HAL
open science

L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur

Jean-Louis Ballais, Philippe Bonte, Marcel Masson, Gérald Garry, Houyem Ben Kehia, Cyrille Eyraud, Aziza Ghram

To cite this version:

Jean-Louis Ballais, Philippe Bonte, Marcel Masson, Gérald Garry, Houyem Ben Kehia, et al.. L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur. Bulletin de l'Association de géographes français, 2004, Risques naturels, risques de sociétés, 81 (1), pp.64-74. 10.3406/bagf.2004.2366 . hal-01569813

HAL Id: hal-01569813

https://amu.hal.science/hal-01569813

Submitted on 27 Jul 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.

Persee

Jean-Louis Ballais
Monsieur Philippe Bonté
Monsieur Marcel Masson
Gérald Garry
Houyem Ben Kehia
Cyril Eyraud
Aziza Ghram

L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur (The evolution of flood risk by mediterranean rivers : the part of accumulation in the flood plains)

In: Bulletin de l'Association de géographes français, 81e année, 2004-1 (mars). Proximités spatiales dans la ville. Risques naturels, risques de sociétés. pp. 64-74.

Résumé
Dans de nombreux cours d'eau méditerranéens français, l'accumulation des formations fines du lit majeur commence au cours de l'Antiquité et se prolonge pendant les périodes médiévale, moderne et contemporaine. La datation isotopique des derniers dépôts de crue du Gardon d'Anduze et de l'Ouvèze montre que cette tendance a perduré au cours de la deuxième moitié du XXe siècle. Les nombreux aménagements effectués ou prévus doivent prendre en compte cette évolution.

Abstract
The growth of the Mediterranean flood plains in France began during classical Antiquity. The fine-grained fluvial formations where accumulated during the Middle Age and the modern and contemporary periods. Using isotopic age dates, we are able to show that this trend goes on during the second part of the XXth century. Spatial planning must take this evolution into account.

Citer ce document / Cite this document :

Ballais Jean-Louis, Bonté Philippe, Masson Marcel, Garry Gérald, Ben Kehia Houyem, Eyraud Cyril, Ghram Aziza. L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur (The evolution of flood risk by mediterranean rivers : the part of accumulation in the flood plains). In: Bulletin de l'Association de géographes français, 81e année, 2004-1 (mars). Proximités spatiales dans la ville. Risques naturels, risques de sociétés. pp. 64-74.

doi : 10.3406/bagf.2004.2366

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bagf_0004-5322_2004_num_81_1_2366

L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur

(THE EVOLUTION OF FLOOD RISK BY MEDITERRANEAN RIVERS: THE PART OF ACCUMULATION IN THE FLOOD PLAIN)

Jean-Louis BALLAIS*, Philippe BONTÉ**, Marcel MASSON, Gérald GARRY****, Houyem BEN KEHIA*, Cyril EYRAUD*, Aziza GHRAM****

Persée BY: creative commons

RÉSUMÉ. – *Dans de nombreux cours d'eau méditerranéens français, l'accumulation des formations fines du lit majeur commence au cours de l'Antiquité et se prolonge pendant les périodes médiévale, moderne et contemporaine. La datation isotopique des derniers dépôts de crue du Gardon d'Anduze et de l'Ouvèze montre que cette tendance a perduré au cours de la deuxième moitié du XXe siècle. Les nombreux aménagements effectués ou prévus doivent prendre en compte cette évolution.*

Mots-clés : lit majeur, crues inondantes, datations isotopiques, zones inondables.

ABSTRACT. – *The growth of the Mediterranean flood plains in France began during classical Antiquity. The fine-grained fluvial formations where accumulated during the Middle Age and the modern and contemporary periods. Using isotopic age*

* Institut de Géographie et UMR ESPACE CNRS, Université de Provence; ballais@aixup.univ-aix.fr

** Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette, France ; bonte@mailhost.lsce.cnrs-gif.fr

*** CETE Méditerranée, Département H.A.C.E., Aix-en-Provence Cedex 3, France ; marcel.masson@equipement.gouv.fr

**** Ministère de l'Equipement, Direction G.U.H.C., La Défense, gerald.garry-@equipement.gouv.fr

dates, we are able to show that this trend goes on during the second part of the XXth century. Spatial planning must take this evolution into account.

Key words: flood plain, floods, isotopic dating, flood-prone areas.

Introduction

Dans le midi méditerranéen français (fig. 1), de récentes inondations catastrophiques à Nîmes (1988), Vaison-la-Romaine (1992), Aix-en-Provence (1993), Nicc (1996) et dans les départements de l'Aude (1999) et du Gard (2002), pour ne citer que les plus graves, sont venues rappeler le danger que représentent les constructions dans les lits majeurs des cours d'eau. Certes, ce danger était connu (Gabert et Nicod, 1982; Ballais, 1998), mais il avait tendance à être oublié ou négligé. Or, les enjeux ne sont pas minces car il s'agit de milliers de locaux d'habitation, d'usines, et d'entrepôts, de nombreux centres commerciaux (Aix les Milles, Pertuis, Vaison-la-Romaine) et de dizaines de milliers de personnes qui sont menacés.

Face à ce risque, nous avons voulu tester l'hypothèse suivante: la tendance séculaire à l'accumulation dans les lits majeurs se poursuit-elle 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 délimiter les zones inondables en cas de crue et leur évolution prévisible dans un avenir proche.

1. Une tendance séculaire à l'accumulation dans les lits majeurs

Une tendance historique à l'accumulation de limons dans le lit majeur du Rhône a été mise en évidence et, plus récemment encore, dans un certain nombre de ses affluents.

1.1. L'accumulation dans le lit majeur du Rhône

A la suite des données pionnières (Pardé, 1925), puis systématiques (Béthemont, 1972), les études géoarchéologiques se multiplient (Bravard *et al,* 1990; Berger et Jung, 1995; Berger, 1996) et confirment l'extension de cette accumulation au Rhône méditerranéen: 2 m dans la plaine du Tricastin et à Lapalud (Ballais, 1997), 1 à 3 m dans la plaine d'Orange, 2,50 m à 4,50 m dans les îles (Ballais et Meffre, 1997). Plus à l'aval, dans le delta, les mêmes limons historiques sont observés (Arnaud-Fassetta et Landuré, 1997).

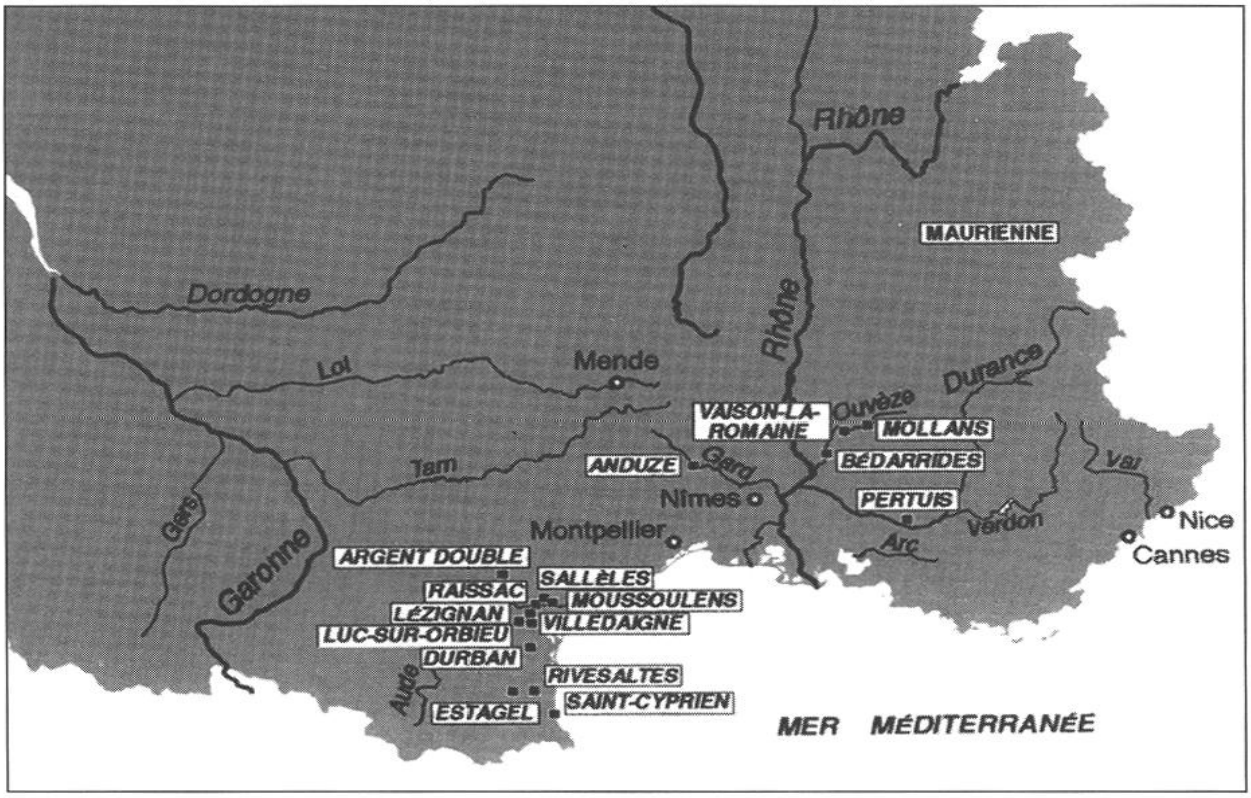

Fig. 1.

L'âge du sommet de l'accumulation reste en général mal connu, mais il est attribué à la période moderne à contemporaine dans le Tricastin et la plaine d'Orange (Berger et Jung, 1995).

1.2. L'accumulation dans le lit majeur des affluents et sous-affluents du Rhône

Tout récemment, on a montré que l'accumulation des limons (plus ou moins sableux) dans le lit majeur de plusieurs affluents du Rhône (Ouvèze, Aigues et Durance) et de plusieurs de leurs affluents se poursuivait également depuis des siècles. Dans l'Ouvèze, à Vaison-la-Romaine, des limons se sont accumulés sur 1,70 m (Arnaud-Fassetta *et al,* 1993) à 3 m d'épaisseur (Ballais, 1992) depuis la période antique, dont 1 m depuis la construction de la cathédrale romane. Sur l'Aigues, au nord d'Orange, une argile grise post-antique, surmontée de limons bruns s'est accumulée sur 1,5 m à plus de 2,9 m (Meffre et Ballais, 1996). Dans la Durance, la tendance à l'accumulation de la plaine alluviale se marquerait plus tardivement, à partir des décennies 1350-1360 et se poursuit au moins jusqu'à la fin du XIXe siècle (Miramont, 1998).

1.3. L'accumulation dans le lit majeur d'autres cours d'eau méditerranéens

Sur de nombreux cours d'eau méditerranéens français, quand un aménagement (route, voie ferrée, canal) coupe transversalement une plaine alluviale fonctionnelle, le taux de sédimentation s'accroît à l'amont, preuve de la tendance à l'accumulation. De bons exemples s'observent ainsi sur l'Eze (affluent de la Durance), dans les basses plaines de l'Aude et dans la plaine du Roussillon.

1.4. Des indices d'une prolongation de l'accumulation à l'époque contemporaine

Pour des périodes plus récentes, le cas le plus net est celui de l'Argent-Double, affluent de l'Aude, sur lequel les mesures effectuées avec un GPS ont montré une «sursédimentation» de plus de 3 m à l'amont du canal du Midi, donc depuis 1681 (Chave, 2002). Des affluents de l'Ouvèze, à l'amont de Vaison-la-Romaine, montrent des accumulations importantes, telle la Riaille (3 à 4 m de dépôts à Entrechaux).

Cette tendance à l'accumulation dans les lits majeurs coïncide avec une phase majeure de colluvionnement sur les versants due à l'extension maximum des terres cultivées pendant la période moderne et le début de la période contemporaine. Dans le même temps, une tendance au creusement du lit mineur s'affirme dans les roches meubles. Dans ces conditions, l'ancien lit mineur devient lit majeur, ses dépôts grossiers et souvent en lentilles se recouvrent de sables et de limons, voire d'argiles, finement lités.

2. La continuation de l'accumulation pendant la deuxième moitié du XXe siècle

Les rythmes d'accumulation mentionnés ci-dessus ont évidemment beaucoup varié au cours du temps. L'utilisation de méthodes de datation systématiques doit permettre de préciser dans quelle mesure la sédimentation a pu être régulière ou non, et par conséquent de prévoir les évolutions à venir. C'est dans cette perspective que nous avons testé les possibilités offertes par les datations radio-isotopiques. Dans un premier temps, seules les méthodes adaptées à la période la plus récente, correspondant aux données les plus fiables relatives aux caractéristiques des crues historiques, ont été retenues.

2.1. Le choix des stratigraphies étudiées

Afin de tester la continuation de la tendance à l'accumulation dans les lits majeurs, nous avons procédé à trois carottages : un dans le lit majeur du Gardon d'Anduze à Attuech (en 1996) et deux dans le lit majeur de l'Ouvèze (en 1998) : un à Vaison-la-Romaine et un à Bédarrides (fig. 1). Ce choix a été dicté par la bonne connaissance des sites et de leur histoire (Masson, 1993 ; Masson *et al,* 1996 ; Arnaud-Fassetta *et al,* 1993). Une carotte a été prélevée dans chaque site, le carottage étant prolongé à travers toute l'épaisseur de limons jusqu'à ce qu'il soit bloqué dans les graviers et galets sous-jacents (fig. 2).

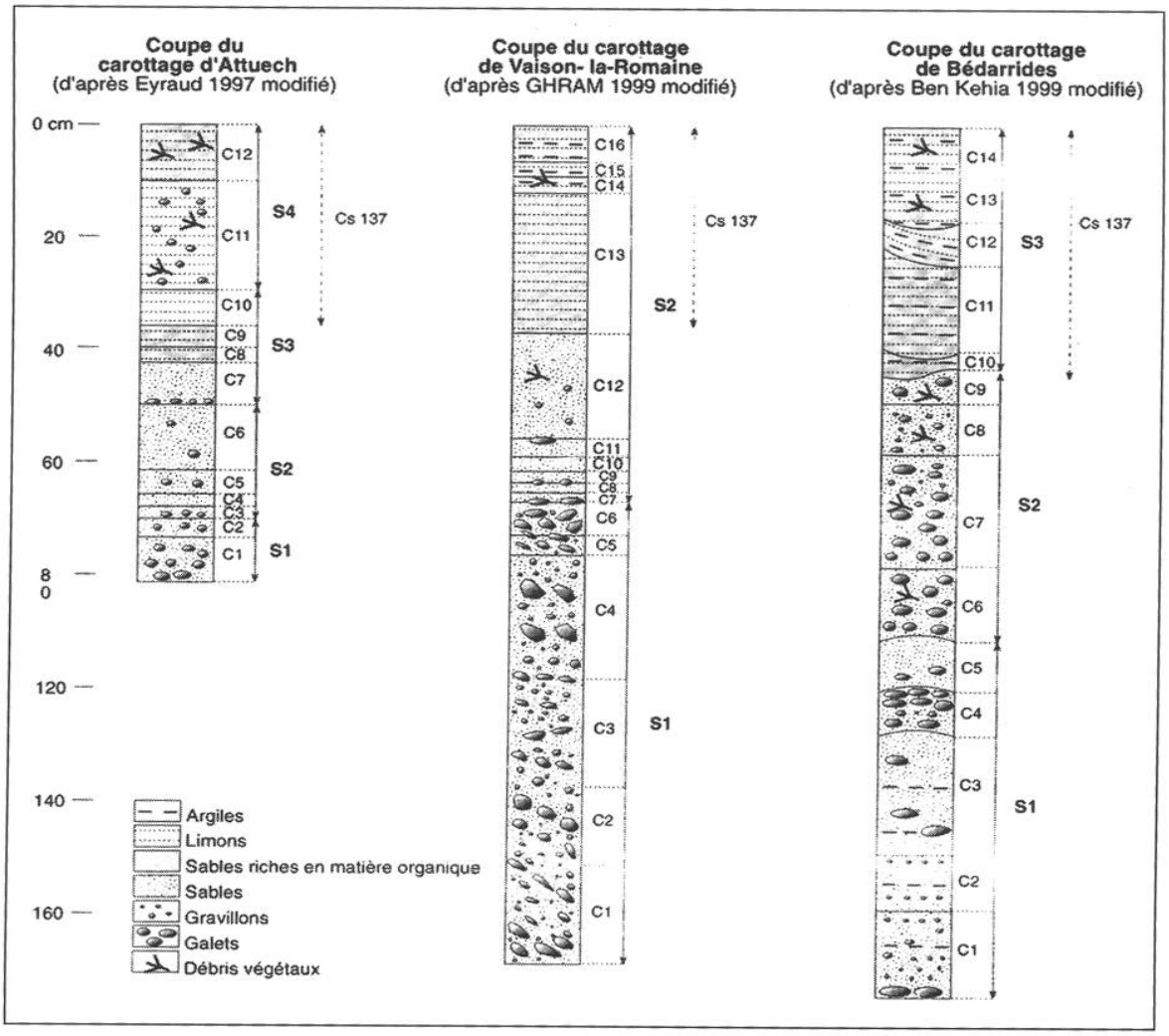

Fig. 2.

2.2. Les informations apportées par les radio-isotopes environnementaux

Les deux marqueurs événementiels qu'on peut espérer détecter sont le ^{137}Cs et le ^{134}Cs, radio-isotopes artificiels introduits dans l'environnement à deux périodes bien connues, celle des tests thermonucléaires dans l'atmosphère (1955-1963) et l'accident de Tchernobyl, début mai 1986 (Cambray *et al,* 1989). En raison de sa période radioactive de 2,06 ans, le ^{134}Cs des bombes est totalement indétectable de nos jours ; en revanche celui de l'accident de Tchernobyl pouvait encore être détectable à la fin des années 90 dans certains sites du sud-est de la France (Charmasson *et al,* 1998 ; Rostan *et al,* 1997).

La carotte du lit majeur du Gardon d'Anduze à Attuech

Les résultats concernant les radio-isotopes artificiels sont consignés dans le tableau 1. Il apparaît nettement que les deux séquences les plus profondes sont antérieures aux années 1950. La troisième séquence est plus complexe puisqu'aucune activité de ^{137}Cs n'est détectée dans la couche C7, alors que la couche C8 a une activité assez forte (11.7 Bq/kg). La quatrième séquence est également postérieure aux années 1950, avec toutefois une activité assez faible à sa base (4.7 Bq/kg). En surface, l'activité de ^{137}Cs est particulièrement élevée (33.9 Bq/kg). Dans cette dernière couche, la présence de ^{134}Cs indique un dépôt marqué par les retombées de Tchernobyl. Les radio-isotopes naturels confirment et précisent ces informations (tableau 2).

La carotte du lit majeur de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine

Seules les couches C13 et supérieures montrent une mise en place depuis les années 1950 (tableau 3). Dans la couche de surface, nous n'avons pas détecté la présence de ^{134}Cs.

La carotte du lit majeur de l'Ouvèze à Bédarrides

Les cinq couches de la troisième séquence ont été analysées. Elles sont toutes postérieures aux années 1950, le marquage par le ^{137}Cs y est très net (tableau 4). L'activité de ^{137}Cs décroît régulièrement des couches les plus superficielles aux plus profondes. L'empreinte de Tchernobyl, le ^{134}Cs, est en dessous de la limite de détection.

2.3. Conclusion

Ces datations par les radio-isotopes environnementaux montrent que la partie supérieure de l'accumulation constituant les lits majeurs du Gardon d'Anduze et de l'Ouvèze s'est déposée postérieurement à 1955. Pour le Gar-

Tableau 1. Radio-isotopes artificiels de la carotte du lit majeur du Gardon à Attuech.

	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986	^{134}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986	^{137}Cs bombes
E1S1-12	33,9 +- 0,4	0,37 +- 0,14	43,3 +- 0,5	13,0 +- 4,8	13,6
E1S1-11$_{milieu}$	16,6 +- 0,3	< 0,30	21,1 +- 0,3	< 10,5	16,6
E1S1-11$_{base}$	4,7 +- 0,3	< 0,46	6,0 +- 0,4	< 16,3	4,7
E1S1-8	11,7 +- 0,3	< 0,28	15,0 +- 0,3	< 9,8	11,7
E1S1-7	< 0,4	< 0,37	< 0,5	< 13,2	0,0
E1S1-6	< 0,4	< 0,43	< 0,5	< 15,2	0,0
E1S1-3	< 0,4	< 1,17	< 0,6	< 41,4	0,0
E1S1-1	< 0,5	< 0,47	< 0,7	< 16,5	0,0

Tableau 2. Radio-isotopes naturels de la carotte du lit majeur du Gardon à Attuech.

	^{210}Pb (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	$^{210}Pb_{xs}$ (Bq/kg)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
E1S1-12	92,2 +- 2,0	42,3 +- 0,3	50 +- 2	2,70 +- 0,03	3,4 +- 0,03	13,8 +- 0,1
E1S1-11$_{milieu}$	62,1 +- 1,7	45,8 +- 0,3	16 +- 2	2,82 +- 0,02	3,7 +- 0,02	15,4 +- 0,1
E1S1-11$_{base}$	63,5 +- 3,6	43,4 +- 0,5	21 +- 4	2,79 +- 0,04	3,5 +- 0,04	15,9 +- 0,2
E1S1-8	57,5 +- 1,6	37,7 +- 0,3	20 +- 2	2,77 +- 0,02	3,0 +- 0,02	13,2 +- 0,1
E1S1-7	34,6 +- 2,6	28,5 +- 0,4	< 8	2,89 +- 0,03	2,3 +- 0,03	10,5 +- 0,1
E1S1-6	26,6 +- 2,1	28,1 +- 0,4	< 6	2,86 +- 0,04	2,3 +- 0,03	10,1 +- 0,1
E1S1-3	35,3 +- 4,1	32,0 +- 0,4	< 13	2,89 +- 0,03	2,6 +- 0,03	13,9 +- 0,1
E1S1-1	40,2 +- 2,7	32,3 +- 0,5	< 8	2,70 +- 0,04	2,6 +- 0,04	11,1 +- 0,1

don d'Anduze, si plusieurs crues se sont produites depuis, la seule très importante et la plus forte du XXe siècle, est celle de l'automne 1958. Les crues suivantes, en particulier celles postérieures à avril-mai 1986, n'ont pas recouvert l'ensemble du lit majeur, à l'exception de celle de septembre 2002 survenue après le carottage. En conséquence, toute la séquence supérieure, soit plus de 30 cm, s'est déposée lors de cet épisode de très forte magnitude.

Pour l'Ouvèze, à Vaison-la-Romaine, là aussi, un seul grand épisode de crue est connu dans la deuxième moitié du XXe siècle, la catastrophe du 22 septembre 1992. La sous-séquence supérieure de la séquence supérieure (tableau 3), soit également plus de 30 cm, a donc été déposée par cette crue rare. A Bédarrides, en plus de la crue de 1992, une autre crue importante s'est produite en 1994, alimentée plus par le réseau des Sorgues que par l'Ouvèze.

Tableau 3. Radio-isotopes artificiels de la carotte du lit majeur de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine.

	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986	^{134}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986
$V2_c$	9,9 +- 0,3	< 0,53	12,6 +- 0,4	< 18,9
$V2_b$	11,0 +- 0,2	< 0,31	14,0 +- 0,2	< 11,1
$V2_{a6}$	0,3 +- 0,1	< 0,34	0,4 +- 0,1	< 11,9

Tableau 4. Radio-isotopes artificiels de la carotte du lit majeur de l'Ouvèze à Bédarrides.

	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986	^{134}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986
BC5	15,4 +- 0,3	< 0,37	19,7 +- 0,3	< 13,1
BC4	10,4 +- 0,3	< 0,64	13,3 +- 0,4	< 22,5
BC3	8,0 +- 0,4	< 0,92	10,2 +- 0,5	< 32,7
BC2	7,0 +- 0,2	< 0,36	8,9 +- 0,2	< 12,7
BC1	5,7 +- 0,2	< 0,43	7,3 +- 0,3	< 15,4

Les radio-isotopes ne permettent pas de séparer les dépôts des deux crues, en raison de leur âge trop proche. Cependant, ils indiquent que toute la séquence supérieure, soit 48 cm, a été accumulée par les crues de 1992 et 1994.

Il est donc établi, dans le cas du Gardon d'Anduze et de l'Ouvèze, tous les deux affluents méditerranéens du Rhône mais drainant des bassins versants de lithologies très différentes, que l'accumulation continue dans leur lit majeur au cours du XXe siècle.

3. Les conséquences en termes d'aménagement

3.1. Le réexamen des analyses statistiques

Ces premiers résultats présentent un très grand intérêt en terme d'aménagement, particulièrement en ce qui concerne la prévention des inonda-

tions. En effet, ils remettent en question le principe, jamais énoncé, mais qui sous-tend implicitement les études du risque d'inondation fondées 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 cette hypothèse et en l'absence de nivellements topographiques correspondant aux crues anciennes, les calculs de probabilités, déterminant les hauteurs d'eau en fonction des périodes de retour types (crues dites « de projet ») de 10, 50 ou 100 ans, sont effectués à partir d'une base topographique supposée constante, qui est celle du niveau topographique actuel de la plaine alluviale.

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 dérive potentielle est importante si l'on tient compte des résultats présentés ci-dessus, faisant état de dépôts de 0,3 m au cours d'une seule grande crue ou de rythmes de sédimentation de 0,10 à 0,25 m par siècle, sans même retenir les cas particuliers comme celui des basses plaines de l'Aude.

Cette hypothèse donne sens au constat mis en évidence par des études hydrologiques, faisant état de cotes de lignes d'eau de crue croissantes depuis 100 ou 200 ans. Il y aurait donc lieu dans ces cas de réévaluer les calculs hydrauliques, particulièrement ceux concernant les fréquences faibles (Q_{100} et Q exceptionnel), et dans le sens d'un accroissement de l'aléa avec le temps. Cette révision doit alors s'appuyer sur une analyse du rythme de la sédimentation au cours de la période de référence et sur une projection de cette tendance dans l'avenir.

Une conséquence secondaire de ce constat réside dans la prudence à observer vis-à-vis de la précision avec laquelle sont fournis les résultats des calculs hydrauliques. Il s'avère nécessaire d'évaluer leur marge d'erreur, qui peut être d'autant plus importante que la connaissance de l'évolution du lit majeur est plus approximative.

Il reste à prendre en compte le fait que l'évolution de ce lit majeur varie sans doute fortement de l'amont à l'aval d'une vallée et d'une vallée à l'autre. Certainement limitée dans les parties amont et moyenne, elle est maximale dans la partie aval (Schumm, 1977). Elle varie également en fonction de la géologie, du climat et de la couverture végétale caractérisant le bassin versant. Certaines variables, comme la couverture végétale, peuvent s'être modifiées fortement au cours de la période historique récente. Tous ces aspects seront donc à intégrer désormais dans les études prévisionnelles de l'aléa de l'inondation.

3.2. L'évolution de l'inondabilité de sites alluviaux

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 Warcq, dans la vallée de la Meuse, Raissac et Sallèles dans celle de l'Aude.

Cette situation est vraisemblablement généralisée à toutes les agglomérations implantées dans la partie aval des bassins versants, c'est-à-dire là où la sédimentation détritique fine est la plus active. Elle est également prévisible, plus à l'amont, dans des conditions géomorphologiques particulières, comme à l'entrée de gorges imposant la surélévation des lignes d'eau en crue (gorges du Gardon) ou dans des secteurs affectés par des mouvements néotectoniques. Le constat de cette situation nécessite la mise au point de nouvelles stratégies de protection de zones anciennement urbanisées sur ces sites ayant subi une évolution géomorphologique accélérée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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*, 2, 34-48.

ARNAUD-FASSETTA G., LANDURÉ C., 1997. – Occupation du sol et contraintes fluviales dans le delta du Rhône (France du Sud). *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes*, XVIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Juan-les-Pins, APDCA, 285-308.

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., 1997. – *Observations géomorphologiques et géoarchéologiques le long du tracé du gazoduc (Lapalud, La Motte du Rhône)*. Rapport inédit, 3 p.

BALLAIS J.-L., 1998. – The south of France and Corsica. *In* Conacher A.J., Sala M. (Eds.): *Land degradation in Mediterranean environments of the world*, J. Wiley, Chichester, 29-39.

BALLAIS J.-L., MEFFRE J.-C., 1997. – Le problème de la stabilité des îles du Rhône pendant la période historique au sud du confluent actuel du Rhône et de l'Aigues. *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes*, XVIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Juan-les-Pins, APDCA, 309-317.

BERGER J.-F., 1996. – *Le cadre paléogéographique des occupations du bassin valdainais (Drôme) à l'Holocène*. Thèse, Paris 1, 320 p.

BERGER J.-F., JUNG C., 1995. – *Opération Fossés et Voirie, TGV ligne 5 – Secteur II, Avignon-Valence*. Orange, coordination AFAN-TGV, n.p.

BÉTHEMONT J., 1972. – *Le thème de l'eau dans la vallée du Rhône. Essai sur la genèse d'un espace hydraulique*. Saint-Etienne, Chez l'auteur, 642 p.

BRAVARD J.-P. *et al*, 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 Espace*, Xe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Juan-les-Pins, APDCA, 437-452.

CAMBRAY R.S., PLAYFORD, K, and CARPENTER, R.C., 1989. – Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1988. *U.K. Atomic Energy Authority Report*, AERE-R-10155, HMSO.

CHARMASSON S., BOUISSET P., RADAKOVITCH O., PRUCHON A., ARNAUD M., 1998. – Long-core profiles of ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{60}Co and ^{210}Pb in sediment near the Rhone river (Northwestern Mediterranean Sea). *Estuar.*, 21 (3), 367-378.

CHAVE S., 2002. – Pertinence de la cartographie hydrogéomorphologique dans l'approche des inondations rares à exceptionnelles: exemples de sept bassins fluviaux dans les Corbières et le Minervois, *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 4, 297-306.

GABERT P., NICOD J., 1982. – Inondations et urbanisation en milieu méditerranéen. L'exemple des crues récentes de l'Arc et de l'Huveaune. *Méditerranée*, 3.4, 11-24.

MASSON M., 1993. – Après Vaison-la-Romaine. Pour une approche pluridisciplinaire de la prévision et de la planification. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 2, 73-77.

MASSON M., GARRY G., BALLAIS J.-L., 1996. – *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Ministère de l'Equipement, Ministère de l'Environnement, Paris, 100 p.

MEFFRE J.-C., BALLAIS J.-L., 1996. – Le cadastre B d'Orange et la géoarchéologie du cours inférieur de l'Aigues et du Bois d'Uchaux. *In* Chouquer G. (Ed.): *Les formes des paysages*, 2, Errance, Paris, 67-80.

MIRAMONT C., 1998. – *Morphogenèse, activité érosive et détritisme alluvial holocènes dans le bassin de la moyenne Durance (Alpes françaises du Sud)*. Thèse, Université de Provence, 286 p.

PARDÉ M., 1925. – *Le régime du Rhône. Etude hydrologique*. Grenoble, Allier père et fils, 2 vol., 887 + 440 p.

ROSTAN J.C., JUGET J., BRUN A.M., 1997. – Sedimentation rates measurements in former channels of the upper Rhone river using Chernobyl ^{137}Cs and ^{134}Cs tracers. *Sci. Total Environ.*, 193 (3), 251-262.

SCHUMM S.A., 1977. – *The fluvial system*, J. Wiley and Sons, New-York, 338 p.

Manuscrit reçu le 10 septembre 2003 ; accepté définitivement le 10 décembre 2003