L'ÉROSION
ENTRE SOCIÉTÉ, CLIMAT ET PALÉOENVIRONNEMENT

Table ronde en l'honneur du Professeur René Neboit-Guilhot

3

Presses Universitaires Blaise Pascal

Collection Nature & Sociétés

L'Érosion
entre Société, Climat et Paléoenvironnement

Table ronde en l'honneur
du Professeur René NEBOIT-GUILHOT
Clermont-Ferrand, 25-26-27 mars 2004

Sous la direction
de Philippe Allée et Laurent Lespez

GEOLAB – UMR 6042-CNRS

Presses Universitaires Blaise-Pascal
Collection « Nature et Sociétés »

Sommaire

Philippe ALLÉE, Laurent LESPEZ
Avant-Propos 13

Yannick LAGEAT
L'itinéraire scientifique de René Neboit-Guilhot 15

Atelier 1.
Du processus naturel à l'archivage sédimentaire : des enregistrements difficiles à décrypter

Communications thématiques

Jean-Paul BRAVARD
Le paléoenvironnement, le géographe et la complexité 25

Gilles ARNAUD-FASSETTA
Alloformations alluviales, morphodynamique fluviale et paléohydrologie 35

Jean-François BERGER
Apports récents de la paléopédologie à la définition des phases de stabilité des pédopaysages holocènes nord-méditerranéens 47

Chantal LEROYER, Gisèle ALLENET
L'anthropisation du paysage végétal d'après les données polliniques : l'exemple des fonds de vallées du Bassin parisien 63

Nicole LIMONDIN-LOZOUET, Agnès GAUTHIER, Pierre ANTOINE, Anne BRIDAULT, Christine CHAUSSÉ, Chantal LEROYER, André-Valentin MUNAUT, Paul ORTH, Jean-François PASTRE, Philippe PONEL
Variabilité de l'impact climatique sur les biocénoses de milieux fluviaux à la transition Tardiglaciaire/Holocène dans le nord de la France 73

Session Posters. Chronologie, méthodes de datation, traceurs

Frédéric GOB, Jean-Paul BRAVARD, Nicolas JACOB, François PETIT
La lichénométrie, un outil efficace pour l'étude de l'évolution historique des bassins versants en milieu torrentiel méditerranéen 85

Geoffrey HOUBRECHTS, François PETIT
Utilisation des microscories métallurgiques comme traceur de la sédimentation dans les plaines alluviales des rivières ardennaises 91

Session Posters. Géomorphologie, sédimentologie, paléopédologie

Laurent DESCHODT, Pierre-Gil SALVADOR
Diversité des enregistrements tardiglaciaires et holocènes dans la vallée de la Deûle (59, Nord) 97

Stéphanie GOEPP, Dominique SCHWARTZ, Bernard GUILLET, Michel THINON
L'archivage pédologique des évolutions paléoenvironnementales. Intérêt, spécificités, risques de biais (cas des chaumes vosgiennes) 103

Christian GIUSTI
Pour une archéologie du discours géomorphologique 109

Christophe JORDA
Archéologie préventive et paléoenvironnements : la séquence de référence comme outil de l'approche interdisciplinaire 115

Estelle PLOYON
Détermination des potentialités d'archivage sédimentaire dans les systèmes fluviaux de montagne : approche morphologique. L'exemple de la Gresse (Isère, France) 121

Tony REY, David LEFEVRE, Joël ANDRÉ, Serge D. MULLER
Dynamiques fluvio-palustres en Petite Camargue à l'Holocène. Premiers résultats sur le chenal de crevasse des Tourradons 127

Session Posters. Milieux karstiques

Benoît LOSSON, Jeannine CORBONNOIS, Jacqueline ARGANT, Philippe AUDRA, Jacques BRULHET, Edwige PONS-BRANCHU, Yves QUINIF, Pierre ROCHETTE
Spécificités et intérêts des remplissages alluviaux endokarstiques : exemple des grottes de Pierre-la-Treiche (Lorraine, France) 133

Yves PERRETTE, Jean-Jacques DELANNOY
Les stalagmites : des archives karstiques multi-paramètres continentales et continues 139

Anne-Sophie PERROUX, Jean-Jacques DELANNOY, Yves PERRETTE, Marc DESMET
Les sédiments détritiques de grotte : un processus d'archivage original 145

Nathalie VANARA, Richard MAIRE
Des processus naturels et anthropiques à l'archivage sédimentaire : les indicateurs du milieu enregistrés dans les karsts subtropicaux de Chine 151

Session Posters. Analyses multi-paramètres

Christèle BALLUT
Intégration de la géomorphologie à l'étude interdisciplinaire de la zone humide et du bassin versant de Montchâtre à l'Holocène récent (plateau des Dômes) 159

Jean-Michel CAROZZA, Didier GALOP, Jean-Paul MÉTAILIÉ,
Éva LEMONNIER, Marie-Charlotte ARNAULD
Paysages, pratiques agricoles et dégradation des sols dans les Basses Terres mayas du Préclassique au Postclassique : le cas du site de « La Joyanca » (Petén, Guatemala) 167

Adèle KUENTZ, Medeia MAJAVESI, Jean-Claude THOURET, Marcela MOSCOL,
Étienne JUVIGNÉ, Michel FONTUGNE, Alex CHEPSTOW-LUSTY
Holocene palaeoenvironmental record from the Western Cordillera, Peru 175

Béatrice PRAT
Le bas-marais de Monchâtre : 2 000 ans d'évolution de la végétation et d'impacts agro-pastoraux sur le rebord oriental du plateau des Dômes 183

Atelier 2.
Les dialectiques Homme-Climat : une perception multiple selon les acteurs scientifiques, les échelles d'études et les contextes morphoclimatiques

Communications thématiques

Mireille PROVANSAL, Philippe LEVEAU
Morphogenèse, anthropisation et changements climatiques : état du champ scientifique 191

Philippe ALLÉE, Laurent LESPEZ
De l'océanique au méditerranéen, la disparité des réponses morphosédimentaires holocènes dans les massifs anciens européens 203

Hervé CUBIZOLLE, Vincent GEORGES, Jacqueline ARGANT
Évolution paléoenvironnementale du Massif central oriental depuis la fin du Würm. Premiers bilans de recherches interdisciplinaires 215

Manuel GARCIN, Nathalie CARCAUD, Emmanuèle GAUTIER, Joëlle BURNOUF,
Cyril CASTANET, Nicolas FOUILLET
Impacts des héritages sur un hydrosystème : l'exemple des levées en Loire moyenne et océanique 225

Jean-François PASTRE, Paul ORTH, Yann LE JEUNE, Sonia BENSAADOUNE
L'homme et l'érosion dans le Bassin parisien (France). La réponse morphosédimentaire des fonds de vallées au cours de la seconde partie de l'Holocène 237

Georges PICHARD
Approches historiques : les phénomènes érosifs en Provence au cœur du Petit Âge Glaciaire 249

Session Posters. Signal anthropique, signal climatique

Philippe ALLÉE, Farid BOUMÉDIENE, Patrice CONTE, Marie-Françoise DIOT, Muriel LEHÉRICY, Florence PETIT, Bernard VALADAS
Des archives sédimentaires aux dynamiques holocènes, l'exemple de deux études géoarchéologiques en Limousin 263

Sylvie COUTARD, Martine CLET-PELLERIN
Évolution de la sédimentation et de la végétation pendant l'Holocène dans les marais arrière-littoraux du Val de Saire (Cotentin, Normandie) 271

Cécile GERMAIN-VALLÉE, Laurent LESPEZ
Dynamique holocène d'un fond de vallée normand (vallée du Laizon, Calvados). Approche géomorphologique et micromorphologique 279

Sophie MARTIN, Frédéric MAGNIN
Gastéropodes terrestres et anthropisation : peut-on distinguer le signal anthropique du signal climatique à l'Holocène ? Exemples du domaine méditerranéen français 285

Session Posters. Du Petit Âge Glaciaire à nos jours dans le sud de la France

Christophe FLEZ, Gilles GARITTE
Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction contemporaine des bandes actives torrentielles. Tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins versants élémentaires (Ubaye et Haute-Durance) 291

Nicolas JACOB, Laurent ASTRADE, Jean-Paul BRAVARD
Le comportement hydrosédimentaire de rivières torrentielles des Cévennes et des Préalpes au Petit Âge Glaciaire. Enseignements géomorphologiques des archives historiques, de la dendrochronologie et de la lichénométrie 297

Frédéric LIÉBAULT
La sensibilité du paysage torrentiel des montagnes drômoises aux modifications de l'environnement au cours du XXe siècle 305

Session Posters. Aménagements et dynamiques géomorphologiques

Pierre POUPET, Alain FERDIÈRE, Romana HARFOUCHE, Benoît ODE
*Granite, Gabales et climat : l'histoire du bassin versant du Triboulin à Javols/*Anderitum *en Margeride (Lozère, France)* 311

Session Posters. Exemples malgaches

Chantal BLANC-PAMARD, Hervé RAKOTO RAMIARANTSOA
Couleurs et savoirs des sols à Madagascar 319

Michel MIETTON, Jean-Claude LEPRUN, Monique BEINER, Michel DUBAR, Rafolo ANDRIANAIVOARIVONY
Réserve forestière et savanes incluses de l'Ankarafantsika (N-O Madagascar, arrière-pays de Majunga). Diagnostics d'érosion et propositions de conservation 325

Atelier 3.
Acquis et perspectives géomorphologiques et géoarchéologiques dans le monde méditerranéen

Communications thématiques

René NEBOIT-GUILHOT, Laurent LESPEZ
Alluvionnement et creusement sur la rive nord de la Méditerranée. Vers une lecture systémique des rythmes historiques de la morphogenèse 335

Hélène BRUNETON, Cécile ALLINNE, Philippe LEVEAU, Florence VERDIN
Construction des plaines du bas Rhône et occupation humaine : la région d'Arles depuis le Néolithique 353

Éric FOUACHE
Rythmes d'érosion et d'alluvionnement à l'Holocène au sud de la péninseule balkanique (Albanie, Grèce) 365

Catherine KUZUCUOGLU
L'enregistrement des changements climatiques de l'Holocène récent et des impacts humains dans la dynamique morphosédimentaire de la moyenne vallée de l'Euphrate (Turquie) 373

Christophe MORHANGE, Mohamed HAMDAN-TAHA, Jean-Baptiste HUMBERT
La mobilité des paysages de Gaza depuis l'Âge du Bronze. État de la question et premières pistes de recherche 383

Session Posters. La discontinuité des enregistrements sédimentaires et leur signification sur la rive nord du monde méditerranéen

Clément BOUTTERIN, Cécile MIRAMONT, Serge D. MULLER, Jean-Louis ÉDOUARD
Le rôle du feu dans l'histoire des paysages méditerranéens sud-alpins de moyenne montagne. Exemple de la dépression de Lazer 393

Marc CALVET
Accidents aléatoires ou crises morphogéniques : l'interprétation risquée des dynamiques fluvio-torrentielles holocènes et historiques en Méditerranée 401

Benoît DEVILLERS, Mireille PROVANSAL, Christophe MORHANGE
Morphogenèse et détritisme holocène en milieu semi-aride : le bassin versant du Gialias (Chypre) 407

Vincent OLLIVIER, Jean-Louis GUENDON, André MÜLLER, Sophie MARTIN
Les travertins du Mirail (sud Luberon, Vaucluse), témoins des fluctuations morphosédimentaires holocènes 415

Olivier SIVAN, Cécile MIRAMONT, Jean-Louis ÉDOUARD
Rythmes de la sédimentation et interprétations paléoclimatiques lors du Postglaciaire dans les Alpes du Sud. ^{14}C et dendro-géomorphologie, deux chronomètres complémentaires 423

Session Posters. La discontinuité des enregistrements sédimentaires et leur signification sur la rive sud du monde méditerranéen

Ahmed BOUJARRA, Abdelkarim BOUJELBEN, Mohamed TAABNI
Sur l'ampleur de la morphogenèse historique dans les bassins versants du Sahel tunisien (Tunisie orientale) 429

Simon POMEL, Abdelhakim ABICHOU, Erhard SCHULZ
La signification paléo-impluviométrique des sédiments de la Sebkha Mhabeul (Sud-Est de la Tunisie) 435

Session Posters. Approches géoarchéologiques

Bruno COMENTALE
Paléoenvironnements et occupation humaine en milieu volcanique : la plaine du Vésuve (Italie méridionale) 443

Céline COUSSOT, Éric FOUACHE, Kosmas PAVLOPOULOS, Milorad JOVANOSVKI, Catherine COMMENGE, Eni HUTH
Évolution géomorphologique du bassin de Skopje (FYROM). Conséquences sur les choix d'implantation des premiers villages néolithiques 447

Stéphane DESRUELLES, Claude COSANDEY, Michèle BRUNET, Éric FOUACHE, Jean-Pierre PEULVAST, Rémi DALONGEVILLE
Gestion de l'eau dans la ville antique de Délos (Cyclades, Grèce). Ressources et contraintes 453

Romana HARFOUCHE
Protéger les sols en apprivoisant la pente depuis 5 000 ans : les aménagements de la montagne méditerranéenne (Délos, Grèce et El Mogheïri, Liban) 459

Session Posters. Dynamiques littorales

Nick MARRINER, Christophe MORHANGE
Palaeoenvironmental evolution of Tyre's ancient northern harbour AIST and UNESCO CPM projects 467

Lise STEFANIUK, Priscilla MUNZI, Jean-Pierre BRUN, Christophe MORHANGE
Mobilité du littoral domitien (Cumes, Campanie, Italie) et dynamiques anthropiques depuis 4 000 ans 473

Avant-Propos

PHILIPPE ALLÉE, LAURENT LESPEZ

Pour saluer la carrière de chercheur de René Neboit-Guilhot, aujourd'hui professeur émérite à l'Université de Clermont-Ferrand, nous avons choisi de nous réunir autour de lui, et de discuter tous ensemble, géographes, paléo-environnementalistes, historiens et archéologues. De quoi ? De quelques-uns des thèmes qui, depuis plus de trente ans, ont été au cœur de ses préoccupations de géomorphologue : l'interprétation des archives alluviales comme indicateurs des rythmes d'érosion et d'alluvionnement au cours de l'Holocène, le rôle respectif de l'homme ou du climat dans le fonctionnement des systèmes fluviaux, les dynamiques historiques sur les rives du bassin méditerranéen… Cette table ronde, organisée en l'honneur de René Neboit-Guilhot par le laboratoire GEOLAB UMR 6042-CNRS, a réuni, du 25 au 27 mars 2004, près de cent cinquante chercheurs et enseignants-chercheurs à la Maison de la Recherche de l'Université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand.

Cet ouvrage constitue les actes de la table ronde et regroupe cinquante-six contributions présentées oralement durant ces journées. Son plan est fidèle à la manifestation scientifique, organisée en trois ateliers de travail. Chacune des trois parties est ainsi composée de quelques communications thématiques de synthèse et d'articles plus courts, exposant des études de cas présentées durant le colloque sous forme de posters.

Atelier 1.
Du processus naturel à l'archivage sédimentaire : des enregistrements difficiles à décrypter

Le premier atelier est consacré aux difficultés méthodologiques posées par le déchiffrage des archives sédimentaires. Il insiste sur la diversité des milieux enregistreurs : sols, tourbières, systèmes fluviaux, systèmes karstiques… Si certains milieux sont des indicateurs synthétiques des dynamiques hydro-sédimentaires, d'autres sont plus spécifiques et enregistrent plutôt des signaux climatiques ou botaniques. Il aborde également la diversité des méthodes d'analyses (l'intérêt et les limites des marqueurs sédimentaires et biologiques), ainsi que les problèmes posés par la lecture du temps (avantages et limites de nou-

veaux chronomètres : spéléothèmes, lichénométrie, scories…). Il est composé, pour l'essentiel, de recherches menées en Europe de l'Ouest et dans le monde méditerranéen, mais s'appuie également sur des travaux conduits en Chine et en Amérique centrale et du Sud.

Atelier 2.
Les dialectiques Homme-Climat : une perception multiple selon les acteurs scientifiques, les échelles d'études et les contextes morphoclimatiques

Les combinaisons et les interférences entre forçage climatique et forçage anthropique sont une des thématiques les plus passionnantes mais également une des plus difficiles à résoudre dans l'étude des paléodynamiques environnementales holocènes. Les articles réunis dans cette deuxième partie mettent en exergue la multiplicité des modèles proposés par les auteurs selon :

- leur culture scientifique et l'appareil conceptuel et méthodologique dont ils disposent ;
- les échelles spatiales (depuis la géoarchéologie du champ jusqu'à la dynamique des grands systèmes fluviaux) et temporelles choisies (de l'ensemble de l'Holocène aux Temps modernes et à la période contemporaine) ;
- les contextes morphoclimatiques régionaux abordés (quelques exemples tropicaux s'ajoutent aux études ouest-européennes et méditerranéennes).

Atelier 3.
Acquis et perspectives géomorphologiques et géoarchéologiques dans le monde méditerranéen

L'objectif du troisième et dernier atelier était de faire le point sur les recherches géoarchéologiques entreprises depuis quelques décennies sur le pourtour du monde méditerranéen, ainsi que sur les nouvelles perspectives de recherche. Il en résulte une série d'articles présentant la diversité des systèmes morphogéniques holocènes et historiques sur les rives septentrionale et méridionale de la mer Méditerranée : France du Sud, péninsules italienne et balkanique, Asie Mineure et Levant, Afrique du Nord.

Alloformations alluviales, morphodynamique fluviale et paléohydrologie

GILLES ARNAUD-FASSETTA[1]

Introduction

Les études de géomorphologie fluviale représentent une part non négligeable des parutions dans les revues scientifiques de haut rang. Pour la seule année 2003, elles ont constitué en moyenne 17 % des parutions, dans onze des revues internationales que consultent régulièrement les géomorphologues et dans lesquelles ils publient (**fig. 1**).

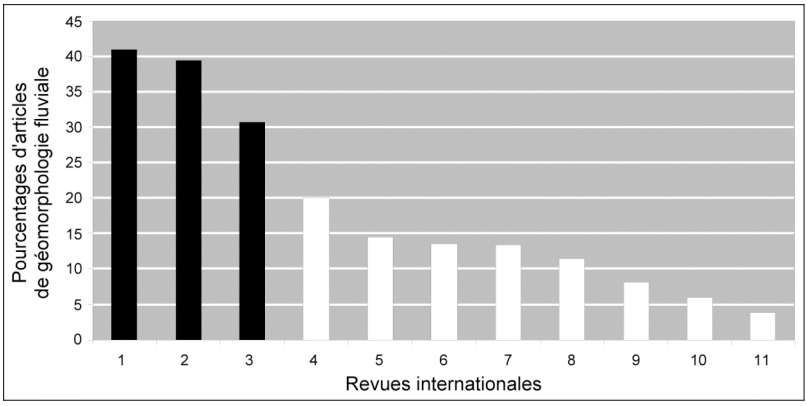


Fig. 1. Pourcentages d'articles de géomorphologie fluviale parus en 2003 dans onze revues internationales (nombre total d'articles consultés : 1222).
(1) *Geomorphology* (Elsevier) ; **(2)** *Earth Surface Processes and Landforms* (Wiley) ; **(3)** *River Research and Applications* (Wiley) ; **(4)** *Geografisca Annaler A – Physical Geography* (Blackwell) ; **(5)** *Quaternary Sciences Review* (Elsevier) ; **(6)** *Journal of Quaternary Science* (Wiley) ; **(7)** *Quaternary International* (Elsevier) ; **(8)** *Catena* (Elsevier) ; **(9)** *Quaternary Research* (Elsevier) ; **(10)** *The Holocene* (Arnold) ; **(11)** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Elsevier).

1. Université Denis-Diderot (Paris VII), UFR GHSS (CC 7001) (UMR 8586-CNRS PRODIG), 2, place Jussieu, 75251 Paris cedex 05 (fassetta@paris7.jussieu.fr).

Les processus sur le temps court (10^{-1} à 10^{2} ans) ont été les thèmes les plus couramment abordés, au détriment des modélisations paléohydrauliques et paléohydrologiques à l'échelle du Quaternaire ancien ou récent. Cette disparité se vérifie lorsque l'on observe les écarts de pourcentages entre les revues : celles à forte connotation « paléoenvironnements quaternaires » n'ont pas publié plus de 10 % des articles de géomorphologie fluviale alors que celles davantage axées sur les hydrosystèmes et/ou sur les processus en ont produit plus de 30 %. Globalement, le fait que la géomorphologie fluviale apparaisse sous-représentée dans les revues publiant sur le Quaternaire peut s'expliquer par plusieurs facteurs : la durée et le coût plus élevés des études paléoenvironnementales, les sollicitations toujours croissantes des chercheurs sur le thème du risque (présent) et/ou de la gestion environnementale, la concurrence avec d'autres disciplines dès lors que l'on aborde la question de la variabilité à long terme du climat et de l'hydrologie.

L'étude paléo-hydro-géomorphologique d'un bassin fluvial a généralement pour fonctions de comprendre les rythmes d'évolution du système « bassin versant → vallée → plaine alluviale → cours d'eau » et les processus associés, de préciser la part respective des facteurs naturels (structure, climat, niveau de base) et humains (occupation, usages et exploitation des sols, aménagements hydrauliques) qui sous-tendent cette évolution et de caractériser le risque hydrologique. Les données physiques de base sont communément les « alloformations » (formations allogènes) et les formes fluviales, intégrées ou non dans des « modélisations » paléohydrologiques et paléohydrauliques. Utilisant des bases de données à plus ou moins fortes discontinuités spatiales et/ou chronologiques (ce qui est moins le cas pour les varves lacustres), ces modélisations permettent bien souvent de prolonger les études paléoenvironnementales ou hydro-géomorphologiques « classiques », et ont toute leur place dans les grandes thématiques de recherche actuelles (« changement climatique », « interactions nature/sociétés », « développement durable », etc.).

L'objectif de cet article est de faire le bilan sur les diverses méthodes de reconstitution des flux liquides et solides dans les bassins versants. Après avoir précisé la signification hydro-dynamique des alloformations et des formes fluviales, des extraits d'études conduites en domaine méditerranéen et un exemple himalayen serviront à étayer la présentation de quelques méthodes visant à retracer la variabilité des flux de matières liquides et solides dans les fleuves et les rivières.

1. Alloformations et formes fluviales : leur signification hydro-dynamique

L'histoire d'une vallée, ou celle du cours d'eau qui la draine, passent nécessairement par des phases de stabilité et d'instabilité hydro-géomorphologique, comme en témoignent par exemple les systèmes de terrasse (**photo 1**). Ces phases expriment des tendances ou un comportement épisodique, attribués à

des forçages internes/externes à l'hydrosystème. Dans les montagnes (sub-) méditerranéennes et sur leur piémont, les études hydro-géomorphologiques insistent sur le rôle des crues basse-fréquence/haute-magnitude, comme éléments majeurs du façonnement des plaines alluviales et du calibrage des lits fluviaux (Arnaud-Fassetta *et al.*, 1993, 2002 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004).

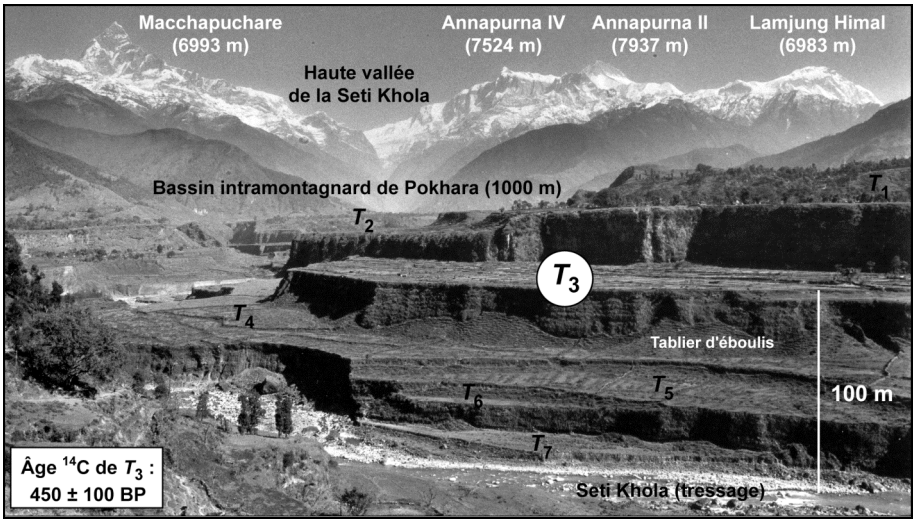


Photo 1. Système de terrasses alluviales dans la vallée de la Seti Khola, bassin intra-montagnard de Pokhara, Himalaya du Népal, sud de la chaîne des Annapurnas (Fort, 1987, annoté).
Il y a environ 450 ans, l'éboulement catastrophique d'une partie de la paroi (roches et glaces) du flanc ouest de l'Annapurna IV engendra une mégalave torrentielle (4 km^3), aboutissant au remblaiement brutal de l'ensemble du bassin de Pokhara par des débris graveleux calcaires à matrice limoneuse. Cette alloformation s'emboîte dans les niveaux de terrasses T_1 et T_2 plus anciens, au matériel induré. Depuis, l'incision rapide (10-20 cm/an) du plancher alluvial par la Seti Khola, confortée par la « fraîcheur » des formes de tressage observées au toit de T_3, a favorisé l'évacuation de près de 50 % du dépôt originel et sa dissection en plusieurs niveaux de terrasses désappariées (ici au nombre de cinq, de T_3 à T_7). Le remblaiement du fond de vallée puis son creusement et la mise en place de terrasses étagées dans le dépôt précédent se sont donc produits en moins de cinq siècles. Aujourd'hui, la Seti Khola développe un style en tresses caractéristique, 80 m en contrebas de la terrasse T_3.

Dans la plaine alluviale, la dynamique (10^2 à 10^4 années) est perçue à travers les caractéristiques morpho-pédo-sédimentaires des alloformations (Autin, 1992) et l'ajustement des « variables internes » (W, d, ratio W/d, λ, s) aux fluctuations des deux « variables externes » (Schumm, 1977 ; Starkel, 1983) que sont le débit liquide (Q_l) et la charge sédimentaire (Q_s), complétées éventuellement par l'action de la tectonique (Schumm *et al.*, 2000), de l'eustatisme (Schumm, 1993) et de l'Homme (Herget, 1998). Si la variabilité de Q_l relève fondamentalement du paramètre hydroclimatique et, plus précisément, des précipitations, l'abondance de Q_s dépend avant tout de la capacité de transport du cours d'eau et de la fourniture sédimentaire du bassin versant, autrement dit des « effets de

l'érosion » (Neboit, 1991 ; Jorda et Provansal, 1996). Dans tous les cas, les reconstitutions de Q_l et Q_s s'appuient sur des fonctions intégrant les données morphosédimentaires et hydrauliques.

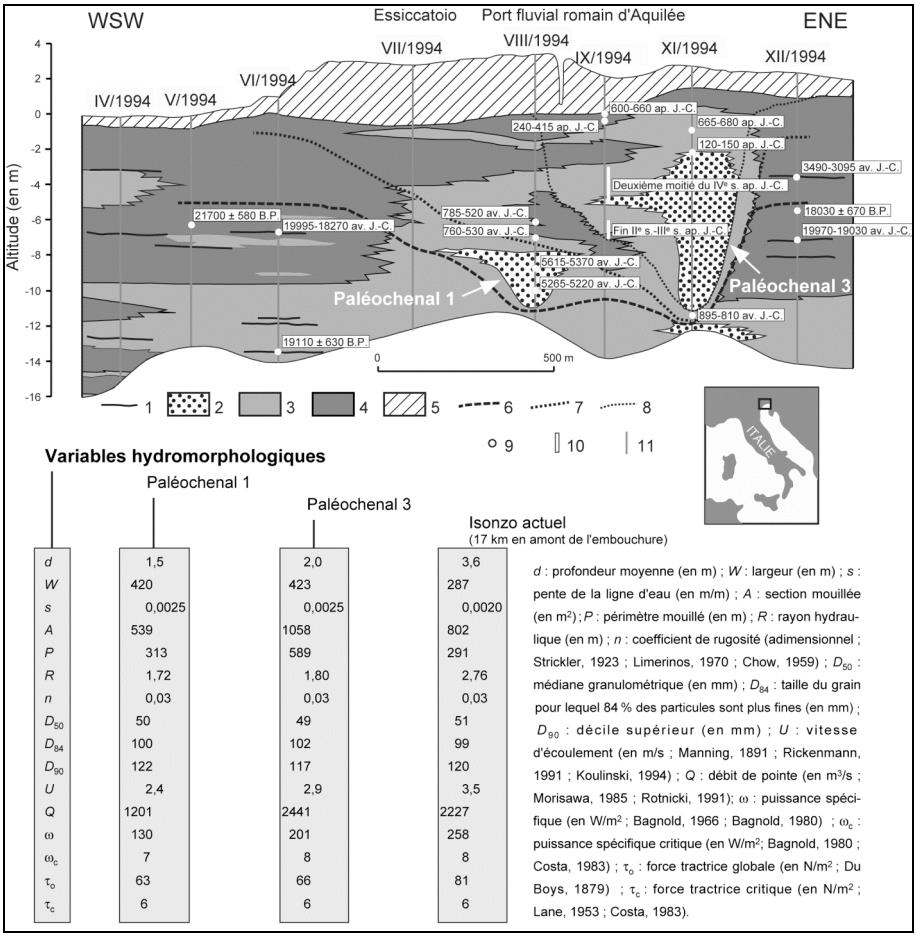


Fig. 2. Coupe stratigraphique WSW-ENE effectuée sur le site archéologique d'Aquilée (patrimoine de l'UNESCO), plaine côtière du Frioul, Italie du Nord (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2003, modifié).

(1) tourbe ; **(2)** graviers ; **(3)** sables ; **(4)** pélites ; **(5)** matériel remanié ; **(6)** plancher alluvial *post* 18030 ± 670 BP ; **(7)** plancher alluvial *post* 3490-3095 av. J.-C. ; **(8)** plancher alluvial *post* 785-520 av. J.-C. ; **(9)** date ^{14}C (cal.) ; **(10)** date archéologique ; **(11)** carotte SARA (année 1994).

Le remblaiement alluvial révèle la présence de trois paléochenaux emboîtés, mis en place entre 5615 av. J.-C. et 150 ap. J.-C. Les caractéristiques géométriques du paléochenal 3, le plus récent, permettent de le comparer à l'actuel Isonzo en aval de la confluence avec le Torre, dont le style fluvial s'apparente à du tressage. Les calculs hydrauliques, celui de la puissance spécifique (ω) en particulier, confirment cette hypothèse. Ils attestent l'existence, au début de l'Antiquité, d'une plaine alluviale à chenaux multiples, sur laquelle la migration des drains est rendue possible par la progradation des bancs de chenal, dans un contexte d'excédent de charge favorisant l'exhaussement du plancher alluvial.

2. Reconstitution de Q_l

De façon générale, les interprétations paléohydrologiques et paléohydrauliques découlent de trois approches possibles, basées sur le régime hydrologique, le critère de compétence ou l'altitude des dépôts fins d'inondation.

2.1. Approche basée sur le régime hydrologique (**fig. 2**)

Dérivée du terme *regime-based* proposé par Dury (1985), cette méthode intègre la morphologie du chenal, les caractéristiques sédimentologiques du matériel de fond et les conditions d'écoulement. L'objectif est d'estimer les débits haute-fréquence comme le débit à pleins bords (Q_{lb}), et d'établir ainsi un terme de comparaison qui soit utile au suivi de la dynamique d'un (ou plusieurs) cours d'eau. C'est dans cette perspective qu'une étude paléohydrologique a été conduite sur le site du port fluvial romain d'Aquilée en Italie du Nord, montrant tout l'intérêt de définir les caractéristiques hydrauliques des chenaux fluviatiles actuels, afin de pouvoir ensuite les comparer avec celles de leurs analogues anciens.

2.2. Approche basée sur le critère de compétence (**fig. 3**)

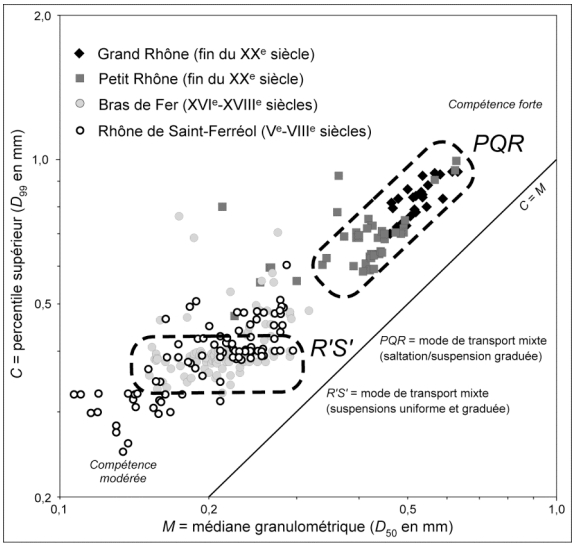


Fig. 3. Évolution historique de la compétence moyenne (D_{50}) et maximale (D_{99}) du Bas-Rhône (plaine deltaïque), déduite de l'analyse sédimentologique des remblaiements alluviaux de quatre bras fluviaux (voir fig. 5 pour leur localisation) : le Rhône de Saint-Ferréol (Arnaud-Fassetta, 2000), le Bras de Fer (Arnaud-Fassetta et Provansal, 1999), le Grand Rhône et le Petit Rhône (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2003). On notera l'augmentation croissante de la compétence du Rhône deltaïque depuis l'Antiquité.

Également connue sous le terme *flow-competence criteria* (Maizels, 1983), elle met en relation la taille des sédiments transportés par un cours d'eau avec les conditions hydrauliques locales. L'utilisation de l'image CM de Passega (1957), en corrélant sur un diagramme binaire à ordonnées logarithmiques la compétence moyenne (D_{50}) et la compétence maximale (D_{99}), a montré toute sa pertinence pour discriminer, sur la base des différents modes de transport sédimentaire, les milieux de sédimentation fluviatiles dans la haute vallée du Rhône (Bravard et Peiry, 1999). Dans l'aire deltaïque,

l'image CM a servi de support pour retracer l'évolution historique de la compétence du fleuve.

2.3. Approche basée sur l'altitude des dépôts fins d'inondation

Formalisée par les travaux de Patton *et al.* (1979), elle prend en compte l'altitude des dépôts fins d'inondation (*slack-water deposits*) conservés dans les sections en gorge à fond rocheux (*i.e.*, considéré comme relativement stable à l'échelle de plusieurs dizaines voire centaines d'années), afin de restituer les hauteurs d'eau et les débits de pointe de certaines crues. Cette méthode a été testée dans la section en gorge de la haute vallée du Guil à Château-Queyras (**fig. 4**). Là, la photo-interprétation et la datation des alloformations alluviales déposées en bordure du chenal ont permis d'estimer plusieurs variables hydrauliques [débit de pointe (Q), puissance spécifique (ω), force tractrice (τ_o)], et ce pour des événements hydrologiques de récurrence variable, depuis les hautes eaux ordinaires (mai 2003) jusqu'aux crues Q_{30} (juin 2000 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005) et $>Q_{100}$ (juin 1957).

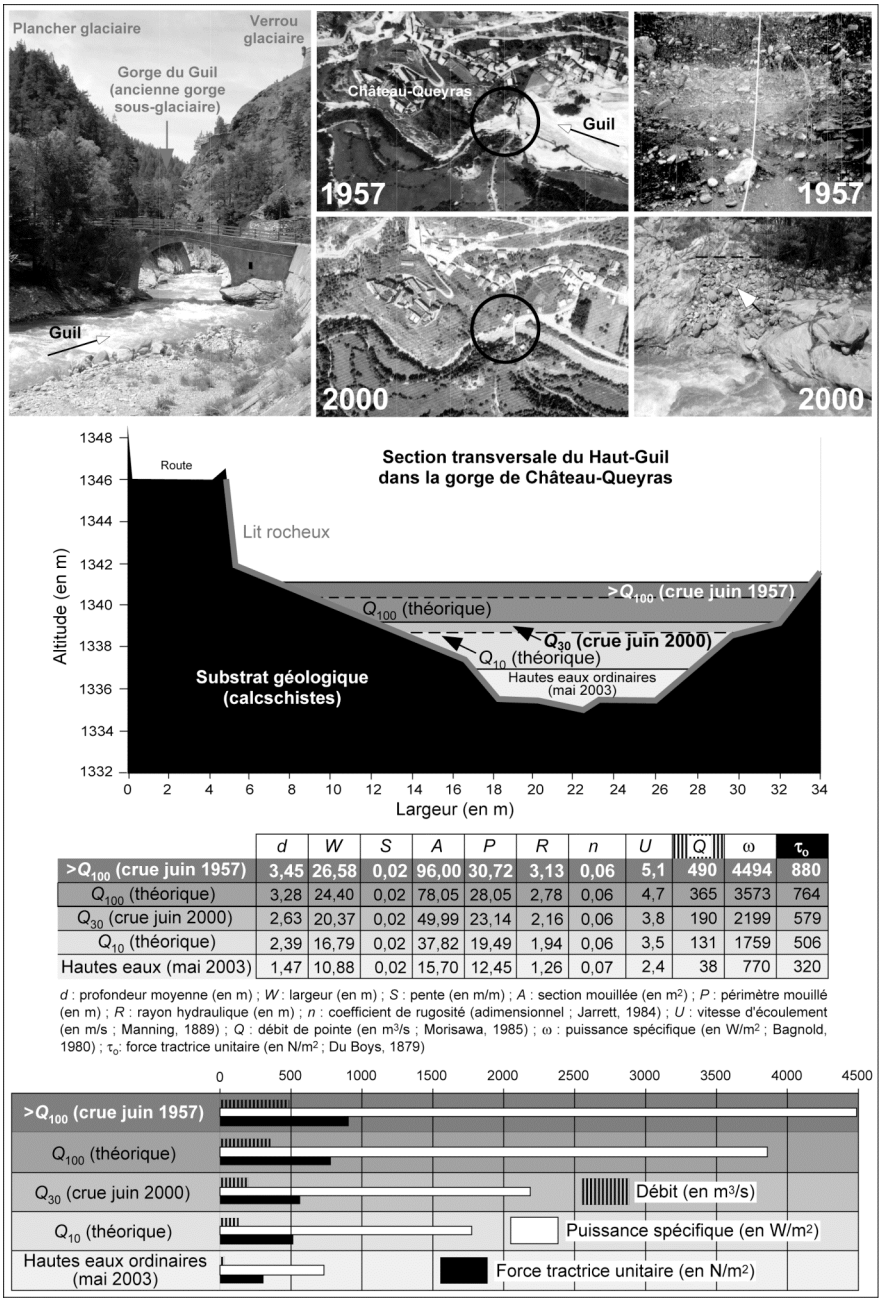
3. Reconstitution de Qs

3.1 Capacité de transport

Concernant la capacité de transport du chenal fluvial, elle varie en fonction de la fourniture sédimentaire, de la taille du matériel et de la puissance spécifique. Dans le delta du Rhône, la relation entre la puissance fluviale unitaire (ω) et la capacité de transport (I_b) a été quantifiée en utilisant l'équation de Bagnold (1980), permettant ainsi de montrer les effets des aménagements sur le fonctionnement hydro-sédimentaire du système fluvial depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (**fig. 5**).

3.2. Origine de la fourniture sédimentaire

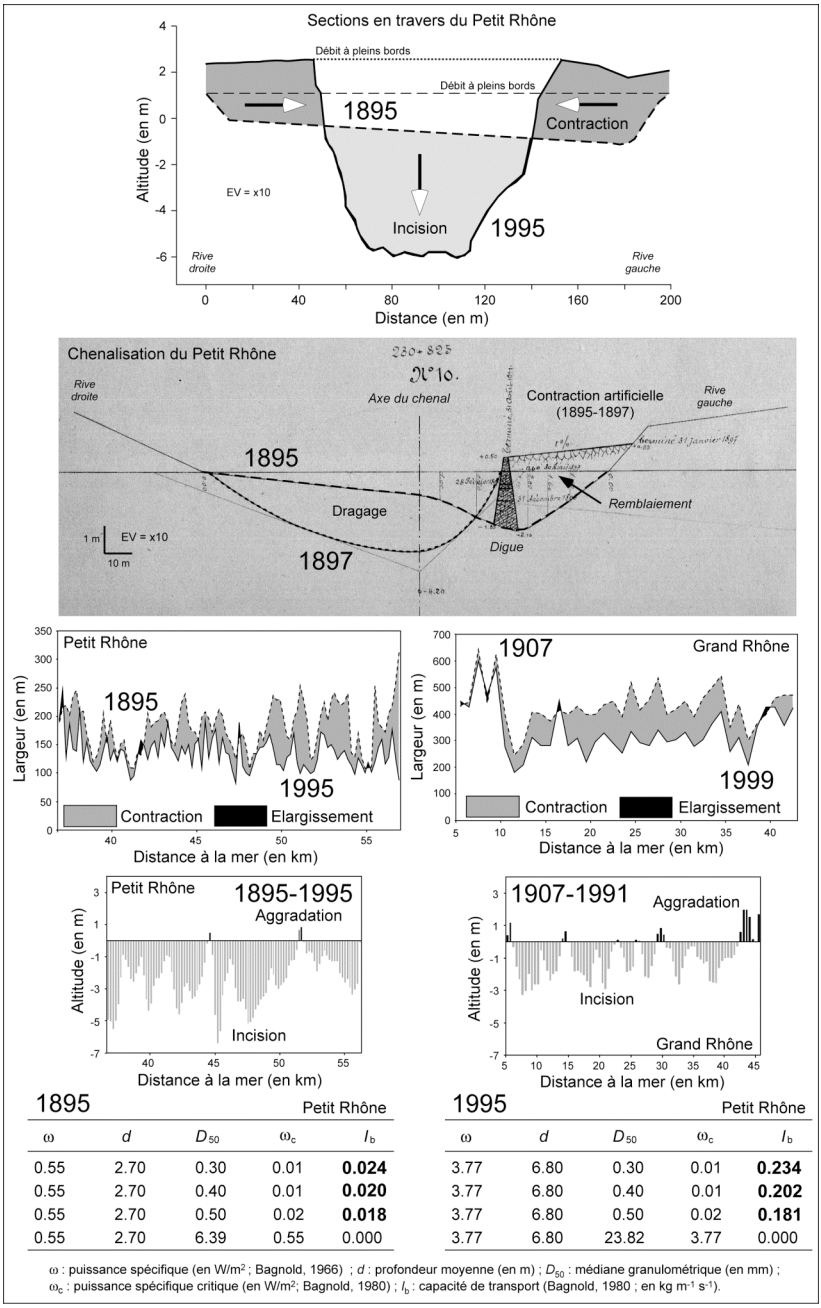
La question de l'origine des sédiments de rivière peut être abordée par le biais des traceurs, dont le choix dépend du pas de temps étudié. Sur le temps court (Temps modernes), l'utilisation des rejets d'industries métallurgiques a montré toute son utilité (Houbrechts et Petit, 2003). Sur le temps moyen (Holocène), suivre l'origine des alluvions déposées par le Rhône à l'apex de son delta (**fig. 6**). Le suivi à moyen terme des flux polliniques dans la plaine d'inondation peut être également utlisé pour identifier les apports proximaux ou distaux (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2000).



	d	W	S	A	P	R	n	U	Q	ω	τ_o
>Q_{100} (crue juin 1957)	3,45	26,58	0,02	96,00	30,72	3,13	0,06	5,1	490	4494	880
Q_{100} (théorique)	3,28	24,40	0,02	78,05	28,05	2,78	0,06	4,7	365	3573	764
Q_{30} (crue juin 2000)	2,63	20,37	0,02	49,99	23,14	2,16	0,06	3,8	190	2199	579
Q_{10} (théorique)	2,39	16,79	0,02	37,82	19,49	1,94	0,06	3,5	131	1759	506
Hautes eaux (mai 2003)	1,47	10,88	0,02	15,70	12,45	1,26	0,07	2,4	38	770	320

d : profondeur moyenne (en m) ; *W* : largeur (en m) ; *S* : pente (en m/m) ; *A* : section mouillée (en m²) ; *P* : périmètre mouillé (en m) ; *R* : rayon hydraulique (en m) ; *n* : coefficient de rugosité (adimensionnel ; Jarrett, 1984) ; *U* : vitesse d'écoulement (en m/s ; Manning, 1889) ; *Q* : débit de pointe (en m³/s ; Morisawa, 1985) ; ω : puissance spécifique (en W/m² ; Bagnold, 1980) ; τ_o: force tractrice unitaire (en N/m² ; Du Boys, 1879)

Fig. 4. Reconstitution hydraulique dans le Haut-Guil (Alpes du Sud), basée sur la prise en compte de l'altitude des dépôts de crue dans la section en gorge de Château-Queyras.
Plusieurs valeurs de puissance spécifique (ω) et de force tractrice (τ_o) sont proposées en fonction de la fréquence de retour des événements hydrologiques (photos de gauche et de droite : université Paris VII ; photos du centre : IGN).



1895				Petit Rhône
ω	*d*	D_{50}	ω_c	I_b
0.55	2.70	0.30	0.01	**0.024**
0.55	2.70	0.40	0.01	**0.020**
0.55	2.70	0.50	0.02	**0.018**
0.55	2.70	6.39	0.55	0.000

1995				Petit Rhône
ω	*d*	D_{50}	ω_c	I_b
3.77	6.80	0.30	0.01	**0.234**
3.77	6.80	0.40	0.01	**0.202**
3.77	6.80	0.50	0.02	**0.181**
3.77	6.80	23.82	3.77	0.000

ω : puissance spécifique (en W/m^2 ; Bagnold, 1966) ; *d* : profondeur moyenne (en m) ; D_{50} : médiane granulométrique (en mm) ; ω_c : puissance spécifique critique (en W/m^2; Bagnold, 1980) ; I_b : capacité de transport (Bagnold, 1980 ; en kg m^{-1} s^{-1}).

Fig. 5. Évolution récente de la capacité de transport potentielle (matériel de fond) du Rhône deltaïque (Arnaud-Fassetta, 2003, modifié).
Calculée à partir de la fonction de Bagnold (1980), la capacité de transport potentielle (I_b) a fortement augmenté entre 1895 et 1995, en réponse aux travaux de chenalisation conduits sur le fleuve à la fin du XIXe siècle.

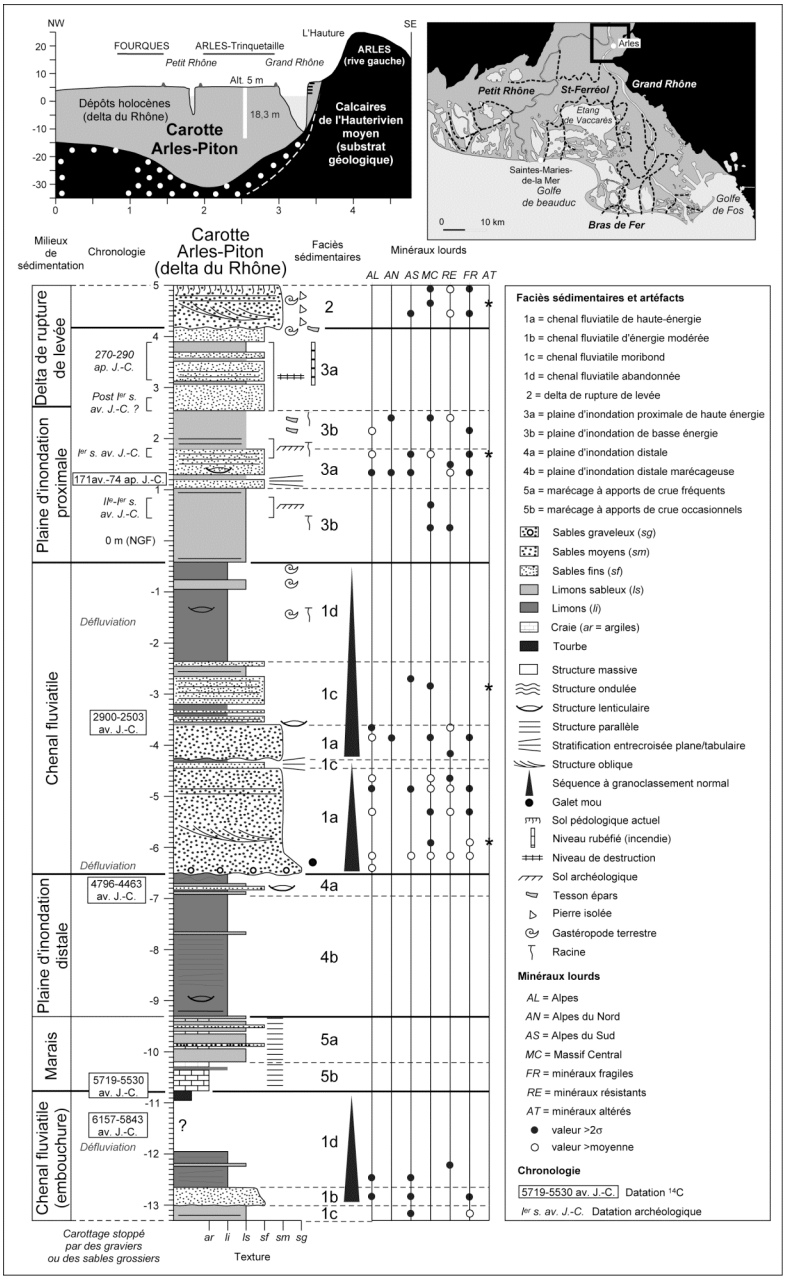


Fig. 6. Origine des alluvions déposées à l'apex du delta du Rhône au cours de l'Holocène, dérivée de l'analyse des minéraux lourds de la carotte Arles-Piton (Arnaud-Fassetta, 2004, modifié).

Au cours des huit derniers millénaires, les sédiments déposés en tête de l'aire deltaïque proviennent avant tout du Massif central (52 %) et secondairement des Alpes du Sud (36 %) ou du Nord (12 %).

Conclusion

L'utilisation des données morphosédimentaires, intégrées ou non dans les modèles (paléo-)hydrauliques, ne va pas sans poser certains problèmes, inhérents au fait que les alloformations alluviales, dans bien des cas très discontinues, n'archivent qu'une partie de l'histoire d'un cours d'eau et de sa vallée et que les fonctionnements morphodynamiques sont distincts et les temps de réponse le plus souvent différés au sein d'un même bassin versant, etc. En substance, les alloformations alluviales, contrairement aux séries lacustres ou marines profondes et aux carottes glaciaires, ne sont certainement pas les supports les mieux adaptés, pour qui s'intéresse aux fluctuations paléoclimatiques des quinze derniers millénaires. En revanche, elles apportent une information directe (donc précieuse) sur les processus d'érosion et les rythmes auxquels se façonnent les reliefs, sur les modalités de transit des débris dans les bassins versants et sur les liens (risque) entre la dynamique fluviale (aléa) et les sociétés (vulnérabilité).

Références

ARNAUD-FASSETTA G., 2000. *Quatre mille ans d'histoire hydrologique dans le delta du Rhône. De l'Âge du Bronze au siècle du nucléaire. Grafigéo*, 11, Coll. « Mémoires et documents de l'UMR PRODIG », Paris, 229 p.

ARNAUD-FASSETTA G., 2003. River channel changes in the Rhône Delta (France) since the end of the Little Ice Age: geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management. *Catena*, 51, 141-172.

ARNAUD-FASSETTA G., 2004. The upper Rhône Delta sedimentary record in the « Arles-Piton » core: analysis of delta-plain subenvironments, avulsion frequency, aggradation rate and origin of sediment yield. *Geografiska Annaler A – Physical Geography*, 86, 4, 367-383.

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*, 62, 2, 33-48.

ARNAUD-FASSETTA G., PROVANSAL M., 1999. High frequency variations of water flux and sediment discharge during the Little Ice Age (1586-1725 AD) in the Rhône Delta (Mediterranean France). Relationship to the catchment basin. *Hydrobiologia*, 410, 241-250.

ARNAUD-FASSETTA G., DE BEAULIEU J.-L., SUC J.-P., PROVANSAL M., WILLIAMSON D., LEVEAU P., ALOÏSI J.-C., GADEL F., GIRESSE P., ÉVIN J., DUZER D., 2000. Evidence for an early landuse in the Rhône Delta (Mediterranean France) as recorded by late Holocene fluvial paleoenvironments (1640-100 BC). *Geodinamica Acta*, 13, 377-389.

ARNAUD-FASSETTA G., BELTRANDO G., FORT M., PLET A., ANDRÉ G., CLÉMENT D., DAGAN M., MÉRING C., QUISSERNE D., RYCX Y., 2002. La catastrophe hydrologique de novembre 1999 dans le bassin versant de l'Argent Double (Aude, France) : de l'aléa pluviométrique à la gestion des risques pluviaux et fluviaux. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 17-34.

ARNAUD-FASSETTA G., CARRÉ M.-B., MAROCCO R., MASELLI-SCOTTI F., PUGLIESE N., ZACCARIA C., BANDELLI A., BRESSON V., MANZONI G., MONTENEGRO M.E., MORHANGE C., PIPAN M., PRIZZON A., SICHÉ I., 2003. The site of Aquileia (northeastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean coastal plain. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 223-241.

ARNAUD-FASSETTA G., QUISSERNE D., ANTONELLI C., 2003. Downstream grain-size distribution of surficial bed material and its hydro-geomorphological significance in a large and regulated river: the Rhône River in its delta area (France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 33-50.

ARNAUD-FASSETTA G., FORT M., 2004. La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut-Guil, Queyras, Alpes françaises du Sud. *Méditerranée*, 1-2, 143-156.

ARNAUD-FASSETTA G., COSSART E., FORT M., 2005. Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, French Alps). *Geomorphology*, 66, 41-67.

AUTIN W.J., 1992. Use of alloformations for definition of Holocene meander bels in the middle Amite River, southeastern Louisiana. *Geological Society of America Bulletin*, 104, 233-241.

BAGNOLD R.A., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 422, 1-37.

BAGNOLD R.A., 1980. An empirical correlation of bedload transport rates in flumes and natural rivers. *Proceedings of the Royal Society*, 372A, 453-473.

BRAVARD J.-P., PEIRY J.-L., 1999. The CM image as a tool for the classification of alluvial units and floodplains along the river continuum. *In* : MARRIOTT S., ALEXANDER J., HEY R. (eds.), *Floodplains: Interdisciplinary Approaches*, Geological Society, London, Special Publication 163, 259-268.

CHOW V.T., 1959. *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York, 680 p.

COSTA J.E., 1983. Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 986-1004.

DU BOYS M.P., 1879. Études du régime du Rhône et de l'action exercée par les eaux sur un lit à fond de graviers indéfiniment affouillable. *Annales des Ponts et Chaussées*, 5, 18, 141-195.

DURY G.H., 1985. Attainable standards of accuracy in the retrodiction of palaeodischarge from channel dimensions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 205-213.

FORT M., 1987. Sporadic morphogenesis in a continental subduction setting: an example from the Annapurna Range, Nepal Himalaya. *Z. Geomorph. N. F.*, 63, 9-36.

HERGET J., 1998. Anthropogenic influence on the development of the Holocene terraces of the River Lippe, Germany. *In* : BENITO G., BAKER V.R., GREGORY K.J. (eds.), *Palaeohydrology and Environmental Change*, Wiley, Chichester, 167-179.

HOUBRECHTS G., PETIT F., 2003. Utilisation des scories métallurgiques en dynamique fluviale : détermination de la compétence effective des rivières et estimation des vitesses de progression de leur charge de fond. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 3-12.

JORDA M., PROVANSAL M., 1996. Impact de l'anthropisation et du climat sur le détritisme en France du Sud-Est (Alpes du Sud et Provence). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167, 159-168.

LANE E.W., 1953. Progress report on studies on the design of stable channels of the Bureau of Reclamation. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 120, 2776, 1234-1260.

LIMERINOS J.T., 1970. Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels. *U.S. Geological Survey Water Supply Paper*, 1898-B, 47 p.

MAIZELS J.K., 1983. Palaeovelocity and palaeodischarge determination for coarse gravel deposits. *In* : GREGORY K.J. (ed.), *Background to Palaeohydrology, a Perspective*, Wiley, Chichester, 101-139.

MANNING R., 1891. On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland.*

MORISAWA M., 1985. *Rivers: Form and Process*, London, Longman.

NEBOIT R., 1991. *L'Homme et l'érosion. L'érosion des sols dans le monde.* Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université Blaise-Pascal, Nlle série, fasc. 34, Presses de l'APFLC, Clermont-Ferrand, 2e éd., 270 p.

PASSEGA R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 41, 1952-1964.

PATTON P.C., KOCHEL R.C., BAKER V.R., 1979. Slack water deposits: a geomorphic technique for the interpretation of fluvial paleohydrology. *In* : RHODES D.D., WILLIAMS G. (eds.), *Adjustments to the Fluvial System*, Kendall-Hunt Pub. Co., Dubuque, Iowa, 225-252.

RICKENMANN D., 1991. Bedload transport and hyperconcentrated flow at steep slopes. *In* : ARMANINI A., SILVIO G.D. (eds.), *Fluvial Hydraulics of Mountain Regions*, Springer-Verlag, New York, 429-441.

ROTNICKI K., 1991. Retroduction of palaeodischarges of meandering and sinuous alluvial rivers and its palaeohydroclimatic implications. *In* : STARKEL L., GREGORY K.J., THORNES J.B., (eds.), *Temperate Palaeohydrology*, Wiley, Chichester, 431-471.

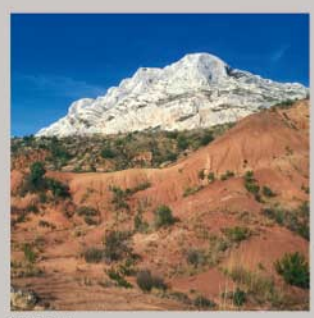
SCHUMM S.A., 1977. *The Fluvial System.* Wiley, New York, 338 p.

SCHUMM S.A. 1993. *River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy. The Journal of Geology*, 101, 279-294.

SCHUMM S.A., DUMONT J.-F., HOLBROOK J.M., 2000. *Active tectonics and alluvial rivers*, Cambridge, Cambridge University Press, 276 p.

STARKEL L. 1983. The reflection of hydrologic changes in the fluvial environment of the temperate zone during the last 15000 years. *In* : GREGORY K.J. (ed.), *Background to the Palaeohydrology, a Perspective*, Wiley, Chichester, 213-235.

STRICKLER A., 1923. *Beitrage zur Frage der Geschwindigheitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Strome, Kanale und Geschlossene Leitungen*, Mitteilungen des Eidgenossischer Amtes für Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, 16 p.



Flanc sud
de la montagne
Sainte-Victoire.

L'ouvrage

Géographes, paléo-environnementalistes, historiens et archéologues se sont réunis à Clermont-Ferrand du 25 au 27 mars 2004, autour de René Neboit-Guilhot, pour revisiter une problématique scientifique qui lui est chère : les rapports complexes et multiformes existant au sein du triptyque Société, Climat et Érosion. Au cours de ces dernières années, les travaux de recherche consacrés à ces questions se sont multipliés et la participation d'une grande partie de la communauté française à la table ronde a été l'occasion de faire un état des lieux et de poser les bases du débat contemporain.

L'ouvrage présente 56 contributions regroupées autour de trois questions clefs. La première question concerne les difficultés méthodologiques posées par le déchiffrage et l'interprétation des archives sédimentaires comme indicateurs des paléoenvironnements et des paléodynamiques holocènes. La deuxième soulève le problème des dialectiques Homme/Climat et insiste sur leur inégale perception selon les acteurs scientifiques, les échelles d'analyse et les contextes morphoclimatiques. Enfin, la troisième question possède une orientation régionale et se propose de faire le point sur les acquis et perspectives des recherches géomorphologiques et géoarchéologiques dans le monde méditerranéen.

La rivière Angitis
au pied du site archéologique de Fidokoryphi
(Macédoine, Grèce)

Les éditeurs

Philippe Allée est Professeur à l'Université de Limoges et membre du laboratoire GEOLAB (UMR 6042-CNRS, bi-site Clermont-Ferrand/Limoges). Géomorphologue et paléoenvironnementaliste, il travaille en géoarchéologie dans les massifs anciens français.

Laurent Lespez, Maître de Conférences à l'Université de Caen et au laboratoire GEOPHEN (UMR 6554-CNRS), est un ancien élève de René Neboit-Guilhot. Géomorphologue et géoarchéologue, il conduit des recherches en Grèce et dans l'ouest de la France.

35 €

ISBN 2-84516-195-6

9 782845 161955

Collection Nature & Sociétés