



Quatre lits pour un cours d'eau? L'émergence du lit moyen et du lit majeur exceptionnel

Virginie Delorme-Laurent, Sylvain Chave, Christophe Esposito, Jean-Louis Ballais

► To cite this version:

Virginie Delorme-Laurent, Sylvain Chave, Christophe Esposito, Jean-Louis Ballais. Quatre lits pour un cours d'eau? L'émergence du lit moyen et du lit majeur exceptionnel. Au fil de l'eau, 2009, Clermont-Ferrand, France. pp.243-266. hal-01571435

HAL Id: hal-01571435

<https://amu.hal.science/hal-01571435>

Submitted on 2 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.



Au fil de l'eau

Ressources, risques et gestion
du Néolithique à nos jours

Études réunies et présentées par
Christèle BALLUT et Patrick FOURNIER



Quatre lits pour un cours d'eau ? L'émergence du lit moyen et du lit majeur exceptionnel

Virginie DELORME-LAURENT, Sylvain CHAVE,
Christophe ESPOSITO et Jean-Louis BALLAIS

Introduction

À l'intérieur de la plaine alluviale fonctionnelle des cours d'eau, deux formes de lits fluviaux ont été précocement reconnues en domaine tempéré (Leopold *et al.*, 1964 ; Derruau, 1962) : le *channel* (*low water bed*) ou lit mineur et la *floodplain* (*high water bed*) ou lit majeur. Le concept de *channel* est rapidement apparu très fécond grâce aux possibilités de modélisation qu'il permettait (Biro, 1981) et il a ainsi fourni une base pour des centaines d'articles de dynamique fluviale aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en Allemagne, en Espagne, en France...

Mais la *floodplain* est restée longtemps négligée car non modélisable : sa complexité a été mise en évidence dès 1978 par Lewin, puis par Gupta (1983) et par Nanson et Croke (1992). En France, c'est l'irruption de la problématique des risques naturels initiée par la loi Tazieff du 13 juillet 1982 qui a provoqué un nouvel intérêt pour les formes de la vallée fluviale susceptibles d'être inondées (Masson *et al.*, 1996 ; Garry *et al.*, 2002 ; Ballais *et al.*, 2007). La précision des études demandées (échelles du 1/20 000 au 1/5 000) a mis en évidence de nouveaux objets géomorphologiques, deux nouvelles formes : le lit moyen ou *intermediate flow channel* (Masson *et al.*, 1996 ; Ballais *et al.*, 2007), puis le lit majeur exceptionnel ou *exceptional high water bed* (Chave, 2003 ; Chave, Ballais, 2006).

Le lit moyen, reconnu assez rapidement par des chercheurs français (Beltrando, 2004 ; Cosandey, 2003), est maintenant devenu un composant à part entière de la cartographie des zones inondables en France. Le lit moyen est une surface horizontale ou subhorizontale qui, dans son détail, a une topographie très irrégulière, due à la présence de chenaux de crue formés par les courants provenant du lit mineur. En général, la base des chenaux est constituée de matériaux très grossiers, parfois recouverts par des dépôts de fin de crue (limons et argiles). Au-delà des quelques lignes qui lui ont été consacrées par Masson *et al.* (1996), et à la lumière des études récentes (Delorme-Laurent, 2007), il est devenu nécessaire de caractériser plus systématiquement et plus précisément son fonctionnement hydrologique.

Le lit majeur exceptionnel n'a été mis en évidence qu'à la suite des inondations de l'Aude, en 1999, et il n'a encore fait l'objet que de brèves allusions dans des publications très récentes (Chave, Ballais, 2006 ; Ballais *et al.*, 2007). Le lit majeur exceptionnel tout comme le lit majeur ordinaire est une surface horizontale ou subhorizontale constituée d'une formation fine, en général limono-argileuse, et localisée au-dessus du lit majeur ordinaire. Dans la perspective de recherches futures, tout particulièrement pour la cartographie des zones inondables, et afin d'éviter toute confusion avec l'emploi erroné de ce concept qui a pu apparaître dans certaines études, il est devenu nécessaire de définir précisément le lit majeur exceptionnel à la lumière des encore rares exemples reconnus aujourd'hui.

La présente communication se donne pour objectif de présenter les analyses effectuées sur le lit majeur exceptionnel et sur le lit moyen de plusieurs cours d'eau (Ouvèze, Orbieu, Vilaine, oueds), afin de caractériser les dynamiques observées, le degré d'inondabilité, donc le danger potentiel. L'identification de l'ensemble de ces lits permet d'apporter un diagnostic du risque précis et complet, que les aménageurs et décideurs pourront intégrer dans les documents de planification et d'urbanisation.

Nous abordons dans un premier temps les analyses relatives à leur fonctionnement hydrologique, puis proposons les hypothèses relatives à leur genèse et leur évolution.

Mise en évidence du fonctionnement hydrologique des lits moyens et des lits majeurs exceptionnels à partir des exemples de l'Ouvèze et de l'Orbieu

Les bassins-versants étudiés

L'Ouvèze prend sa source dans le massif des Baronnies à la montagne de Chamouse. Longue de 123 km, elle rejoint le Rhône à l'ouest de Carpentras (Arnaud-Fassetta *et al.*, 1993). Son bassin-versant représente plus de 2 000 km² si l'on comprend le bassin de la Sorgue (1 100 km²). L'Ouvèze est une rivière soumise à un climat de type subméditerranéen (précipitations moyennes de 736 mm/an — données Météo France, station d'Orange) qui présente un régime hydrologique de type méditerranéen (Pardé, 1968) : les modes se situent en novembre et en janvier et la faiblesse des débits estivaux est nettement marquée.

Les inondations les plus dévastatrices, comme celle du 22 septembre 1992, ont lieu lors des fortes précipitations automnales (Arnaud-Fassetta *et al.*, 1993 ; Flageollet *et al.*, 1993).

L'Orbieu prend sa source dans le massif de Mouthoumet, sur la commune de Fourtou (Aude). Après un parcours long de 85 km à travers les Corbières, il vient confluer avec l'Aude à Raissac d'Aude. Son bassin-versant, orienté sud-sud-ouest/nord-nord-est, s'étend sur une superficie de 750 km². L'Orbieu présente un régime (pluvio-nival de type méditerranéen — Chave, 2003)

complexe, influencé par le climat méditerranéen mais aussi par les perturbations atlantiques ainsi que par la fonte des neiges des Corbières (précipitations moyennes de 603 mm / an — données Météo France, station de Carcassonne). Même si le module est inférieur à 5 m³/s, l'Orbieu a déjà atteint 1 130 m³/s lors de la crue du 7 décembre 1996 et environ 2 500 m³/s pour celle du 12 novembre 1999 (SIEE, 1998 ; SOGREAH, 2002 ; cités dans Chave, 2003).

Méthodologie

L'objectif est de définir les hauteurs d'eau nécessaires à la mise en eau des différents lits des deux cours d'eau, afin de caractériser la fréquence de submersion de ces formes. Elle a consisté à comparer les hauteurs d'eau atteintes à des stations de référence avec des données acquises par levés de terrain au moyen d'un GPS différentiel (précision altimétrique centimétrique).

Dans le cas de l'Orbieu (fig. 1), les données GPS ont été acquises juste en amont de la station de mesure limnimétrique de Luc-sur-Orbieu, qui fait partie du réseau de prévision de crues (Service de Prévision des Crues Méditerranée Ouest). Nous avons ensuite déterminé les altitudes minimales des différentes surfaces puis les hauteurs d'eau seuils pour lesquelles l'eau commence à les recouvrir. Des calculs de pente ont été effectués afin que les altitudes minimales des différents lits soient reportées sur l'échelle (altimétrie NGF).

La chronique des hauteurs de pointe de crue a été analysée sur la période 1960-2005 et a permis de réaliser l'analyse souhaitée (DDE 11, 2006).

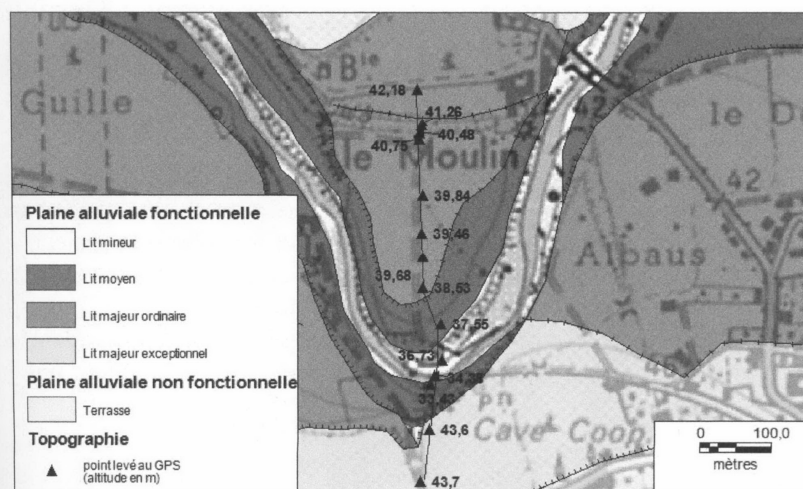


Fig. 1: L'Orbieu: localisation du profil étudié et des points levés au GPS, (V. Delorme-Laurent, 2007 ; d'après S. Chave, 2003).

Dans le cas de l'Ouvèze, les données GPS résultent d'un travail de géomètres complété par les mesures effectuées dans le but de tester la méthode intégrée (Chave, 2003 ; Chave, Ballais, 2006) sur cette rivière (Carex Environnement, 2003).

La station de référence est celle de Vaison-la-Romaine. Elle fait partie du réseau du Service de Prévision des Crues Grand Delta. Elle offre, malgré les crues des années 1990 et un emplacement influencé par le pont neuf et le verrou rocheux du pont romain, une chronique de relevés suffisante pour l'analyse de l'inondabilité des différents lits de l'Ouvèze, conformément à celle réalisée pour l'Orbieu.

Les données hydrométriques utilisées sont issues de trois sources différentes :

- une recherche d'archives dans lesquelles des hauteurs d'eau en mètres NGF ont été indiquées (Durin, 2001) ;
- des relevés fournis par les observateurs par la DDE du Vaucluse ;
- des données fournies par le Service de Prévision des Crues du Grand Delta.

Résultats

L'Orbieu

Submersion	Côte altimétrique en m NGF atteinte à la station
"0" de l'échelle	33
Lit moyen	36,7
Lit majeur ordinaire	38,7
Lit majeur exceptionnel	42,6

Tab. 1: Altitude de submersion des différents lits de l'Orbieu à Luc-sur-Orbieu, (V. Delorme-Laurent, 2007).

Les données altimétriques sont fournies au droit de la station hydrométrique de Luc-sur-Orbieu et permettent de mettre en évidence qu'une hausse du niveau de l'Orbieu de 3,7 m inonde le lit moyen. Cette hausse doit être de 5,7 m pour inonder le lit majeur ordinaire et de 9,6 m pour inonder le lit majeur exceptionnel. Les valeurs seuils obtenues sont tout à fait cohérentes avec les observations réalisées sur le terrain (Delorme-Laurent, 2007).

Toutes les données historiques ont été triées et classées selon le mois pendant lequel l'événement est survenu (tab. 2). Les valeurs seuils déterminées précédemment ont ensuite été recherchées.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2,66	3,13	3,40	2,96	3,63	2,75			5,39	5,70	3,20	3,02
3,01	3,52	4,85	4,73	2,72				4,79	2,70	4,07	2,62
3,27	4,79	2,78	3,67	2,89				2,98	5,41	4,65	2,95
3,15	4,90	4,12	4,39	4,31				3,52	5,11	4,67	2,82
2,66	3,46	3,04	3,50	4,04				2,69	3,93	5,18	3,00
3,82	3,45	3,16	4,74	2,74					3,22	6,20	4,05
5,30	5,00	3,36	3,34	4,64					5,98	3,10	2,59
4,55	2,53	2,57	2,94	3,03					6,12	3,33	2,67
3,74	4,31	2,57	3,77						3,76	3,36	2,85
3,52	2,11	2,50	4,52						3,85	4,84	3,36
2,88	1,73	3,59	3,01						3,88	3,43	2,94
2,96	4,56	2,77	1,57						3,20	10,50	3,33
3,59		3,04							4,99	6,75	3,42
3,32		2,53							5,12		4,16
3,03		3,14							6,12		5,17
2,53		2,80							3,29		3,00
2,56									5,06		5,00
2,55									3,30		3,21
6,09									3,11		7,10
									5,00		5,56
									2,93		5,46
									5,46		

Tab. 2 : Historique des crues de l'Orbieu à Luc-sur-Orbieu de 1960 à 2005, (V. Delorme-Laurent, 2007 ; d'après les données de la DDE de l'Aude).

Depuis 1960, 7 crues ont inondé le lit majeur ordinaire et 22 crues ont inondé le lit moyen. Les lits moyens peuvent fonctionner en ablation lors des crues les plus intenses qui se produisent généralement en automne et ils peuvent fonctionner en accumulation lors des crues de plus faible intensité qui surviennent le plus souvent en automne, mais qui peuvent également survenir en hiver et au printemps. Ces résultats montrent qu'il existe bien une liaison entre le régime pluviométrique et le régime hydrologique.

L'Ouvèze

Dans le cas de l'Ouvèze, en raison du déplacement de la station après la crue de septembre 1992, deux séries de données ont été traitées.

Submersion	Côte altimétrique en m NGF atteinte à la station
"0" de l'échelle	188,9
Lit moyen	192,1
Lit majeur ordinaire	196

Tab. 3: Altitude de submersion des différents lits de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine, (V. Delorme-Laurent, 2007).

Ces résultats permettent de montrer qu'au droit de la station de Vaison-la-Romaine le lit moyen commence à être inondé lorsque la valeur seuil de hauteur d'eau de 3,2 m est atteinte et le lit majeur ordinaire commence à être inondé lorsqu'elle atteint 7,1 m. Ces valeurs sont, comme pour l'Orbieu, en adéquation avec les résultats obtenus lors de la modélisation hydraulique du bureau d'étude Carex Environnement.

Nous présentons dans les tableaux ci après le traitement des données historiques de hauteurs d'eau classées selon le mois d'occurrence. Le premier tableau (tab. 4) reprend les données de la DDE du Vaucluse et les recherches d'archives effectuées par Durin (2001) sur la période 1935-1994 (station du Pont Neuf). Les valeurs seuils déterminées précédemment ont ensuite été recherchées.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	1,75	1,3	0,8	0,8	0,7	1,2	1,95	1,2	1,55	2	3,25
1	1,4	0,9	0,85	1,4	2,7		1,75	0,9	2,05	2,3	2,95
1	0,9	0,7	1,1	1,4			1,75	0,7	2,35	1,2	2,95
1,2	1	1	2,2	1,2			0,9	1,3	1,6	1,9	2,4
0,7	0,7	1,1	1,9				0,7	0,9	1,1	1,1	1,5
0,8	0,8	1,2	0,7				0,75	0,8	1,6	2,5	1,4
	1,2	1,1	0,8					1	0,9	1,7	1,4
	0,9	1,1	0,7					0,8	2,2	1,2	0,7
	1	1	1,7					>3,4	1,4	1,4	1,1
	2,3	1,3	0,9						0,7	0,9	0,8
	1,2		0,8						0,7	0,8	0,8
	1,2								0,7	0,9	-
	1,1								0,7		
	0,85								2,35		
	2										
	1										
	1,3										
	1,1										

Tab. 4: Historique des crues de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine de 1935 à 1993, (V. Delorme-Laurent, 2007; d'après les relevés des observateurs fournis par la DDE du Vaucluse et Durin, 2001).

Le second tableau (tab. 5) réalise le même traitement sur la chronique de la station de mesure installée le 29 novembre 1993 ; les données sont fournies par le SPC du Grand Delta.

L'analyse de ces résultats montre que la répartition saisonnière des crues inondantes de l'Ouvèze est différente de celle de l'Orbieu. Le plus grand nombre de crues qui ont inondé le lit moyen se situe en automne (cinq crues), mais l'hiver est également une saison où ce nombre est élevé avec quatre crues. Le lit majeur ordinaire a été inondé deux fois en automne, une fois en hiver et une fois au printemps. Ceci confirme le rôle important des pluies automnales méditerranéennes. En revanche, l'absence de crue inondant le lit moyen au printemps est moins en accord avec les observations précédentes.

Ces résultats confirment également la liaison qui existe entre le régime pluviométrique, le régime hydrologique moyen et l'apparition des crues.

L'exemple de l'Ouvèze montre l'importance du régime hydrologique moyen. En effet, si peu de crues inondantes surviennent au printemps, c'est peut être parce que la rivière est dans une phase décroissante de son régime hydrologique moyen. Elle est donc moins affectée par les pluies de printemps qui sont de plus faible intensité.

Ces travaux sur deux cours d'eau de deux régions différentes mais aux caractéristiques climatiques proches soulèvent de nouvelles interrogations. En effet, l'Orbieu présente un nombre de crues inondantes nettement supérieur à celui de l'Ouvèze alors que la période traitée est moins longue. Le fait que deux cas seulement aient été étudiés ne permet de pas de proposer le critère déterminant expliquant ces différences. Cependant, des hypothèses peuvent être émises. En effet, les deux cours d'eau présentent des influences méditerranéennes, mais l'Orbieu présente aussi des influences atlantiques alors que l'Ouvèze présente davantage des influences montagnardes (nivosité du Ventoux). Cette différence peut également être due au rôle des sociétés humaines puisque selon un agent de la DDE du Vaucluse, les aménagements postérieurs à la crue de 1992 sur l'Ouvèze (stabilisation du lit par enrochements) sont efficaces pour lutter contre les crues qui auraient pu déborder en lit moyen. Celles-ci sont dorénavant contenues dans le lit mineur.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
3,20	1,00	1,00	2,47	1,46	1,23	2,58	1,05	1,00	1,10	2,01	1,12
1,27	2,64	1,39		1,75	1,03			26,3?	1,34	3,52	1,15
1,00	1,21	1,37		1,4	1,01			2,17	1,43	1,55	1,03
1,58		10,86		1,26					1,11	1,22	7,63
1,63									1,59	1,05	1,27
1,47										2,05	1,65
6,48										1,82	2,83
10,91										2,33	
5,06										1,28	
1,39										1,62	
										1,26	

Tab. 5: Historique des crues de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine de 1993 à 2005, (V. Delorme-Laurent, 2007 ; d'après les relevés du limnigraphe automatique du SPC du Grand Delta).

Vers une remise en cause des fréquences théoriques ?

Sur l'Orbieu, entre 1960 et 2005, le lit majeur exceptionnel n'a fonctionné qu'une seule fois, le lit majeur ordinaire a fonctionné 9 fois (dont 1 fois en même temps que le lit majeur exceptionnel) alors que le lit moyen a fonctionné 52 fois (dont 8 fois en même temps que le lit majeur ordinaire et une fois en même temps que les deux lits majeurs). Fort logiquement, le lit moyen fonctionne donc plus fréquemment que les autres lits. De plus, on constate que les hauteurs d'eau qui le submergent sont très variables, allant de 0,04 m à 6,80 m.

Les inondations du lit majeur ordinaire atteignent une fréquence moyenne de 1 fois tous les 5,6 ans. Ce résultat remet en question la fréquence de submersion que Masson *et al.* (1996) attribuent aux lits majeurs ordinaires (rare ou centennale). Cependant, il faut noter ici que les hauteurs d'eau qui ont affecté le lit majeur ordinaire sont inférieures à 1 m pour 6 valeurs sur 9. Ainsi, compte-tenu de la pente transversale du lit majeur ordinaire (descendante du distal au proximal), il est fort probable que ces crues ont tout juste débordé en lit majeur ordinaire distal. Seules, une à deux crues ont envahi le lit majeur ordinaire de manière plus ou moins importante (la dernière crue n'étant pas prise en compte puisqu'elle affecte également le lit majeur exceptionnel). La fréquence serait donc réduite à une crue tous les 22,5 ou 45 ans, pour la partie distale du lit majeur ordinaire.

Le lit majeur exceptionnel n'a été inondé qu'une seule fois pendant la période étudiée. Il est donc impossible de définir une fréquence de submersion pour ce lit.

Pour l'Ouvèze, entre 1935 et 2005, le lit majeur ordinaire a fonctionné 4 fois et le lit moyen a fonctionné 12 fois, donc lui aussi plus fréquemment que le lit majeur ordinaire. Comme pour l'Orbieu, les hauteurs d'eau qui l'ont submergé sont très variables, allant de quelques centimètres à plusieurs mètres.

Les inondations du lit majeur ordinaire ont une période de retour de 17,4 ans puisque celui-ci a été inondé 4 fois en 70 ans. Comme pour l'Orbieu, cette valeur remet en cause les fréquences théoriques que Masson *et al.* (1996) ont attribuées aux différents lits. Cependant, la hauteur d'eau d'une des crues qui a submergé le lit majeur ordinaire est inférieure à 1 m. Compte-tenu de la pente transversale, il est fort probable qu'elle n'ait envahi qu'une part restreinte de la surface du lit. Ainsi, trois crues ont envahi le lit majeur ordinaire de manière plus importante. La fréquence de submersion est donc de 23,3 ans pour la partie distale.

Genèse et évolution des lits moyens et des lits majeurs exceptionnels

Les lits moyens : une forme ambiguë

Un fonctionnement saisonnier conditionné par le régime hydrologique moyen

La genèse et l'évolution du lit moyen sont liées au régime hydrologique du cours d'eau. Sur les cours d'eau méditerranéens les précipitations sont très contrastées, apportant des pluies extrêmes (plusieurs centaines de litres d'eau au m²) à l'origine de crues morphogènes (novembre 1999, septembre 2002, juin 2010). Durant les crues qui s'en suivent, les débordements généralisés s'accompagnent d'un fort hydrodynamisme. Les hauteurs d'eau importantes ainsi que les vitesses d'écoulement élevées transforment le lit moyen du cours d'eau. Des processus d'ablation s'opèrent et chassent les éléments fins et moyens du lit moyen. Des blocs et des éléments grossiers sont, dans le même temps, déposés à sa surface. Lors de crues plus fréquentes, les débordements sont marqués par un hydrodynamisme plus faible apportant des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement plus modérées qui permettent le dépôt d'éléments plus fins, modelant le lit moyen sans transformation notable.

Les séries de données sont suffisamment longues pour affirmer que le talus qui sépare le lit moyen et le lit majeur ordinaire est dû à l'existence de ces deux gammes de crues. Ce premier constat sous-entend ainsi que l'ablation lors des fortes crues (pourtant plus rares) compense l'accumulation qu'il peut y avoir lors des crues plus faibles (pourtant plus fréquentes). Cela sous-entend également que les volumes concernés au cours de chacun des types de crues ne sont pas sur le même rapport. Ces analyses permettent également d'expliquer la granulométrie particulière et l'hétérogénéité sédimentologique qui caractérisent le lit moyen.

Ces données ne permettent pas de connaître la genèse des lits moyens, mais de comprendre pourquoi ils sont beaucoup plus répandus le long des cours d'eau méditerranéens que le long des cours d'eau plus au nord. Toutefois, l'existence de plusieurs gammes de crues sur ces derniers devrait permettre d'identifier un lit moyen. Selon la différence d'intensité entre les deux gammes de crues, ces formes seront plus ou moins bien marquées dans le paysage. La méthode hydrogéomorphologique, bien que mise au point sur les cours d'eau méditerranéens, est applicable dans d'autres milieux moyennant quelques adaptations.

L'existence des lits moyens sous climat à pluviométrie régulière

Dans le massif armoricain, les précipitations du climat pluvial océanique (entre 900 mm/an et 1 300 mm/an), sont plus régulières que celles du Midi méditerranéen et moins favorables à la genèse de lits bien individualisés. Cependant, et notamment parce que la lithologie ne permet pas le stockage de l'eau, les cours d'eau ont des étiages marqués. Ainsi, un « trop plein » d'eau est observé en hiver, alors que la pénurie s'installe pendant la période estivale. Ces

contrastes dans le régime hydrologique semblent suffisants pour pouvoir permettre la genèse de lits bien individualisés (Penven *et al.*, 2004 ; Dupont *et al.*, 2005). Les cours d'eau comme l'Hyère, l'Ellée, le Langon et le Meu sont à l'origine de crues lentes de plaine avec un temps de montée de crue long. Bien que la logique d'organisation latérale dans la distribution des unités hydrauliques ne soit pas nettement observable de prime abord, les observations faites sur le terrain et celles de Penven *et al.* (2004) permettent de dire avec certitude que ces unités existent. Ainsi, il a été distingué un lit mineur aux berges bien marquées correspondant à un chenal à niveau d'eau variable dans l'année.

Le lit moyen de la Vilaine est aisément identifiable puisqu'il est séparé des lits mineur et majeur par un talus, qu'il est occupé par de la ripisylve et que sa topographie est très irrégulière. Cependant, ce cas est rare car, en général, il n'est pas clairement exprimé par des marqueurs topographiques. Si ces derniers existent, ils sont discrets et discontinus dans la plaine alluviale, ce qui pose le problème de la définition de ses limites.

Par ailleurs, des levées de berge (naturelles ou non) ont été observées et sont parfois considérées comme constitutives du lit moyen (Masson *et al.*, 1996). Dans ce cas, la logique spatiale serait respectée puisque ces levées se situent entre le lit mineur et le lit majeur. Mais la logique temporelle ne le serait pas en cas de crue débordante : étant situées en position topographique supérieure, elles ne sont inondées qu'en dernier et les hauteurs d'eau y sont très faibles.

Des chenaux peu marqués ont également été observés dans les lits majeurs. Leur distinction n'est pas toujours aisée car elle fait appel à la microtopographie et à une analyse des micromodèles. Cependant, dans les plaines alluviales occupées par des prairies permanentes, la distinction peut être établie grâce à un changement dans la composition floristique (Corbonnois et Beck, 2004 ; cité dans Penven *et al.*, 2004). Mais, en contexte armoricain, les plaines alluviales sont mises en culture ce qui atténue, voire fait disparaître, les variations microtopographiques et les indicateurs floristiques. Ces chenaux fonctionnent non seulement par remontée de nappe (ils peuvent donc être en eau alors que le cours d'eau ne déborde pas) mais ils sont également réactivés en priorité lors d'inondation par débordement. Les hauteurs d'eau et les vitesses y sont donc les plus fortes. Ces observations correspondent tout à fait d'un point de vue hydrologique aux caractéristiques des lits moyens. Cependant, il ne s'agit pas à proprement parlé de lits. De plus, sur les cours d'eau du Sud de la France, des chenaux en lit majeur, dont les caractéristiques hydrologiques les rapprochent des lits moyens, ont déjà été cartographiés. C'est pourquoi, Penven *et al.* (2004) précisent que « *l'ensemble des microdépressions, interconnectées ou non, dont la géométrie et le fonctionnement sont, dans la majorité des cas, liés à la trame des paléochenaux* » peut être « *assimilé* » à un lit moyen.

L'existence des lits moyens sous climat à pluviométrie plus irrégulière : des cours d'eau au fonctionnement extrême

- Les oueds : exemples tunisiens

Dans le cadre de travaux en cours (Zaghdoud, sous presse), plusieurs oueds du centre et du Sud de la Tunisie ont été étudiés. Les résultats montrent que le lit moyen est moins systématiquement représenté que dans le Midi méditerranéen français par suite de la forte entaille historique développée dans les roches meubles et qui a dégagé une à deux terrasses alluviales (Ballais, 1991). Sur le terrain, toutes les situations sont représentées en fonction de la taille du bassin versant et du degré d'aridité auquel il est soumis.

Dans la région de Tataouine, les oueds dans leur zone de transfert n'ont pas de lit moyen ; dans le cas de l'oued Koutine, à Koutine, et de l'oued Chebika à Chebika, le lit moyen et le lit mineur constituent un seul ensemble. Dans certains cas, il peut se réduire à une simple banquette, étroite et peu élevée : c'est le cas de celui, sableux, de l'oued Zeroud à son intersection avec la route P3 ou de celui, limoneux, sur le bas oued Leben (= oued Ouadrane). Sur l'oued Chaâl-Tarfaoui, il est rarement représenté et est constitué principalement de lits de sable fin homogène, millimétriques, à la base desquels on a trouvé un morceau de fil de fer barbelé déposé par la crue de 1969 (Fehri, 2003), preuve du fonctionnement simultané de l'ensemble des unités constituant la plaine alluviale : du lit mineur, du lit majeur ordinaire et du lit majeur exceptionnel (Delorme-Laurent, 2007).

En revanche, sur les oueds importants (d'ordre 4 et plus), à style général méandrant, le lit moyen s'individualise nettement. Par exemple, sur l'oued el Hallouf, de part et d'autre de la route de Médenine à Matmata, le lit moyen domine le lit mineur de 1,50 m environ. Comme lui, il est constitué de galets et blocs arrondis emballés dans une matrice sableuse. Les galets y sont parfois structurés en lits frustes. La végétation y est plus dense que dans le lit mineur, malgré le pâturage. La surface est régulière, subplane, sans formes de bancs, dans les biefs où le lit mineur est rectiligne. Dans les biefs où ce dernier est sinueux, il forme un *point bar* de rive convexe, en pente marquée. Sur l'oued Koutine, à l'amont de Koutine, le lit moyen domine le lit mineur par un talus haut de 1,20 m. Il atteint environ 50 m de large. Il est constitué de cailloux et blocs non patinés, non organisés en surface. Il porte une maigre végétation steppique à *Astragalus armatus*. Le lit majeur sableux domine le lit moyen par un talus métrique. L'oued Leben, à l'amont de Ras el Kef, forme deux grands méandres successifs à chenal unique ; le lit moyen, absent sur les rives concaves, est très développé sur les rives convexes où sa largeur peut atteindre 100 m. Constitué de sables à lits de graviers-cailloux, couvert d'une végétation d'herbacées annuelles et d'*Aristida pungens*, il domine le lit mineur par un talus vertical haut de 2 à 3 décimètres. Au-dessus de lui, s'étagent le lit majeur ordinaire ainsi que le lit majeur exceptionnel mis en place par les crues de 1969 (Delorme-Laurent, 2007).

Il se confirme donc que, malgré l'absence d'écoulement pérenne, et contrairement à certaines généralisations excessives (Bravard, Petit, 2000), les distinctions entre lit mineur,

lit moyen, lit majeur ordinaire et lit majeur exceptionnel restent pertinentes dans le cas des oueds.

- L'existence des lits moyens sur les cours d'eau au style complexe : cas des « *anabranching rivers* » ou rivières à anabranches (fig. 2)

Les « *anabranching rivers* » ont été surtout étudiées en Australie (Nanson, Knighton, 1996), tout particulièrement la Cooper Creek, cours d'eau long de 1 400 km et dont le bassin-versant atteint 296 000 km². De son observation, Fagan et Nanson (2004) distinguent trois unités différentes constituant la *floodplain*. Ces unités diffèrent par leur morphologie, mais aussi par la fréquence de leur submersion et par l'intensité de l'aléa pouvant les submerger. Le *braided pattern* subit les crues les plus fréquentes et constitue la zone d'aléa fort. Les *unchannelled areas* sont des surfaces très régulières, couvertes d'alluvions fines et qui ne sont inondées que rarement. Le *reticulate pattern* est un style intermédiaire, c'est-à-dire qu'il présente des chenaux moins larges mais un peu plus profonds que pour le *braided pattern* et que l'aléa y est moyen. Cette distinction rappelle le découpage en unités que nous utilisons, mais il ne s'agit pas à proprement parlé de lits. En effet, s'agissant d'une *anabranching river*, la logique transversale est adaptée au style de la rivière. Ainsi, les distinctions se basent sur le nombre et la morphologie des chenaux.

Nous ne connaissons pas d'exemple français de rivière à anabranches, mais un cas de Tunisie centrale, l'oued Batha (fig. 3) est en cours d'étude (Zaghdoud, thèse en cours).

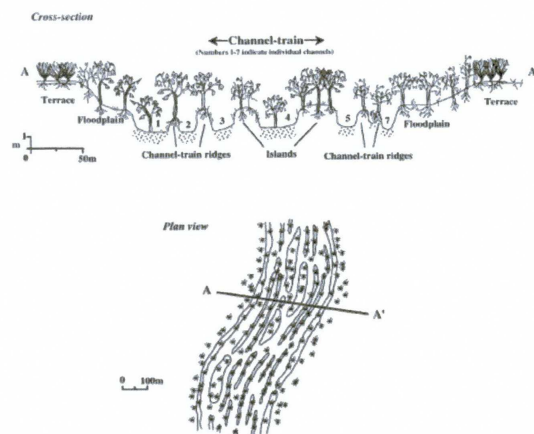


Fig. 2 : Illustrations schématiques des caractéristiques typiques des « *anabranching rivers* ». Les chenaux du « *channel-train* » sont séparés à la fois par des levées étroites et des îles plus larges. La morphométrie des chenaux dépend de la quantité de levées et d'îles qui les séparent en basses eaux. Ces îles et levées sont inondables, (S. Tooth, G. C. Nanson, 1999).



Fig. 3 : Lits d'une « *anabranching river* » : l'oued Batha (Tunisie méridionale), (cliché : V. Delorme-Laurent, 2005).

Deux hypothèses concernant la genèse et l'évolution des lits majeurs exceptionnels

À partir des travaux menés sur l'Orbieu et l'Ouvèze, l'explication du maintien du talus qui sépare le lit majeur ordinaire du lit majeur exceptionnel est identique à celle qui justifie le maintien du talus qui sépare le lit moyen du lit majeur ordinaire, mais à une échelle de temps différente, que la longueur des séries de données ne permet pas de confirmer.

L'étude approfondie des premiers lits majeurs exceptionnels identifiés (sur la Cèze, le Gardon et l'Orbieu) a permis de bien définir ces formes et de comprendre leur genèse : les lits majeurs exceptionnels sont des formes d'accumulation. Certains, comme ceux du Gardon, de l'Orbieu au lieu-dit « La Mourède » et au lieu-dit « Les Trois Chemins » présentent une accumulation de dépôts fins. D'autres, comme ceux de la Cèze à Saint-André-de-Roquepertuis, de l'Orbieu au lieu-dit « Le Faubourg » et au lieu-dit « Les Carbenats » sont également constitués par une accumulation fine moins épaisse qui recouvre des dépôts grossiers pléistocènes. Pour ce second cas, on parlera de lits majeurs exceptionnels inchoatifs.

Les exemples développés ci-dessous se situent dans la partie aval de l'Orbieu. Lors de la cartographie hydrogéomorphologique de ce bief, Chave (2003) a mis en évidence, d'amont en aval, quatre secteurs où s'individualisent des niveaux topographiques situés en position intermédiaire entre le lit majeur ordinaire et une terrasse pléistocène. La crue de novembre 1999 ayant submergé ces surfaces, elles ont été rapidement qualifiées de lits majeurs exceptionnels (Chave, Ballais, 2006).

Les lits majeurs exceptionnels inchoatifs :

l'exemple du lit majeur exceptionnel de l'Orbieu au lieu-dit « Le Faubourg »

Ce lit majeur exceptionnel se localise à l'entrée du village de Ferrals-les-Corbières, au lieu-dit « Le Faubourg ». Transversalement, en rive gauche de la rivière, on observe la succession suivante : une terrasse pléistocène (Ellenberger *et al.*, 1987) séparée du lit majeur exceptionnel par un talus dont le commandement est de l'ordre de 40 à 50 cm, le lit moyen qui est en contrebas de 7 m du lit majeur exceptionnel et enfin le lit mineur (fig. 4). Le lit majeur ordinaire ne s'est construit qu'en rive droite.

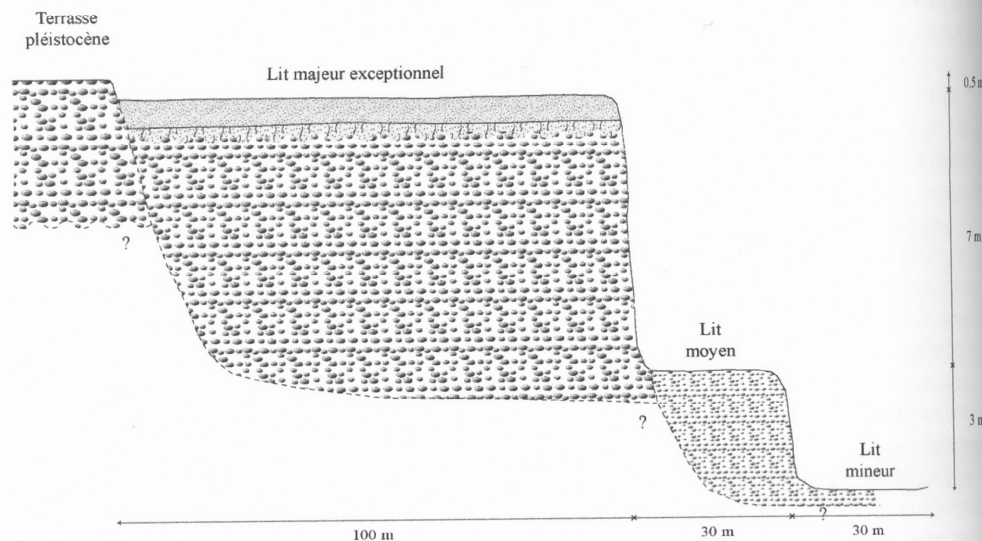


Fig. 4: Transect de la plaine alluviale de l'Orbieu, au lieu-dit « Le Faubourg », (V. Delorme-Laurent, 2007).

La base de la coupe du lit majeur exceptionnel est constituée de galets recouverts de concrétions carbonatées, organisés en lits dans une matrice sableuse. Ce type de dépôt rappelle les caractéristiques sédimentologiques des terrasses pléistocènes. La partie supérieure présente une épaisseur de limons de débordements d'à peu près 90 cm organisés en deux ensembles superposés. L'évolution verticale des dépôts montre le passage d'un hydrodynamisme de type torrentiel (caractéristique des dépôts du Pléistocène supérieur) à un hydrodynamisme nettement plus faible (Delorme-Laurent, 2007).

Les limons les plus structurés sont probablement contemporains des éléments grossiers, il s'agit sans doute de dépôts corrélatifs de la fin d'une période froide. En revanche, les plus récents montrent que cette surface était déjà inondable avant la crue de 1999. Ils témoignent que ce niveau fonctionne comme un lit majeur exceptionnel depuis un certain temps, mais il est impossible d'apporter davantage de précisions faute d'indicateurs chronologiques. La compréhension de la morphogenèse de ce niveau est primordiale car elle témoigne d'un élargissement de la plaine alluviale fonctionnelle et donc d'un accroissement du risque d'autant plus important que, sur ce lit majeur exceptionnel, un lotissement a été construit.

Ce lit majeur exceptionnel inchoatif est donc une forme d'accumulation : les limons de débordements actuels reposent sur une accumulation pléistocène. Ceci montre qu'il y a un élargissement de la plaine alluviale fonctionnelle et donc un accroissement du risque.

Les lits majeurs exceptionnels, formes d'accumulation :

l'exemple du lit majeur exceptionnel de l'Orbieu au lieu-dit « La Mourède »

Ce lit majeur exceptionnel, se situe en rive droite, à l'aval de Ferrals-les-Corbières, au lieu-dit « La Mourède ». Ce secteur se trouve à l'aval d'un élargissement de la plaine alluviale fonctionnelle. L'organisation de cette dernière sur la rive droite de l'Orbieu est présentée par le transect suivant (fig. 5).

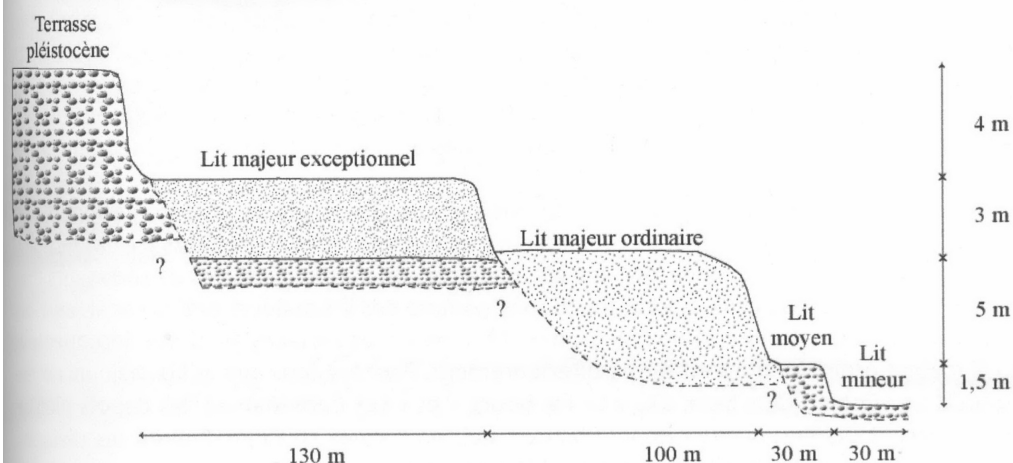


Fig. 5: Transect de la plaine alluviale de l'Orbieu, au lieu-dit « La Mourède », (V. Delorme-Laurent, 2007).

L'analyse sédimentologique de ce lit majeur permet de mettre en évidence l'évolution verticale de la sédimentologie, que l'on peut résumer de la façon suivante (les analyses complètes sont détaillées dans Delorme-Laurent, 2007). Les échantillons prélevés en position intermédiaire mettent en évidence une teneur en sables et limons-argiles variable et la quasi-absence de ballast (de 0,4 à 3,3 %). Une esquisse de grano-classement vertical est observée avec la diminution de la teneur en sables plus on se rapproche de la surface. L'exhaussement du niveau topographique, au fur et à mesure des dépôts, a provoqué une diminution de la hauteur d'eau qui pouvait immerger cette surface et donc l'accumulation de dépôts de plus en plus fins.

L'explication de la genèse de cette forme réside dans l'évolution de la position du méandre du lit mineur. L'accumulation du lit majeur exceptionnel a commencé avant la migration du

lit mineur ou à son début et elle continue aujourd'hui malgré son entaille (aucune discontinuité de l'accumulation n'a été observée dans la coupe). La seconde phase d'incision, pendant laquelle le lit mineur s'est rapproché, a permis le développement du lit majeur ordinaire en contrebas. L'incision du lit mineur n'a pas été cependant suffisante pour compenser l'accumulation qui a lieu dans le lit majeur ordinaire et permettre que le lit majeur exceptionnel soit hors d'eau. Il s'agit donc d'un lit majeur exceptionnel, construit de dépôts uniquement alluviaux, consécutivement à une entaille post-pléistocène et antérieurement à l'incision du lit mineur qui se poursuit encore aujourd'hui.

Conclusion

Si on considère les grands trains de méandres occupés aujourd'hui par le lit majeur ordinaire, tous les lits majeurs exceptionnels étudiés en France (excepté celui du Gardon) sont situés en rive convexe (ce qui s'observe très nettement sur la cartographie de l'Orbieu). Le style méandriforme paraît donc propice au développement des lits majeurs exceptionnels. Pour l'Orbieu, la carte de Cassini de Carcassonne de 1778 montre que le lit mineur avait déjà la position qu'il occupe actuellement : les grands trains de méandres ont donc fonctionné antérieurement.

Bien que nous manquions de repères chronologiques, l'exemple de l'Orbieu permet d'aller plus loin dans la réflexion. Deux des lits majeurs exceptionnels (aux lieux-dits « La Mourède » et « Les Trois Chemins ») présentent une accumulation de plusieurs mètres de sédiments fins. Il est donc possible que ceux-ci aient fonctionné comme des lits majeurs ordinaires et, que lors du glissement du méandre et de l'incision du lit mineur, ces surfaces aient été déconnectées du lit majeur ordinaire qui s'est formé ultérieurement. Pour les deux autres lits majeurs exceptionnels de l'Orbieu (aux lieux-dits « Le Faubourg » et « Les Carbenats »), les dépôts pléistocènes servent de support aux dépôts actuels qui, en termes stratigraphiques, les ravinent, mais, en fait, déposés en conditions de faible hydrodynamisme, sont posés dessus sans qu'il y ait eu d'entaille préalable. Il s'agit donc de terrasses pléistocènes devenues inondables par exhaussement du lit majeur ordinaire. Ceci met en évidence l'élargissement de la plaine alluviale fonctionnelle. La morphogenèse de ces lits majeurs exceptionnels montre que ceux des lieux-dits « La Mourède » et « Les Trois Chemins » se sont construits avant que les terrasses aux lieux-dits « Le Faubourg » et « Les Carbenats » deviennent des lits majeurs exceptionnels.

Conclusion générale

Dans la plupart des pays, particulièrement ceux de tradition géomorphologique anglo-saxonne, les spécialistes ne distinguent que le *channel* (lit mineur) et la *floodplain* (lit majeur), malgré les travaux pionniers de Lewin (1978), Gupta (1983) et Nanson et Croke (1992). En France, grâce au développement de la problématique des risques naturels depuis 1982 et,

tout spécialement, de la cartographie des zones inondables, qui a rompu avec la tradition des modélisations hydrauliques et hydrologiques, l'étude plus fine des plaines alluviales fonctionnelles a permis de révéler l'existence de deux nouvelles formes : le lit moyen ou *intermediate flow channel*, dès 1996, et le lit majeur exceptionnel ou *exceptional high water bed* quelques années plus tard. La multiplication des études et des cartographies en France, et d'abord dans le Midi méditerranéen depuis quelques années, afin de répondre à la demande sociale, a confirmé l'existence de ces deux formes. Parallèlement, des recherches ont commencé dans d'autres pays : Algérie (Hallouche, 2007), Espagne (Lastra *et al.*, 2008), Tunisie (Zaghdoud, thèse en cours), Chine (Wulamu, 2012). Elles confirment l'existence fréquente du lit moyen, y compris sur de nombreux oueds du Maghreb et sur les cours d'eau pérennes du sud du désert du Takla-Makan (Chine) alimentés par la fusion des neiges et des glaces du Karakorum et des Kunlun. Dans l'état actuel de nos connaissances, c'est la Tunisie qui offre les meilleurs exemples de lits majeurs exceptionnels, les plus larges, les moins discontinus et donc les mieux développés, la plupart datés des inondations exceptionnelles de 1969 (Ballais, 1973), mais il est probable que le Nord-Ouest de l'Australie (Western Australia), avec ses pluies de mousson mais aussi de cyclones, en possède également. Plus généralement, les cas nombreux et variés de « terrasses inondables » relevés dans la bibliographie géomorphologique devraient, en fait, relever des lits majeurs exceptionnels. Ainsi, la réduction du nombre des formes de lit à seulement deux, nécessaire pour l'application de la modélisation hydraulique il y a 50 ans, se révèle être un des derniers avatars de la conception davisienne de l'érosion normale, c'est-à-dire, tempérée.

Bibliographie

- ARNAUD-FASSETTA G., BALLAIS J.-L., BEGUIN 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, p. 34-48.
- BALLAIS J.-L., 1973 — « Les inondations de 1969 en Tunisie méridionale », *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord*, 64, 3 et 4, p. 99-128.
- BALLAIS J.-L., 1991 — « Vitesses d'accumulation et d'entaille des terrasses alluviales holocènes et historiques au Maghreb oriental », *Physio-Géo*, 22-23, p. 89-94.
- BALLAIS J.-L., CHAVE S., DELORME-LAURENT V., ESPOSITO C., 2007 — « Hydrogéomorphologie et inondabilité », *Géographie physique et Quaternaire*, 61, 1, p. 75-84.
- BELTRANDO G., 2004 — *Les climats. Processus, variabilité et risques*, Paris, Armand Colin, 261 p.
- BERGER G. M., BOYER F., REY J., 1990 — *Carte géologique de la France à 1:50 000, n° 1038 : Lézignan-Corbières, Orléans, BRGM*.
- BERTRAN P., FABRE L., FRANC O., LIMONDIN-LOZOUET N., THIEBAULT S., 1998 — « Évolution d'un versant au cours de l'Holocène à Vaise (France) », *Géographie Physique et Quaternaire*, 52, 1, p. 69-90.
- BIROT P., 1981 — *Les processus d'érosion à la surface des continents*, Paris, Masson, 607 p.
- BRAVARD J.-P., PETIT F., 2000 — *Les cours d'eau*, Paris, Armand Colin, 222 p.
- CAREX ENVIRONNEMENT, 2003 — *Application de la méthode intégrée à un tronçon de l'Ouvèze*, Aix-en-Provence, Cete Méditerranée — DGUHC, 70 p.
- CHAMLEY H., 1987 — *Sédimentologie*, Paris, Dunod, coll. Géosciences, 175 p.
- CHAVE S., 2003 — *Élaboration d'une méthode intégrée de diagnostic du risque hydrologique*, université de Provence, thèse de doctorat, 284 p.
- CHAVE S., BALLAIS J.-L., 2006 — « From hydrogeomorphology to hydraulics computations: a multidisciplinary approach of the flood hazard diagnosis in the Mediterranean zone », *Zeitschrift für Geomorphologie*, 50, 4, p. 523-540.
- COSANDEY C. (dir.), 2003 — *Les eaux courantes*, Paris, Belin, 240 p.
- DDE 11, 2006 — *Inventaire des crues à la station de Luc-sur-Orbieu*, Carcassonne, Direction Départementale de l'Équipement de l'Aude.
- DELORME-LAURENT V., 2007 — *Contribution à la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables*, thèse de doctorat, université de Provence, 830 p.
- DERRUAU M., 1962 — *Précis de géomorphologie*, Paris, Masson, 533 p.
- DUPONT N., PENVEN M.-J., GILOIS S., GAILLARD S., 2005 — *Définition des indicateurs pour une cartographie de la courbe enveloppe des inondations dans le cadre de l'utilisation de la méthode hydrogéomorphologique*, Rennes, DIREN Bretagne, 52 p.
- DURIN V., 2001 — *Recherches géomorphologiques et historiques sur la plaine alluviale de l'Ouvèze (84) entre Entrechaux et Bédarrides : impact de la sédimentation sur l'évolution de l'inondabilité*, mémoire de DEA, université de Provence, 124 p.

- ELLENBERGER F., FREYTET P., PLAZIAT J.-C., BESSIERE G., VIALARD P., BERGER G. M., MARCHAL J.-P., 1987 — *Carte géologique de la France à 1:50 000 n° 1060: Capendu*, Orléans, BRGM.
- FAGAN S.D., NANSON G.C., 2004 — « The morphology and formation of floodplain-surface channels, Cooper Creek, Australia », *Geomorphology*, 60, p. 107-126.
- FEHRI N., 2003 — *Les rapports entre les processus morphogéniques et les pratiques agropastorales dans la plaine oléicole de Sfax : exemple du bassin-versant de l'oued Chaal-Tarfaoui (Plaine de Sfax, Tunisie centro-orientale)*, thèse de doctorat, université de Provence, 338 p.
- FLAGEOLLET J.-C., DE FRAIPONT P., GOURBESVILLE P., THOLEY N. et TRAUTMANN J., 1993 — « La crue de l'Ouvèze de septembre 1992 : origines, effets, Enseignements », *Revue de Géomorphologie dynamique*, 2, p. 57-72.
- GARRY G., BALLAIS J.-L., MASSON M., 2002 — « La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne », *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 1, p. 5-16.
- GUPTA A., 1983 — « High-magnitude floods and stream channel responses ». *Special publications of the International Association of Sedimentologists*, 6, p. 219-227.
- HALLOUCHE B. 2007 — *Cartographie des zones inondables de la plaine de Sidi Bel Abbès par l'approche hydrogéomorphologique*, mémoire de magister, université de Sidi Bel Abbès, 119 p. + annexes.
- LASTRA J., FERNANDEZ E., DIEZ-HERRERO A., MARQUINEZ J., 2008 — « Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods : an example in the Northern Iberian Peninsula », *Natural Hazards*, 45, 2, p. 227-293.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G., MILLER J.P., 1964 — *Fluvial processes in geomorphology*, San Francisco, W.H. Freeman, 522 p.
- LEWIN J., 1978 — « Floodplain geomorphology », *Progress in Physical Geography*, 2, 3, p. 408-437.
- MASSON M., GARRY G., BALLAIS J.-L., 1996 — *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Paris, Éditions Villes et Territoires, 100 p.
- MONTJUVENT G., MASSE P.J., BALLELIO R., MASSE J.P., ALABOUVETTE B., 1991a — *Carte géologique de France à 1:50 000, feuille Avignon (940)*, Orléans, BRGM.
- MONTJUVENT G., MASSE J.P., BALLELIO R., MASSE J.-P., ALABOUVETTE B., BLAVOUX B., DUPLIAS G., GRANIER J., PHILIP J., 1991b — *Notice explicative de la carte géologique de France à 1:50 000, feuille Avignon (940)*, Orléans, BRGM, 91 p.
- NANSON G.C., CROKE J.C., 1992 — « A genetic classification of floodplains ». *Geomorphology*, 4, p. 459-486.
- NANSON G.C., KNIGHTON A.D., 1996 — « Anabranching rivers : their cause, character and classification ». *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, p. 217-239.
- PARDE M. 1968 — *Fleuves et rivières*, Paris, Armand Colin, 5^{ème} édition, 241 p.
- PENVEN M.-J., DUPONT N., GAILLARD S., 2004 — « Fonctionnement hydrogéomorphologique et cartographie des fonds alluviaux dans le contexte armoricain », *Mosella*, XXIX, 3-4, p. 101-111.
- SCHUMM S.-A., 1977 — *The Fluvial System*, New-York, J. Wiley & sons, 338 p.

TOOTH S., NANSON G.C., 1999 — « Anabranching rivers on the Northern Plains of arid central Austria, *Geomorphology*, 29, p. 211-233.

WULAMU M. 2010 — *Les risques d'inondation dans la région du Xinjiang (Chine) : cas du Karakash-Darya*, thèse, université de Provence, Aix-en-Provence, 344 p.