modélisation, la Tiretaine a alors atteint un module spécifique supérieur à 10 m³/s/km², soit de type méditerranéen. Actuellement, la Tiretaine est plus haute que la topographie avoisinante (ex : 38 cm entre le quartier Saint-Alyre et l'usine Michelin). C'est aussi le cas de l'Artière au droit de Notre-Dame de la Rivière (30 cm), d'où, en cas d'inondation, environ 2,50 m d'eau dans le lotissement en contrebas.

4 – Le cas exemplaire de l'Ouvèze :

Un bon exemple d'étude d'archives systématique est fourni par V. Durin (2001). Les registres des délibérations du conseil municipal de Vaison-la-Romaine ont été consultés, dans l'objectif de rechercher des informations sur les crues historiques de l'Ouvèze, et plus particulièrement sur leur extension spatiale.

Le premier travail consistait à recenser toutes les mentions contenues dans ces registres qui concernent les inondations ou peuvent y être reliées. Ce travail extrêmement long a déjà été réalisé à Vaison-la-Romaine, ce qui a grandement facilité la recherche et justifie le choix de cette commune. Il existe ainsi un Inventaire des registres des délibérations de Vaison (1935) de M. Caillet (archiviste départemental) qui reprend les informations les plus intéressantes pour la période 1481-1797, et l'étude réalisée par Ch. Bezin (Conservateur du musée de Vaison et responsable des archives municipales) à la suite de la catastrophe de 1992, qu'elle a aimablement mis à la disposition de V. Durin et qui a consisté à lire toutes les délibérations et à y relever toutes les mentions concernant les inondations. Il est rapidement apparu que ces registres mentionnent très peu les inondations. Ainsi la crue du 21 août 1616 est la seule qui soit signalée pour elle-même. Le secrétaire de Communauté s'est senti obligé de rajouter quelques phrases sur la page de titre du registre (BB 16), ce qui n'était pas nécessaire. Toutefois ces registres signalent, à travers les demandes de travaux, les plaintes relatives aux dégâts occasionnés par les crues de l'Ouvèze.

Il a été nécessaire de vérifier, pour quelques registres, l'exhaustivité du travail de M. Caillet et de Mme Bezin, étant donné que certaines informations auraient pu paraître peu intéressantes à ces personnes alors qu'elles l'auraient été pour une recherche systématique. Cinq registres ont été lus attentivement et entièrement. Pour tous les autres, seuls les sommaires ont été vérifiés. Il a été conclu de ce travail préliminaire qu'il n'était pas pertinent de procéder à une nouvelle lecture des délibérations, qui aurait demandé un temps considérable vu le volume de données et les difficultés de lecture.

L'objectif de l'étude étant d'obtenir des informations spatiales sur les crues passées de l'Ouvèze, les mentions recherchées sont celles associant des parcelles ou quartiers touchés par les crues à des propriétaires. De nombreuses délibérations mentionnent effectivement des propriétaires qui demandent l'autorisation de construire des digues, ou de les réparer, en vue de protéger leurs propriétés des crues de l'Ouvèze. A partir de ces mentions, on a cherché à localiser dans l'espace les propriétés concernées. Il s'est agi de rechercher dans les matrices cadastrales des propriétés foncières (XIX^e siècle) le nom du propriétaire désigné, puis de relever toutes les parcelles qu'il possédait au lieu-dit en question au moment où la délibération a été écrite. Ceci grâce aux informations contenues dans ces matrices, à savoir le nom du propriétaire, le quartier, le numéro, la nature de l'occupation du sol et la date de la transaction (achat ou vente). La complexité de cette recherche a beaucoup varié, principalement en fonction de la précision des délibérations (certaines ne mentionnent pas le prénom du propriétaire, ou le quartier concerné). La précision des résultats est aussi inégale : dans certains cas quelques parcelles seulement répondaient aux critères, tandis que dans d'autres, c'était tout un ensemble.

Une fois des séries de parcelles choisies pour chaque mention, celles-ci ont été localisées sur le plan cadastral (levé en 1826) grâce à leur numéro. Lorsque plusieurs parcelles répondaient aux critères, la logique de leur implantation a parfois pu permettre d'effectuer un dernier tri : par exemple les parcelles situées loin de l'Ouvèze ou sur les collines ont été écartées.

Il a été ainsi possible de localiser spatialement des terrains particulièrement sujets aux crues ou aux érosions latérales au cours des derniers siècles. Cependant les registres des délibérations du conseil municipal de Vaison-la-Romaine ne sont pas très riches en informations sur les crues. Deux raisons principales peuvent être proposées :

- les délibérations d'un conseil municipal concernent surtout les affaires de la commune : règlements de l'instituteur, réparations des fontaines, des passerelles, des chemins vicinaux et bâtiments publics, comptes financiers, budgets, fermes, marchés...

- les inondations semblaient faire partie intégrante du quotidien.

Voici la liste des mentions (les informations concernant la vétusté de la passerelle qui n'offraient pas d'intérêt n'ont pas été retenues) retenues sur la période 1500-1900 :

Registre folio	et Date	Mention textuelle
BB 1 f° 7	3 mai 1501	
BB 3 f° 16	3 mai 1537	
BB 3 f° 131	4 octobre 1549	
BB 10 f° 3	15 septembre 1589	Consultation donnée par M. Nicolas « ingénieur » pour tirer du lit de l'Ouvèze les grosses pierres qui y sont tombées du « Courradour » et pour l'établissement sur les bords de la rivière près de la ville d'un moulin à blé
BB 11 f°90	28 août 1596	Décision de faire enlever et porter dans la maison de ville « les borneaux de fer découverts dans le lit de l'Ouvèze par la dernière inondation
BB 14 f° 304	3 janvier 1610	Débordements répétés sur le moulin à blé de Vaison et dégâts occasionnés
BB 16 f° 1	21 août 1616	Crue extraordinaire de l'Ouvèze, l'eau passant au-dessus du pont, emportant le parapet et ruinant plusieurs maisons du faubourg
BB 16 f° 15	23 août 1616	Décision de faire réparer le pont et d'y faire participer la révérende Chambre Apostolique qui en perçoit le péage
BB 16 f° 19	30 août 1616	Procès-verbal de la visite des ruelles et conduites d'évacuation des eaux de la ville
BB 16 f° 19	18 septembre 1616	Procès avec la révérende Chambre au sujet de la réparation du pont
BB 16 f° 37	30 octobre 1616	Le conseil décide de contraindre le chapitre à y participer
BB 16 f° 51	7 novembre 1616	Adjudication et prix fait de la réparation du pont, de son pavage et de ses parapets, des arcs de pierre au départ des routes de Malaucène et de Saint-marcellin, des oratoires du pont, de la fontaine de la bourgade et de la croix de pierre du pont
BB 17 f° 289	31 mai 1625	Sentence rendue par la Chambre Apostolique séant à Carpentras

		dans l'affaire du moulin à « parour » de Vaison détruit totalement par une inondation de l'Ouvèze, pour lequel le meunier demandait à ne plus payer de redevance
BB 17 f° 302	15 janvier 1626	Requête présentée au recteur par le sieur Blégier d'Anthelon et autre pour obtenir l'autorisation de creuser un canal de dérivation de l'Ouvèze pour irriguer les terres du terroir de Vaison
BB 24 f° 154	23 août 1684	Décision de faire réparer les béals des moulins emportés par une violente crue de l'Ouvèze
BB 26 f° 130	10 août 1701	Lettre du vice-légat aux consuls. Ils devront réparer sans délai le chemin que va du faubourg à la vielle paroisse, dit « Courradou) et qui se trouve le long de l'Ouvèze si étroit et si mauvais qu'on n'y saurait passer sans danger.
BB 28	Octobre 1737	
BB 28 f°350-360	1746	
BB 29 f° 394-395	Février 1757	« le fermier des moulins à blé a souffert des dommages par la dernière inondation et que d'ailleurs les moulins n'ont pas pu moudre pendant quelques jours (bord du susdit Béal a été emporté en partie). Quartier St Laurent Des inondations ont précédé une « bise épouvantable »
BB 30 f°302-308		
BB 30 f° 195 à 197	13 décembre 1772	« la pluie survenue le 20 octobre dernier fit tellement grossir les vallats...que les chemins traversés par les vallats...furent endommagés, et notamment le chemin de Villedieu près de la Chapelle » « plus qu'à l'occasion de la même pluie et l'inondation de la rivière Ouvèze, 17 hommes furent employés à purger le canal » « que les inondations de ladite rivière (...) survenues ensuite des pluies abondantes des 16, 17, 18 novembre et autres jours suivants, ont fait de grands dommages aux réparations qui avaient été faites les années précédentes au dessus du moulin à blé de ladite communauté pour la conduite du fuyant des eaux du moulin et même comblé plusieurs fois le canal dudit fuyant »
BB 30	1779	Réfection du pavement du pont romain
Non coté	Mai 1792	
	Août 1802	
	Novembre 1802	
	Décembre 1817	Réparation des parapets du pont, fixation des dalles qui en font le couronnement, lesquelles par leur état d'ébranlement menaçaient de tomber dans la rivière
	15 mai 1820	« M. le Maire a observé au conseil municipal que les pluies et les

		inondations de l'année dernière avaient considérablement endommagé les chemins vicinaux de la commune et principalement celui de Séguret qui tend à Orange »
	15 mars 1825	Demande de construire un mur de soutènement prenant naissance dans le lit de la rivière pour soutenir le chemin du Courradou qui subit de fréquents éboulements lors des crues (danger pour la circulation). C'est le chemin de la Grande Eglise au quartier Courradou
	1838	La propriété d'Antoine Chave (quartier des Balayres, rive gauche) a été emportée en partie par les dernières crues de cette rivière. Que pour assurer l'existence du restant, il est de toute nécessité de construire une digue en pierre sur le bord de la rivière dans toute l'étendue de sa propriété.
D 6	28 septembre 1839	Projet de rectification de la route n°13 depuis la propriété de M. Gontard jusqu'aux abords de Vaison. « Considérant que la route se construisant sur le nouveau tracé sera non seulement à l'abri d'une détérioration momentanée (...) mais encore d'une destruction complète, ce qui serait dans l'ordre des choses possibles si elle suivait le premier tracé puisque des quais remarquables par leur solidité, ouvrages des Romains et dont on voit encore des vestiges ont été renversés par une crue de la rivière d'Ouvèze »
D 6	mai 1840	« les pluies continuelles ont causé des dégradations sur les chemins des Aires » « le chemin des Aires a été raviné à la fois par les pluies et par les crues du vallon de la Riaille, de telle sorte qu'en l'état ce chemin est impraticable »
D 7 f° 12	29 mai 1842	« Pétition adressée par les Sieurs Terrot frères, Lagier, Peyre et autres à M. le Sous-Préfet pour être autorisé à construire une digue sur la rive droite de l'Ouvèze au quartier des Esclaouzes »
D 7 f° 18	23 octobre 1842	« suite à la pétition du Sieur Terrot et consort demandant à être autorisés à construire une digue insubmersible au quartier des Esclaouzes pour mettre leur propriété à l'abri des irrptions de l'Ouvèze (...), une observation a été faite dans l'intérêt du projet ». « Elle consiste en ce que la dernière crue de la rivière ayant tourné la digue à laquelle M. L'Ingénieur faisait rattacher la digue projetée et l'Ouvèze s'étant formé un lit entre les propriétés Terrot et consorts et la digue ci-dessus désignée, il est indispensable pour atteindre le but proposé qu'une nouvelle modification soit faite au plan et qu'une nouvelle descente sur le terrain ait lieu pour examiner les changements que l'état actuel des lieux commande »
D 7	Janvier 1845	Des terrains sont emportés au quartier St Véran (9 propriétaires sont touchés) « ont l'honneur d'exposer que les crues de la rivière

		d'Ouvèze survenus pendant les mois d'octobre, de novembre et de décembre derniers ont emporté et détruit partie des unes et la totalité des autres »
D 7 f° 81	1846	« les inondés du Vaucluse en 1840 »
D 7 f° 107	1847	Alphonse Liautaud demande l'autorisation d'exhausser une digue pour garantir la prise d'eau de son moulin à farine. Le propriétaire du moulin à farine, quartier de Sous l'Eglise à Vaison a demandé l'autorisation d'exhausser la digue ou massif qui se trouve en tête de la prise d'eau du canal de son moulin, au quartier Taraïn (rive gauche)
D 7 P 831 matrice 2 ?	2 août 1847	Propriété Tussac François, rive gauche, quartier Champferrand, en amont du pont romain : une fraction de la propriété déjà été emporté par les eaux en 1846. « désirant garantir le restant contre de nouvelles crues d'eau et réparer, s'il est possible le fraction déjà emportée, je viens vous prier de vouloir bien m'autoriser à construire un massif de maçonnerie en tête de ma propriété ».
D 7 f°	Août 1847	M. Jamet demande la construction, sur la rive droite, d'un ouvrage destiné à défendre la prairie qu'il possède (quartier Lauzon) contre les inondations
D 7 f° 114	7 novembre 1847	Réparations projetées (sur les digues) par les Sieurs Lioutaud à Taraïns, Jamet à Lauzon et Tussac à Champ-Ferrand
D 8 f° 5	13 avril 1851	Demande d'autorisation formée par les Sieurs Duc Augustin et Chauvin Hypolyte pour la construction d'une digue sur la rive droite de l'Ouvèze au quartier de Lauzon
D 8 f° 14	9 novembre 1851	Réparation de digue : « Demande formée par les Sieurs Peyre Jean-Louis, Peyre Louis-Quenin et Peyre Jean-André (...) d'être autorisés à construire des réparations sur la rive droite de l'Ouvèze en face de leurs propriétés »
	Décembre 1851	Plusieurs membres de la famille Peyre « désirent construire des réparations au quartier de la Tour
D 8 f° 31	Février 1853	Exhaussement et réparation des murs de l'ancien quai en face de la maison Gontard
D 8 f° 40	2 octobre 1853	« Demande formée par le Sieur Curnier Séraphin à l'effet d'être autorisé construire une digue sur sa propriété et les bords de l'Ouvèze au quartier Champferrand » Construction d'une digue : « Demande formée par Melle Guillaume à l'effet d'être autorisé à la maintenance des réparations qu'elle a faite et à construire celles qu'elle se propose de faire sur sa propriété et les bords de l'Ouvèze au quartier de St Véran »
D 8 f° 41	2 octobre 1853	«les demandes en autorisation de faire des réparations sur les bords de la rivière d'Ouvèze deviennent si fréquentes que dans l'intérêt de l'agriculture, (...) pour relier ensemble toutes les réparations qu'on fera plus tard sur les bords de cette rivière, il lui paraît

		convenable de faire dresser un plan général qui embrasserait tout le parcours de l'Ouvèze dans le terroir de la commune »
D 8 f° 41	20 novembre 1853	Demande formée par Ravoux Elisabeth, veuve Boulard à l'effet d'être autorisé à construire une digue sur sa propriété et les bords de l'Ouvèze au quartier de Lauzon
D 8 f° 44	12 mars 1854	Autorisation de réparation sur la propriété sise au quartier Lauzon
D 8 f° 52	11 juin 1854	Digue sur l'Ouvèze : « Pétition formulée par Mr Bertrand de Montfort tendant à obtenir l'autorisation de conserver une digue qu'il possède sur les bords de l'Ouvèze à Vaison quartier de Théos, et de prolonger cette digue pour la défense de ses propriétés »
D 8 f° 74	Novembre 1855	Projet de construction d'une passerelle pour faciliter le déplacement des habitants de la Haute-Ville
D 8 f° 80	17 février 1856	Un plan général du cours de la rivière Ouvèze a été dressé (...) en chef de coordonner dans un même système d'ensemble tous les travaux de défense contre la rivière qui pourront s'exécuter ultérieurement. Ce plan déterminant la largeur du lit de la rivière ; il fixe par cela même l'alignement des divers travaux qui pourront s'exécuter à l'avenir
D 8 f° 94	10 août 1856	Digue Aubéry Jean-Baptiste, Auric et consorts (Carpentras, Fert, Gleyze, Caband, Peyre Louis, et Boulard) : pétition qui a pour objet d'autoriser à construire une digue sur le bord de l'Ouvèze, quartier St-Véran, pour protéger leurs propriétés contre les ravages occasionnés par les crues de la rivière
D 8 f° 110	16 juillet 1857	« Digue Gerbaud ». Sur la demande formée par la dame Veuve Gerbaud dans le but de maintenir un mur de défense construit sur les bords du Lauzon »
D 8 f° 129	12 août 1858	Accord pour la construction d'une digue sur les bords de l'Ouvèze le long de la propriété Montfort à Théos
D 8	14 novembre 1858	Digues Favier, Martin et Guinrand sur les bords du Lauzon
D 9 f° 3	23 février 1862	Demande formée par le Sieur Auguste Vachon d'établir une digue sur le bord de sa propriété le long de la rivière d'Ouvèze
D 9	22 juin 1862	« Demande formée par Mr Sueil Joseph-Philippe Hyacinthe dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir une digue sur la rive gauche de l'Ouvèze »
D 9 f° 17	16 novembre 1862	L'orage du 2 septembre a provoqué la montée des eaux à 3 m 10 au-dessus de l'étiage. Un des piliers de la passerelle a cédé à la violence du courant et avec ce pilier deux des travées ont été retrouvées sur les territoires de Rasteau et Gigondas Demande formée par les Sieurs Brusset, Constantin et Jaussaud dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir dans le lit de l'Ouvèze un mur sur le bord gauche du canal qui amènent les eaux à l'usine

		(...) » « autorisés à établir une prise d'eau sur le rive droite de la rivière Ouvèze destiné mettre en jeu un moulin à farine. Comme le canal d'appel établi dans les graviers de l'Ouvéze est emporté à la moindre crue »
D 9 f° 20	1 mars 1863	« la crue de l'Ouvéze arrivée dans la nuit du 7 janvier dernier et qui à peu de chose près a été aussi forte que celle du 2 septembre 1962 a détruit entièrement les travaux en cours d'exécution du rétablissement des deux travées de la passerelle
D 9 f° 30	14 février 1864	« alors que le chemin vicinal de Villedieu était interceptés par les « travaux exécutés pour le rétablissement du barrage qui avait été emporté par l'orage du 2 septembre 1962
D 9 f° 38	1 novembre 1864	Demande formée par les Sieurs Beyner et consorts dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir une digue sur la rive droite de l'Ouvéze le long de leurs propriétés au quartier de Théos « Demande formée par M. Joseph Leydier représentant Mme Veuve de Montfort (...) dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir une digue et une martellière de prise d'eau sur la gauche de la rivière d'Ouvéze »
D 9 f° 41	4 décembre 1864	Melle Aubéry née Plantevin demande l'autorisation pour établir un mur le long de l'Ouvéze pour protéger contre les corrosions la propriété qu'elle possède
D 9 f° 43	14 mai 1865	Demande formée par Sieur J. Peyre dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir des travaux de défense sur les bords de l'Ouvéze à Vaison. Demande d'autorisation de M. Guilhermier pour réparer une digue établie dans le lit de l'Ouvéze
D 9 f° 90	10 août 1867	Travaux rue des Dominicains : murs de soutènement renversés lors de l'orage du 27 juin 1867
D 9 f° 90	10 novembre 1867	Le maire expose au conseil qui a fait reconstruire l'aqueduc de la rue des Dominicains et le mur de soutènement qui furent renversés par l'orage du 27 juin dernier et qui a fait faire l'enrochement de pile de la passerelle de l'Ouvéze, dont les fondations avaient été mises à découvert par les eaux de la rivière ...
D 9 f° 118	5 août 1869	Demande de Leydier Joseph d'établir au bord de sa propriété le long du ravin du Pommerol et de la rivière Ouvèze un mur pour défendre cette propriété contre la corrosion des eaux
D 9 f° 137	31 décembre 1870	« Demande formée par Mr Maillet Jean François Grégoire dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir des travaux de défense sur les bords de Lauzon »
D 10 f° 20	1 septembre 1875	« Demande formé par le Sieur Mathieu Barthélémy à l'effet d'établir des constructions le long de l'Ouvéze et du Lauzon, au confluent de ces deux rivières pour défendre sa propriété contre

		les corrosions des eaux »
D 10 f° 108	13 mars 1881	Redressement du chemin du Barthanot
D 10 f° 120	21 mai 1882	M. Bourret, architecte a dressé des plans et devis des travaux à exécuter pour réparer la passerelle sur l'Ouvèze ébranlée par une crue d'eau en date du 30 août 1881
D 10 f° 139	10 juillet 1884	Projet d'un barrage de l'Ouvèze au quartier de Théos pour l'alimentation du canal d'arrosage de la commune de Roaix
D 10 f° 157	14 juin 1885	« Demande présentée par le Sieur Vincent Félix dans le but d'obtenir l'autorisation d'établir le long de l'Ouvèze, quartier St Véran des travaux destinés à protéger sa propriété contre les corrosions de cette rivière »
D 11 f° 149	2 novembre 1890	Lettre de M. le Préfet : « il y a quelques jours des inondations qui ont menacé notre département ont porté la désolation et la ruine dans un département voisin » (l'Ardèche). « La solidarité nous fait un devoir de leur venir en aide et de leur rendre à notre tour ce qu'ils ont fait pour nous en 1886, lorsque notre département fut si cruellement atteint »
D 12 f° 26	19 janvier 1893	Etat du matériel et des approvisionnements ont été emportés ou détériorés par les crues du Lauzon des 17 et 31 juillet 1892
D 13 f° 221	1 juin 1902	Eboulement de murs de soutènement suite aux pluies du mois d'avril
D 15 f° 103	13 novembre 1910	« travaux qui ont été effectués au mur du quai de l'Ouvèze (...) qui menaçait de s'écrouler, par suite de l'affouillement provoqué par les eaux »

Nom du ou des propriétaires désignés dans la délibération	Quartier ou lieu désigné	Année de la délibération	Parcelles possédées par le propriétaire dans le quartier désigné à la date de la délibération	Parcelles les plus probablement concernées par les mentions des délibérations	Page de la matrice cadastrale (nom du propriétaire)
Chave Antoine	Rive gauche	1838	Feuille D : 569 Feuille H : 88, 363, 413, 534	Feuille D : 569	P 252
Terrot Lagier Peyre	Esclaouzes , rive droite Feuille G	1842	422, 510, 511 429, 432, 436, 437, 446, 474, 477, 91, 92 501 à 509	422, 510, 511 429, 432, 474 501 à 509	P 816 et 1212
Lioutaud Alphonse	Sous l'Eglise Feuille D	1847	Aucune parcelle ne semble correspondre		P 548
Tussac François	Champferrand, rive gauche Feuille D	1847	29, 30, 35	29, 30	P 1096
Jamet	Lauzon, rive droite, une prairie Feuille C	1847	991, 992, (985 à 990 acquises en 1847	992	P 1087
Peyre Jean Louis Peyre Jean Quenin Peyre Jean André	La Tour, rive droite Feuille F	1851	616 à 624, 636, 638 à 643 616 à 624, 636, 638 à 643 608 à 611, 616 à 624	608 à 611, 616 à 624	P 1257 P 161 P 1263
Duc Augustin Chauvin Hypolyte	Lauzon, rive droite Feuille C	1851	937, 950 à 953 938 , 939, 945, 948 (936 acquise en 1851)	937 945, 948, 936	P 1102 P 907
Mme Guillaume	St Véran Feuille E	1853	68 à 77, 85 à 96, 98, 102, 103, 107 à 112, 114 à 116, 119, 120, 125, 128 à 135, 149, 159bis, 165 à 172	68 à 77, 85 à 96, 98, 107 à 112, 114 à 116, 119, 120, 125, 128 à 135, 149	P 875
Curnier Sérapiin	Champferrand Feuille D	1853	Aucune parcelle ne semble correspondre		P 1576
Veuve Boulard, née Elisabeth Ravoux	Lauzon Feuille C	1853	804, 810 à 813, 816, 817, 820, 821, 824, 825, 859	804, 816, 817, 820, 821, 824, 825	P 1369
Bertrand de	Théos	1854	568 à 581, 583, 584, 591 à	568 à 581, 583,	P 99

Montfort	Feuille G		593, 615 à 617, 626	584	
Aubéry Jean-Baptiste Auric Carpentras Fert Peyre Louis Boulard	St Véran Feuille E	1856	303 104, 106, 113, 119, 121 à 124, 126, 127, 136 à 148, 156 à 163, 192, 196 144, 164 83, 84 105, 150, 297, 298 157, 158	83, 84, 105, 106, 113, 119, 121 à 124, 126, 127, 156, 159, 160 à 163, 297, 298	P 28 P 964 P 698 P 147
Veuve Gerbaud	Bord du Lauzon Feuille C	1857	882 à 888, 945	882 à 886	P 394
Favier Martin Guintrand	Bord du Lauzon Feuille C	1858	906, 690 904 ?	904, 906	P 660 P 1201
Sueil Joseph-philippe-Hyacinthe	Rive gauche	1862	Feuille D : 570, 573 à 579	570, 573 à 579	P 1406
Vachon Auhuste		1862	Feuille C : 129, 130, 181, 217, 218, 276 à 279, 644, 645, 647, 690, 924, 948 Feuille H : 29, 30 Feuille D : 580, 581 Feuille G : 811	Feuille D : 580, 581	P 1064
Beynet	Théos Feuille G	1864	625, 655, 656		P 109
Mme Aubéry, née Plantevin		1864	Feuille B : 639, 640 Feuille C : 792	Feuille C : 792	P 1371
Guilhermier		1865	Non trouvé		
Leydier Joseph	Long de l'Ouvèze et du Pommerol Feuille G	1869	842		
Maillet Jean François Grégoire	Bord du Lauzon Feuille C	1870	Non trouvé		
Mathieu Barthélémy	Confluence de l'Ouvèze et du Lauzon Feuille C	1875	816 à 833 936	816 à 833 936	p 1699
Vincent Félix	St Véran	1885	Non trouvé		

5 – Le problème de la surélévation des lits majeurs :

Ainsi souvent mise en évidence, la surélévation du niveau topographique de la plaine alluviale fonctionnelle par suite de l'accumulation de dépôts sédimentaires peut produire des effets dramatiques quand elle se combine à l'effet de barrage du à un aménagement transversal. La vallée de l'Aude présente une illustration remarquable de ce phénomène, du fait de l'ancienneté des ouvrages de franchissement qui barrent certaines plaines alluviales : 200 ans environ pour le canal de jonction traversant en remblai le lit majeur de l'Aude ; plus de 300 ans pour le canal du Midi qui recoupe plusieurs vallées affluentes de rive gauche de l'Aude. Dans ces cas, le stockage temporaire des eaux de crues en amont des obstacles provoque la sédimentation des matières en suspension. Il s'en suit, sur une longue période, une modification géomorphologique de la plaine alluviale ; ainsi, dans le cas de l'Argent Double par exemple, le talus séparant le lit majeur de la terrasse rissienne, très marqué à l'aval de l'ouvrage, est effacé à l'amont, ce qui se traduit par l'extension du champ d'inondation sur la terrasse alluviale.

Ces observations viennent compléter des résultats déjà acquis sur d'autres vallées comme celles du Gardon d'Anduze ou de l'Ouvèze (Bonté *et al*, 2001), où sans même la présence d'obstacles transversaux anthropiques, des sédimentations rapides ont pu être observées et partiellement datées par mesures de radio-isotopes radioactifs et recoupements avec des relevés de fouilles. Il est ainsi apparu que l'épaisseur des dépôts pouvait atteindre 0,20 à 0,30 mètres pour une seule grande crue (celle de 1958 sur les Gardons, en particulier). Ainsi s'explique l'inondabilité de plusieurs villages des plaines de l'Aude, à l'amont du canal de jonction. Certains de ces villages, pourtant implantés initialement sur la terrasse rissienne, ont été recouverts de 1 à 2 mètres d'eau (cas de Sallèles et de Raissac).

Ce phénomène, qui affecte peu ou prou un linéaire sans doute important (mais aujourd'hui non encore déterminé) de vallées françaises, imposera à coup sûr à l'avenir de reconsidérer les stratégies actuelles de prévention et de protection (Masson, 1993). Il pose entre autres le problème de la fiabilité des résultats des traitements statistiques portant sur les crues historiques, lesquelles sont aujourd'hui prises en compte dans l'hypothèse implicite de la non évolutivité des lits majeurs.

Afin de tenter de prévoir l'évolution du risque d'inondation dans le Midi méditerranéen, nous partirons de l'hypothèse que, dans un avenir proche, les tendances de l'évolution récente se maintiendront. Pour cela, il est donc nécessaire de caractériser cette évolution récente. Plus précisément, nous devons à nouveau tester l'hypothèse suivante : est-ce que la tendance séculaire à l'accumulation des lits majeurs se poursuit aujourd'hui ? La réponse à cette question devrait permettre de mieux connaître la dynamique actuelle des cours d'eau méditerranéens et, par conséquent, de mieux connaître les zones inondables en cas de crue et leur évolution prévisible dans un avenir proche.

Le rythme de l'accumulation peut cependant avoir varié beaucoup dans le temps. L'utilisation de méthodes de datation systématiques devrait permettre de préciser dans quelle mesure la sédimentation a pu être régulière ou non, et par conséquent de prévoir les évolutions à venir.

La datation des phases de cette dynamique sera obtenue par l'utilisation de méthodes variées : méthodes isotopiques, méthodes historiques et archéologiques. A côté du ¹⁴C habituellement utilisé, et au sein des alluvions, deux sortes de marqueurs

peuvent théoriquement être utilisées: des marqueurs chimiques, polluants introduits dans l'environnement à une époque donnée, comme le sulfate de cuivre par exemple, et des marqueurs radioactifs naturellement répartis de manière uniforme à l'échelle d'un bassin versant, que nous appellerons "marqueurs radioactifs environnementaux". C'est ce deuxième type de marqueurs que nous avons choisi de rechercher. Parmi eux, les marqueurs événementiels sont des isotopes d'éléments radioactifs qui ont été introduits dans l'environnement lors d'un événements précis, alors qu'ils n'existent pas naturellement sur la Terre. Il s'agit d'abord du ^{137}Cs , de 30,2 ans de période radioactive, introduit une première fois sur toute la surface de la planète à partir de 1945 mais essentiellement entre les années 1953 et 1963, conséquence des essais thermonucléaires en atmosphère. Une deuxième marque temporelle nous est donnée par les retombées de l'accident de la centrale de Tchernobyl, en Ukraine, le 26 avril 1986. Nous utiliserons également le ^7Be , qui a une très courte période radioactive (53 jours) et le ^{210}Pb .

6 – Conclusion :

Au total, si l'évolution séculaire continue, si la tendance à l'accumulation d'alluvions dans le lit majeur des cours d'eau méditerranéens se poursuit, deux conséquences principales. La première est le réexamen des analyses statistiques car ils remettent en question le principe, jamais énoncé, mais qui sous tend implicitement les études du risque d'inondation basées sur la connaissance des crues historiques, à savoir l'invariabilité des conditions de formation des crues enregistrées depuis 100 à 200 ans, voire plus. Dans ces conditions, le fait que les crues anciennes aient pu s'étendre sur un plancher alluvial de niveau topographique inférieur à l'actuel impose de revoir à la hausse tous les calculs permettant de déterminer les lignes d'eau de ces crues de projet. La deuxième est que, en termes de risque et d'aménagements, les considérations précédentes donnent un nouvel éclairage aux situations d'inondabilité auxquelles sont soumis les sites alluviaux et, avec eux, les urbanisations. Ainsi, peut s'expliquer le fait que des noyaux urbains anciens soient aujourd'hui inondables, comme Bédarrides ou, dans la vallée de l'Aude, Raissac et Sallèles.

De telles perspectives imposeraient de graves choix de gestion auxquels les acteurs sociaux intervenant actuellement dans la gestion des cours d'eau sont peu préparés.

Références bibliographiques :

Amoros C., Petts G.E. (sous la direction de) (1993) - *Hydrosystèmes fluviaux*. Col. Ecologie, Masson, Paris, 300 p.

Arnaud-Fassetta G., Ballais J.L., Béghin E., Jorda M., Meffre J.C., Provansal M., Roditis J.C., Suanez S. (1993) - La crue de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992). Ses effets morphodynamiques, sa place dans le fonctionnement d'un géosystème anthropisé, *Revue de Géom. Dyn.*, 2, 34-48.

Ballais J.-L. (1992) – *Rapport sur les observations effectuées dans le secteur de Pomorol à Vaison-la-Romaine le 29 juin 1992*. 2 p., inédit.

Ballais J.L. (1995) - Alluvial Holocene terraces in eastern Maghreb : Climate and anthropogenic controls, *In* J. Lewin, M.M. Macklin, J.C. Woodward eds *Mediterranean Quaternary River Environments*, A.A. Balkema, Rotterdam, 183-194.

Ballais J.L., Ségura P. (1999) – La catastrophe de Vaison la Romaine (22 septembre 1992) : une inondation dans un géosystème anthropisé, *In* P. Gabert, J. Vaudour eds *Risques naturels*, éditions du CTHS, Paris, 41-48.

Bonté P., Ballais J.-L., Masson M., Ben Kehia H., Eyraud C., Ghram A., Garry G. (2001). - Datations au ^{137}Cs , ^{134}Cs et ^{210}Pb de dépôts de crues du XXe siècle, *in* J.-N. Barrandon, P. Guibert, V. Michel eds *Datation*, APDCA, Antibes, p. 141-157.

- Bouard de J. (1994). – *Approche du risque pluvial extrême sur l'agglomération de Clermont-Ferrand*, Mémoire de 3^{ème} année, ENGEE Strasbourg, 90 p. + annexes.
- Boyer S. (2001). – *Les inondations du Gardon d'Anduze de la période moderne à nos jours*, Mémoire de Maîtrise, Université de Provence, 106 p.
- Bravard J.P., Bot-Helly A., Helly B., Savay-Guerraz H. (1990) - Le site de Vienne (38), Saint-Romain (69), Sainte-Colombe (69). L'évolution de la plaine alluviale du Rhône, de l'Age du Fer à la fin de l'Antiquité : proposition d'interprétation, *Archéologie et Espaces*, APDCA, Juan-les-Pins, 437-452.
- Bravard J.P., Petit F. (1997) – *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*, Armand Colin, Paris, 222 p.
- Coque R. (1993). – *Géomorphologie*, A. Colin, Paris,
- Durin V. (2001). – *Recherches géomorphologiques et historiques sur les crues de l'Ouvèze*, Mémoire de DEA, Université de Provence.
- Fabre G., Lequeux J.M., Scheurer P. (1994) - Hydraulique pluviale à Nîmes après le 3 octobre 1988. *La Houille Blanche*, n° 8, 6-11.
- Garry G. (1985) - *Photo-interprétation et cartographie des zones inondables*, Ministère de l'environnement, Ministère de l'équipement, éditions du STU, Paris, 74 p.
- Garry G., Graszka E. (1999) - *Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR) : risques d'inondation, Guide méthodologique*, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Equipement, Documentation Française, Paris, 123 p.
- Gautier E. (1994). - Les aménagements de la vallée du Buëch (Hautes-Alpes et Alpes de Haute-Provence) du XVIII^e siècle à nos jours : un exemple de l'intensification et de l'accélération des bouleversements de la morphogenèse fluviale par l'homme, in J. RISER éd. Aménagement et gestion des grandes rivières méditerranéennes, *Etudes Vauclusiennes*, Avignon, n° spécial 5, p. 43-48.
- Lambert R., Gazelle F., Gholami M., Prunet C. (2001) - La cartographie informative des zones inondables. L'exemple de Midi-Pyrénées. Actes du colloque " *Au chevet d'une catastrophe* ", Presses universitaires de Perpignan, Perpignan, 147-164.
- Livet M. (s.d.). – *Apport de l'information historique à l'appréciation du risque hydrologique extrême. Cas de l'agglomération clermontoise*, 17 p. + 13 fig.
- Masson M. (1983) - *Essai de cartographie des champs d'inondation par photo-interprétation*. Rapport CETE Aix en Provence-STU, 47 p.
- Masson M. (1993) - Après Vaison-la-Romaine - Pour une approche pluridisciplinaire de la prévision et de la planification. *Revue de Géom. Dyn.*, 2, 73-77
- Masson M., Garry G., Ballais J.-L. (1996) – *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Editions Villes et Territoires, Paris La Défense, 100 p.
- Pardé M. (1925). - *Le régime du Rhône. Etude hydrologique*, Grenoble, Allier père et fils, 2 vol : 887 p + 440 p.
- Salvador P.-G. (2001) – L'évolution holocène de la plaine alluviale de l'Isère dans l'ombilic de Moirans (Isère, France). *Quaternaire*, vol. 12, n° 1-2, 127-135.
- Tricart J. (1974) - Phénomènes démesurés et régime permanent dans les bassins montagnards (Queyras et Ubaye, Alpes françaises), *Revue de Géom. Dyn.*, 3, 99-114.
- Veyret Y. (sous la direction de) (1998) – *L'érosion entre nature et société*. Dossiers des Images Economiques du Monde, SEDES, Paris, 339 p.

LES ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES

Le but des analyses sédimentologiques (granulométrie, microgranulométrie, taux de carbonate de calcium et de matière organique) est de permettre de reconstituer les conditions de dépôts des alluvions carottées dans le lit majeur de l'Aude par le Laboratoire Régional de Toulouse. Compte tenu du très grand nombre d'échantillons, les analyses n'ont encore donné que des résultats préliminaires. Les résultats complets seront fournis dans le rapport final. Les premières données obtenues confirment la relative grossièreté de la plupart des échantillons mais aussi leur appartenance incontestable à un lit majeur.

ANNEXE : PROJETS DE PUBLICATIONS

Ballais J.L., Bonté P., Masson M., Garry G., Ben Kehia H., Eyraud C., Ghram A.
- L'évolution du lit majeur des cours d'eau méditerranéens français au cours du XXème siècle : conséquences pour leur aménagement , proposé à *Géomorphologie*

Ballais J.-L., Masson M., Garry G. – Préviation et aménagement des zones inondables – Apports de la méthode hydrogéomorphologique, proposé à *Disasters*

Masson M., Garry G., Ballais J.-L. – *La méthode hydrogéomorphologique* , accepté par *La Documentation française*.

