

Milieus, processus, faciès et dynamiques morphosédimentaires des formations travertineuses quaternaires en relation avec les changements climatiques et les occupations humaines entre Méditerranée et Caucase

Vincent OLLIVIER*
Paul ROIRON**
Adrian BĂLĂȘESCU***
Samuel NAHAPETIAN****
Yvan GABRIELIAN*****
Jean-Louis GUENDON*

Abstract : *Travertine deposits L. S. are related to well define specific processes that are the expression of particular hydrogeologic, geomorphologic and climatic context. Without being exhaustively, this paper list a review of the analytic potential of studies concerning quaternary travertine's evolution for a better knowledge of the relationship between climate / human occupations and morphogenic dynamics. Several examples come from research realised between Mediterranean and Caucasus range in the context of actual international scientific programs. Travertine formations and sequences exposed are inheritances of warm climatic phases and high quality palaeoenvironmental archives showing notably the influence of human occupations on landscape evolution since the Neolithic.*

Rezumat : *Depozitele de travertine (în sens larg) sunt elaborate în urma unor procese bine definite care sunt expresia unor contexte hidrogeologice, geomorfologice și climatice particulare. De o manieră non exhaustivă, acest articol încearcă să facă un bilanț al potențialului analitic al studiilor privind evoluția formațiunilor travertinoase cuaternare pentru o mai bună înțelegere a relațiilor climat / moduri de ocupare / dinamici morfogenice. Mai multe exemple sunt prezentate în urma cercetărilor în curs efectuate între Marea Mediterană și Caucaz. Formațiunile și secvențele travertinoase prezentate constituie martori ai fazelor de încălzire climatică și arhive ale paleomediului de o bună calitate demonstrând mai ales influența ocupațiilor umane asupra evoluției peisajului începând cu neoliticul.*

Keywords : *Man and environment relationship, Quaternary climates, travertine, morphogenesis, Neolithic, Europe, Southern France, Armenia, Romania.*

Cuvinte cheie : *Relații om/mediu înconjurător, climat, travertine, morfogeneză, neolitic, Europa, Franța de sud, Armenia, România.*

Introduction

Sur un axe compris entre Mer Méditerranée et Mer Caspienne une multitude de formations travertineuses peuvent être rencontrées (fig. 1). Variété des situations liée à la diversité des contextes paysagés, implication d'un large cadre chronologique (de l'Eocène à l'Holocène récent), relations privilégiées avec les occupations humaines, sensibilité aux multiples facteurs locaux de forte variabilité (événements météorologiques, incendies, etc.) ou aux changements plus généraux (fluctuations climatiques quaternaires globales, impact évolutif des sociétés humaines), sont les atouts majeurs des travertins du pourtour méditerranéen, de Roumanie et d'Arménie.

Les travertins ont fréquemment suscités un grand intérêt de la part des géologues, géographes, préhistoriens et paléoenvironmentalistes. A titre d'exemple, depuis le début des années 80 (XX siècles), de véritables actions de recherche pluridisciplinaires motivées par la richesse intrinsèque de ces formations se sont développées du Languedoc à la Provence (sud de la France) sous l'initiative de Jean Nicod (*formations carbonatées externes tufs et travertins* - Collectif 1981), Jean Vaudour (A.T.P. P.I.R.E.N. : *Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le midi de la France*, -J. Vaudour 1988), Jean Louis Vernet et Jean Vaudour (A.T.P. P.I.R.E.N. *Milieus et anthropisation à l'Holocène en Méditerranée occidentale à partir des sites karstiques*, J.-L. Vernet et J. Vaudour, 1988-1990) ou encore Paul Ambert (G.D.R. 1058: *Travertins et dépressions fermées de piémont : paléoenvironnements et anthropisation des paysages du midi méditerranéen*, P. Ambert

* Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire Europe-Afrique, UMR 6636 du CNRS, Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Université de Provence, Aix en Provence, France : e-mail : ollivier@msh.univ-aix.fr ou vincent.ollivier@univ-cezanne.fr

** Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie, UMR 5059 du CNRS, Montpellier, France.

*** Musée National d'Histoire de la Roumanie, Centre National de Recherches Pluridisciplinaires, 12 Calea Victoriei, code postale 030026, Bucarest, Roumanie, e-mail : a.balasescu@gmail.com

**** Department of Cartography and Geomorphology, Yerevan State University, Armenia

***** Institute of Botany, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia

1997). En revanche, la quasi-absence de recherches dans ce domaine marque les territoires arméniens ou roumains.



Fig. 1. Localisation régionale des sites à travertins étudiés entre sud de la France, Roumanie et Arménie.
Localizarea regională a siturilor cu travertine studiate în Franța de sud, România și Armenia.

Les études actuelles, effectuées dans le cadre de programmes internationaux (« Mission Caucase », Programme ECLIPSE, « *Environnements quaternaires du Petit Caucase : forçage du volcanisme, des glaciations et de l'Homme* », Programme ECONET, « *Paléoéconomie et paléomilieu dans le contexte néolithique européen entre mer Noire et mer Caspienne* », Programme Collectif de Recherche « *la France méditerranéenne entre deux mondes, diversité biologique, diversité culturelle entre 45 et 35 Ka* »), sont centrées sur un axe Méditerranée-Caucase et s'inscrivent naturellement dans la continuité du travail réalisé par ces différentes actions scientifiques dont les principaux résultats connurent déjà quelques comparaisons à l'échelle européenne (J. Vaudour 1988).

Il ne s'agit pas ici de dévoiler de façon prématurée les résultats en passe d'être obtenus, mais de démontrer par quelques exemples évocateurs, l'intérêt et le potentiel exceptionnel des formations travertineuses présentes au sein des espaces français, arméniens et roumains, actuellement en cours d'étude.

1. Milieux, processus, faciès, intérêt paléoenvironnemental

1.1. Travertins thermogènes et météogènes

La formation de travertins *s.l.* a une double origine. Il convient de distinguer les formations d'origine hydrothermales (travertins thermogènes), résultant de la remontée d'eaux chaudes profondes, riches en minéraux et d'origine volcanique ou géothermique (souvent caractérisées dans ces cas par d'importantes teneurs en CO₂ favorisant notablement le développement des incrustations carbonatées), des dépôts « d'eaux fraîches » (freshwater travertines), issus de systèmes d'exurgences ou de résurgences « karstiques » (travertins météogènes) se développant en contexte lithologique calcaire, dolomitique ou évaporitique *l.s.* (salifère à gypseux notamment).

Les formations travertineuses « météogènes » (freshwater travertines) sont incontestablement associées aux systèmes karstiques (F. Magnin *et alii* 1991). Ce sont des carbonates externes construits d'origine physico-chimique et biochimique dont l'édification se déroule en trois

étapes : **prélèvement du calcium** sous forme de bicarbonate par dissolution de la roche mère par les eaux météoriques (également rôle important de la densification du couvert végétal dans l'augmentation du CO₂ et la dissolution du substratum carbonaté par les acides humiques) ; **transport de cet élément en solution** sur une distance variable ; **précipitation de carbonate de calcium** plus ou moins pur, par modification de certaines caractéristiques physico-chimiques (pression et dégazage du CO₂, J.S. Herman, M. Lorah 1988 ; L.N. Plummer *et alii* 1979) ou biologiques de l'eau (rôle des cyanobactéries, J.P. Adolphe 1981, 1986 ; P. Freytet, E.P. Verrecchia 1998 notamment), induites par des variations d'ordre géochimique, géomorphologique ou climatique du milieu (M. Campy, J.J. Macaire 1989).

Ce sont en outre des dépôts sensibles et complexes qui réagissent aux moindres modifications de leur biotope par des interruptions de l'accumulation carbonatée ou des changements de faciès (V. Ollivier 2006). Alors que les formations détritiques (alluviales, colluviales, etc.) démontrent classiquement deux étapes de l'évolution morphogénique globale (détritisme, parfois comme vecteur d'instabilités de courtes ou de longues durées, incisions indiquant des ruptures majeures dans les modalités de la sédimentation et des changements dans l'activité des organismes hydrologiques), les séquences travertineuses affichent trois phases déterminantes dans l'évolution de la morphogénèse : carbonatation (stabilité), détritisme (instabilité) et incisions (ruptures). Dans les deux cas l'apparition de phases de pédogénèses est une autre variante synonyme de stabilité. Mais celles-ci demeurent encore trop rares et insuffisamment développées ou conservées au sein des formations, à l'échelle des périodes concernées, pour pouvoir être réellement exploitées de façon systématique. Ce sont également des dépôts riches en données paléoécologiques (conservation des macrorestes végétaux, pollens charbons et malacofaunes dans les faciès crayeux, fossilisation des espèces ligneuses environnantes par concrétionnement, photo 1) de même que des milieux attractifs depuis au moins le mésolithique (J. Vaudour 1994) qui conservent de ce fait des vestiges archéologiques et des niveaux d'occupation humaine.

Enfin, bien que principalement liés aux milieux karstiques, les formations météogènes peuvent toutefois s'exprimer en surface dans d'autres contextes lithologiques (basaltiques ou cristallophylliens) lorsque les exurgences ou résurgences concernées sont alimentées par des aquifères qui évoluent plus en profondeur dans des niveaux géologiques carbonatés. Celles-ci sont également présentes dans une multitude de milieux, du domaine montagnard à la plaine alluviale, ce qui leur confère une importante légitimité dans la représentativité des évolutions paysagères passées obéissant à des forçages globaux.



Photo 1. Processus actuel d'encroûtement et de fossilisation d'espèces ligneuses (Mada, Roumanie, cliché: V. Ollivier, 2008).

Procesul actual de fosilizare a speciilor lemnoase
(Mada, România, fotografie de către V. Ollivier, 2008).

Les travertins thermogènes sont des indicateurs paléoclimatiques moins performants que dans le cas des séquences météogènes car largement inféodés aux remontées géothermales/

hydrothermales relativement indépendantes des contextes et des variations climatiques. Leur élaboration dépend principalement de l'état de ces aquifères profonds dont le fonctionnement s'avère particulièrement complexe. Dans ces contextes, les informations dérivées d'éventuelles influences des oscillations climatiques sur les moteurs de l'accumulation des incrustations carbonatées sont difficiles à percevoir en dehors de toute analyse isotopique ciblée. En revanche, à l'instar des formations météogènes, ceux-ci fossilisent et conservent parfois des empreintes de macrorestes végétaux dont l'étude se révèle précieuse dans le cas de reconstitutions paléoenvironnementales (à l'exemple des travertins de Tatev en Arménie, contenant des empreintes foliaires de platanes et de saules datés à 4.000 BP, P. Roiron, V. Ollivier 2003, pl. 1). Dans certains cas rares, les travertins thermogènes peuvent enregistrer l'impact des occupations humaines sur leur développement à l'exemple du travertin hydrothermal de Germisara (Roumanie, photo 2) ou les aménagements antiques (II^{ème} siècle après Jésus Christ) ont influés sur l'hydrodynamique du système (galeries et canaux drainant) aboutissant à des changements de faciès carbonatés (passage de faciès travertineux construits à des craies par engorgement de la source).

Outre la présence de charbons dans certains niveaux pouvant être datés par la méthode du ¹⁴C, les travertins (qu'ils soient météogènes ou thermogènes) constituent eux même des éléments datables par l'analyse du rapport Uranium / Thorium (U^{238}/Th^{232}) dans les parties calcitiques et dont les résultats obtenus ne nécessitent pas de calibration (les marges d'incertitudes peuvent toutefois être importantes pour les périodes récentes et en fonction de la qualité de l'échantillon). Cette caractéristique renforce le potentiel de calage chronologique des évolutions morphogéniques (entre autre analyse) en contexte travertineux.

Les analyses géochimiques des travertins offrent également des possibilités de quantification des paramètres climatiques qui restent encore sous exploitées. Les variations des isotopes par la méthode de l'analyse spectrale notamment (M. Dubar 2006), absolument applicable dans le cas de travertins à lamines de type stromatolitique, permet de retrouver les composantes physiques périodiques du climat. Ces composantes sont particulièrement bien connues aujourd'hui pour l'Europe du Sud grâce aux données météorologiques (Oscillation Nord-Atlantique, Oscillation Arctique, Quasi-Biennial Oscillation, etc.).



Photo 2. Dôme travertineux hydrothermal sur le site archéologique antique de Germisara (Geoagiu Băi, Roumanie, cliché: V. Ollivier, 2008).

Dom de travertin hidrotermal în situl arheologic Germisara (Geoagiu Băi, România, fotografie de către V. Ollivier, 2008).

Compte tenu des potentialités liées à leur importante répartition (dans une majorité de contexte géologiques sédimentaires) et des phasages possibles avec les oscillations climatiques quaternaires et les impacts anthropiques, nous traiterons préférentiellement de formations travertineuses d'origine météogène dans le cadre de cet article.

1.2. Typologie conventionnelle des formations travertineuses météogènes

Selon la typologie géomorphologique réalisée par J. Casanova (1981), les formations travertineuses, peuvent être classées selon trois catégories dépendantes de la morphologie du cours d'eau (fig. 2) : *Les complexes de résurgence* (dimensions modestes, couches à stratification grossières, pendage conforme à la pente topographique) ; *les complexes de barrages* (situés en amont du cours, engendrant une cascade et une retenue en amont, et dont la croissance, progradante vers l'aval, s'effectue par accrétion horizontale sous le contrôle bathymétrique du seuil de la retenue) ; *les complexes de plaine alluviale* (interdépendants avec les dépôts alluviaux détritiques qu'ils compactent ou dans lesquels ils s'interstratifient. Ces deux derniers types concernent particulièrement les formations rencontrées lors de nos investigations.

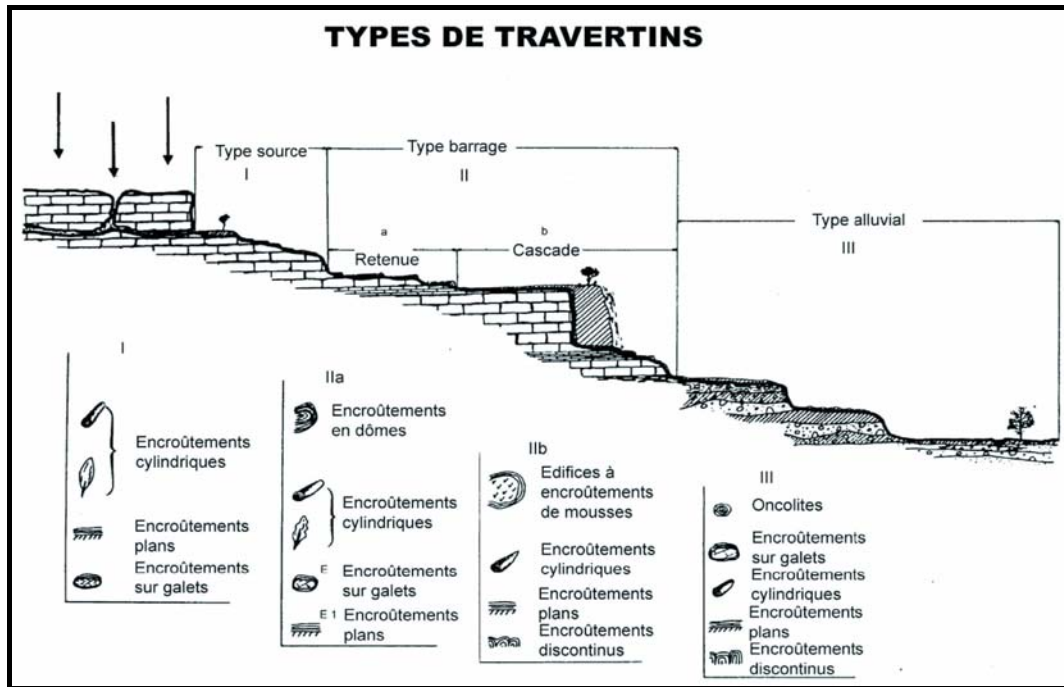


Fig. 2. Typologie générale des formations travertineuses (d'après J. Casanova 1981).
 Tipologia generală a formațiunilor travertinoase (după J. Casanova 1981).

1.3. Les différents faciès et les milieux qui leurs sont associés

Les différents contextes environnementaux dans lesquels se développent les formations travertineuses, les caractéristiques géomorphologiques de leur environnement immédiat de même que l'impact des fluctuations morphosédimentaires et paléohydrologiques (variations de l'hydrodynamisme notamment), génèrent une variété de faciès significative des conditions de dépôts.

On peut ainsi dresser une typologie des différents faciès observés et de leurs modalités de dépôt (F. Magnin *et alii* 1991 ; J.-L. Guendon, en J. Riser, 1999 ; J.-L. Guendon *et alii* 2003, V. Ollivier *et alii* 2006) :

- Les travertins construits (photo 3) résultent de l'accumulation de tapis algo-bactériens calcigènes. Les travertins les plus purs sont bien indurés et adoptent des faciès stromatolithiques rubanés ou laminaires. Lorsqu'ils sont plus tendres, poreux ou vacuolaires, ils sont assimilés à des tufs calcaires (J. Vaudour 1986a). Ces faciès fossilisent fréquemment de nombreux végétaux (feuilles, aiguilles, cônes, troncs, mousses, brindilles, etc.) et leur morphologie (bancs, banquettes, vasques, ressauts, cascades, dômes, etc.) est fortement dépendante du support sur lequel ils se développent. Ils sont généralement associés à des milieux de fort hydrodynamisme (ruisseaux, torrents, chutes d'eau, ruissellements sur versants) et se localisent préférentiellement au niveau des ruptures de pente ou d'embâcles (rochers, branches, etc.). Ces accidents accentuent, par le brassage occasionné, le dégazage des eaux et accélèrent la sursaturation des solutions responsables de la précipitation des carbonates. Les édifices construits peuvent aboutir dans certains cas à la formation de barrages à l'amont desquels se développent des zones palustres ou des étendues lacustres.



Photo 3. Travertin construit à empreintes foliaires (Haghartsin, Arménie, cliché : V. Ollivier, 2007).
Travertin construit din amprente foliare (Haghartsin, Armenia, fotografie de către V. Ollivier, 2007).

- Les craies calcaires travertineuses (photo 4) sont des sédiments fins et meubles, généralement blanchâtres ou grisâtres liés à la précipitation de fines particules carbonatées (M.A. Geurts 1976). La fraction granulométrique représentée est inférieure à 500 μ et le pourcentage de CaCO_3 supérieur en moyenne à 70% (V. Ollivier 2006). Ils sont parfois lités en alternance avec de fins niveaux charbonneux, des incrustations oncolithiques, en tubes (encroûtement de débris végétaux), choux-fleurs ou plaques en fonction de l'énergie des écoulements et du type de milieu concerné (alluvial, palustre ou lacustre). Ces dépôts se produisent plutôt dans des contextes environnementaux de faible hydrodynamisme, généralement localisés en amont de barrages travertineux ou latéralement au chenal principal d'écoulement dans le cas des systèmes carbonatés fluviaux.



Photo 4. Faciès crayeux travertineux (Luberon, Vaucluse, France, cliché : V. Ollivier, 2006).
Faciesuri cretoase de travertin (Luberon, Vaucluse, Franța, fotografie de către V. Ollivier, 2006).

- Les ensembles travertino-détritiques (photo 5) sont constitués soit d'éléments détritiques allochtones (argiles, limons, cailloutis) mêlés à des concrétionnements autochtones (laminés, à mousses, crayeux, oncolithiques, tubulaires), soit d'éléments clastiques essentiellement travertineux (sables travertineux). Ils proviennent de l'érosion et du remaniement de formations carbonatées en développement en amont et sont souvent localisés sous la forme de lentilles incorporées dans les niveaux crayeux. Ces différents faciès indiquent des érosions de faible intensité qui n'arrêtent pas

totallement l'accumulation travertineuse. Ils dénotent souvent des milieux fragilisés ou naturellement sensibles.



Photo 5. Faciès travertino-détritiques (Luberon, Vaucluse, France, cliché : V. Ollivier, 2006).
Faciesuri travertino-detritice (Luberon, Vaucluse, Franța, fotografie de către V. Ollivier, 2006).

- Une place à part doit être réservée aux faciès géolifracés (photo 6), spécifiques des formations d'altitude. Ce sont à l'origine des travertins construits laminés, micro-fracturés au fur et à mesure de leur élaboration par le jeu de l'alternance gel/dégel (M. Fort 1981 ; J.M. Mlakar *et alii* 1999). Les concrétionnements fragmentés peuvent subir un transport (gravitaire ou lié au ruissellement) sur une courte distance, et font l'objet d'une cimentation calcitique synsédimentaire dont résultent les faciès micro-bréchiques. L'analyse comparative de formations actuelles en milieu montagnard indique qu'ils se développent préférentiellement dans des zones de faible ruissellement dépourvues de couverture forestière protectrice (qui amoindrit les effets de l'onde de gel), ce qui qualifie ces faciès comme caractéristiques des milieux ouverts d'altitude.



Photo 6. Faciès travertineux géolifracé (Hautes Alpes, France, cliché : J.-L. Guendon 2004).
Faciesuri de travertin rezultate în urma înghețului (Munți Alpi, Franța, fotografie de către J.-L. Guendon 2004).

- Enfin, les faciès purement détritiques (photo 7), constitués de sédiments argileux, limoneux, sableux et/ou caillouteux (éléments du substrat parfois mêlés, en proportion largement inférieure aux ensembles travertino-détritiques, à des blocs ou fragments de travertins) se retrouvent à la base des coupes ou à leur sommet. Ils correspondent souvent à de brefs épisodes de crues, des migrations

latérales du chenal principal, des phases d'érosion ou d'instabilité du milieu. Ces dépôts révèlent généralement des épisodes de crises morpho-sédimentaires.



Photo 7. Faciès détritique intraformationnel dans la séquence travertineuse (Luberon, Vaucluse, France, cliché : V. Ollivier, 2006).
Faciesuri detritice intraformaționale în secvența travertinelui (Luberon, Vaucluse, Franța, fotografie de către V. Ollivier, 2006).

- A ces dépôts sédimentaires il convient d'ajouter les marqueurs d'incision (photo 8) : ce type d'évènement morphosédimentaire se distingue par des discordances stratigraphiques, des séquences emboîtées ou par des édifices disloqués lors de glissements de terrain. Les lacunes de dépôts qui en découlent, traduisent des crises morpho-dynamiques majeures, qui se produisent vraisemblablement dans des milieux instables, fragilisés par exemple, par des variations climatiques brutales ou/et des pressions anthropiques fortes.

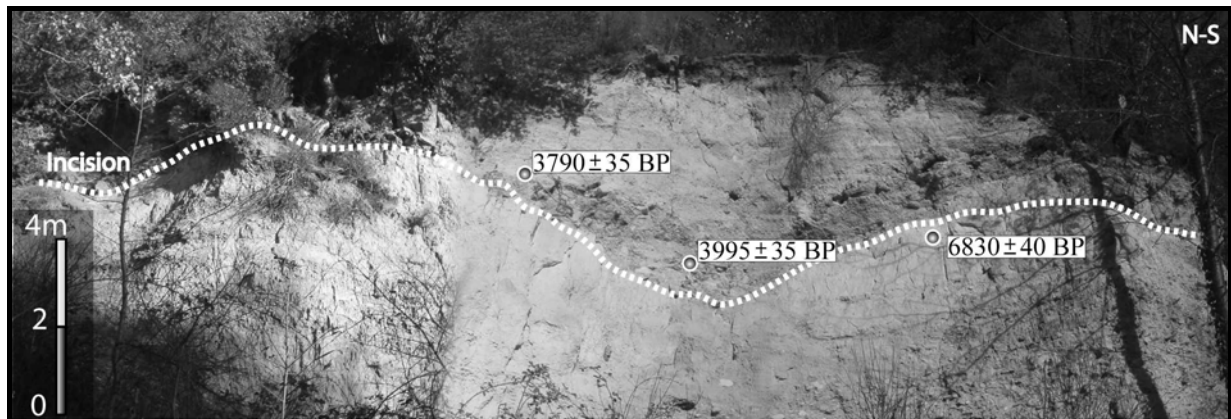


Photo 8. Incision dans la séquence travertineuse (Luberon, Vaucluse, France, cliché : V. Ollivier, 2006).
Incizie în secvența travertinelui (Luberon, Vaucluse, Franța, fotografie de către V. Ollivier, 2006).

Dans sa totalité la séquence travertineuse comprend donc : des travertins construits, des craies, des sédiments détritiques et des discordances stratigraphiques liées à des incisions et/ou des érosions. Ces différents faciès peuvent être considérés comme autant de témoins des différents stades d'évolution, des phases de développement continu de la formation aux discontinuités générées par des perturbations d'origines autocycliques (fonctionnement propre du système) ou externes.

2. Climats, occupations humaines, dynamiques morphosédimentaires

L'impact climatique sur le développement des formations travertineuses météogènes est certain. En revanche peu de données récentes semblaient susceptibles de confirmer l'effectivité des perturbations anthropiques sur le développement des systèmes carbonatés. Plusieurs résultats concernant le sud de la France avaient émis l'hypothèse d'une interruption de l'accumulation travertineuse et du démantèlement des formations aux alentours du Néolithique (J. Vaudour 1994). Elle apparaît en fait plus récente et sous contrôle climato-anthropique à partir du Néolithique Final tandis que son expression n'est réellement effective qu'au cours du Petit Age Glaciaire (V. Ollivier 2006).

2.1. Tendances climatiques et développement des formations travertineuses

La relation entre tendances climatiques tempérées (interstadias ou interglaciaires) et développement des formations travertineuses est un sujet d'étude privilégié (A. Weisrock 1986, M. Pedley *et alii* 1996, F. Dramis *et alii* 1999, N. Franck *et alii* 2000, N. Horvatincic, R. Calic 2000, K. Zak *et alii* 2002, S. Ordonez *et alii* 2005, notamment). Les mécanismes de la carbonatogenèse (cf. *supra*) s'accordent en effet particulièrement bien avec des conditions climatiques où les températures clémentes, la répartition, les régimes et l'intensité (modérée) des précipitations favorisent, entre autres facteurs, le développement des cyanobactéries, de la rypisylve (microenvironnement propice à la biolithogenèse), d'une couverture pédologique (richesse en CO₂) préservée de l'érosion et des écoulements abondants et réguliers aux eaux fraîches (14 à 15°C paraissent favorables).

Les recherches menées actuellement dans le sud de la France, la Roumanie et l'Arménie soulignent cet état de fait :

En Arménie, l'étude préliminaire de 9 formations travertineuses (7 météogènes et 2 thermogènes) sur un axe nord-ouest / sud-est de plus de 220 km de longueur entre les 41^{ème} et 39^{ème} parallèles (Haghartsin au nord de l'Arménie, Arzni, Aghveran et Arzakan au nord de Erevan, Khndzorut au sud-ouest de Vayk à la frontière du Nakitchévan, Uyts à l'ouest de Sisian au sud de l'Arménie, Shamb 1 et 2 au sud de Sisian et Tatev à l'extrême sud de l'Arménie) ont délivrés une répartition chronologique (datations U/Th et ¹⁴C) du développement de ces formations située entre les Stades Isotopiques 9 et 1 (V. Ollivier *et alii* 2006). Chacune des phases de croissance des accumulations travertineuses correspond de manière évidente à de hauts niveaux marins lors de phases interglaciaires ou interstadias (fig. 3).

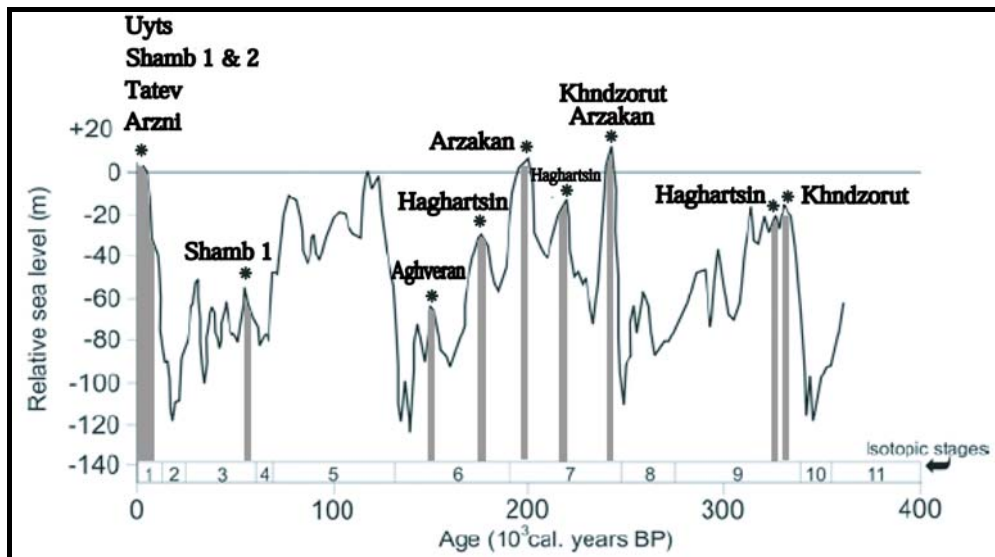


Fig. 3. Localisation chronoclimatique des travertins étudiés en Arménie (Mission Caucase) sur la courbe de fluctuation des niveaux marins globaux.

Localizarea cronoclimatică a travertinelor studiate în Armenia (Misiunea Caucaz) pe curba de fluctuații a nivelurilor marine globale.

En Roumanie, les premières analyses géomorphologiques en cours sur les formations travertineuses météogènes (parfois également influencées par du thermalisme) de Geoagiu (photo 9), Cărpiniș, Banpotoc (département de Hunedoara) et Borsec (département de Harghita) semblent

indiquer des âges relatifs pléistocènes (selon la concordance des faciès rencontrés et les relations géométriques des dépôts par rapport aux unités géomorphologiques localement connues) qui pourraient également s'inscrire dans des phases globales de climat tempéré. Dans la partie sommitale de la séquence de Borsec (au niveau de l'ancienne carrière d'extraction de travertins), deux paléosols relativement développés (photo 10) signent des contextes climatiques tempérés et une certaine stabilité morphogénique. Les faciès rencontrés, les premières études sédimentaires effectuées de même que la relation morphostratigraphique observée par rapport à la formation initiale vraisemblablement pléistocène (emboîtement et recouvrement) semblent révéler une seconde formation potentiellement postglaciaire (photo 11).



Photo 9. Formation travertineuse de Geoagiu (Roumanie, cliché : V. Ollivier, 2008).
Formațiunea travertinoasă de la Geoagiu (România, fotografie de către V. Ollivier, 2008).



Photo 10. Détail des « paléosols » de la formation de Borsec (Roumanie, cliché : V. Ollivier, 2008).
Detaliu al "paleosolurilor" din travertinul de la Borsec (România, fotografie de către V. Ollivier, 2008).

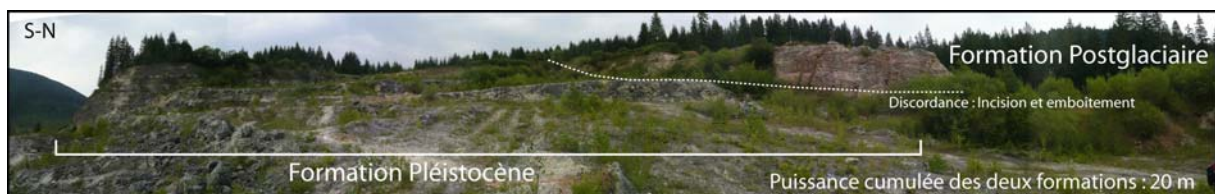


Photo 11. Vue générale de l'organisation morphosédimentaire de la formation travertineuse quaternaire de Borsec (ancienne carrière, Roumanie, cliché : V. Ollivier, 2008).
Vedere generală a organizării morfosedimentare a formațiunii travertinoase cuaternare de la Borsec (vechea carieră, România, fotografie de către V. Ollivier, 2008).

Enfin, dans le sud de la France, entre Languedoc et Provence, de nombreuses formations s'organisent également lors de phases tempérées de durées variables. Citons par exemple en Languedoc (sud-ouest de la France) les séquences travertineuses de la Rouquette (350 000 BP par UTh, P. Ambert *et alii* 1992), du Chenil (même âge), du Château de Creissels (222 000 BP par UTh) ou encore de la vallée du Lez entre 122 000 et 44 000 BP (P. Ambert *et alii* 1995). En Provence (sud-est de la France) nous pouvons également évoquer les cas de Meyrargues (Bouches du Rhône) datées entre 172 900 BP et 144 700 BP à la Papeterie Vasino (dont les analyses du contenu paléocologique et les datations U/Th obtenues indiquent deux épisodes climatiques tempérés à végétation forestière au sein du Stade Isotopique 6 considéré comme globalement froid, F. Magnin *et alii* 1990), de Roquevaire (Bouches du Rhône) entre 91 000 et 47 000 BP (A. d'Anna *et alii* 1988, J.-L. Guendon 2007, inédit) avec de surcroît la présence d'un paléosol, ou encore de Vinon sur Verdon (Bouches du Rhône) vers 23 400 BP (J.-L. Guendon 1998, inédit).

Mais la question apparaît complexe. En effet, même si ces formations restent statistiquement, tant du point de vue de leur volume que de leur répartition, plus nombreuses et mieux développées en environnements tempérés, divers travaux ont signalé la présence de travertins dans des domaines montagnards d'altitude, au climat froid et rigoureux. On peut citer par exemple dans les Alpes françaises le Queyras (A.-A. Ali *et alii* 2004), le col du Lautaret (J.M. Mlakar 1999), ou dans des contrées plus lointaines, l'Afghanistan (J. Lang, G. Lucas 1970), l'Himalaya (P. Freydet, M. Fort 1980, M. Fort 1981) ou encore l'Argentine (B.-L. Valero-Garcés *et alii* 2001). Le chimisme des eaux lié au degré d'évolution du karst semble un élément déterminant dans le cadre du développement de ces formations (F. Magnin *et alii* 1991). Il convient donc de distinguer le potentiel de travertinisation des eaux de celui de la capacité d'accumulation des systèmes carbonatés, variable fortement dépendante des fluctuations paléohydrologiques et du rapport : intensité du dépôt du CaCO₃ / intensité de l'érosion (M. Bakalowicz 1988).

2.2. Occupations humaines et environnements travertineux : des relations privilégiées

Témoins essentiels de la transformation des géosystèmes naturels en géosystèmes anthropisés au cours du Postglaciaire (J. Vaudour 1986b), les édifices travertineux contiennent de nombreux indices ou vestiges d'occupations humaines *in situ* ou dans leur environnement proche. Deux cas peuvent être distingués : celui des formations travertineuses fossiles et celui des systèmes travertineux actifs. Cette distinction est arbitraire car les deux cas peuvent coexister, les formations fossiles étant très souvent proches de systèmes encore actifs.

Parmi les formations travertineuses fossiles (aux époques des occupations concernées), les systèmes en balcon et en cascades présentent des caractères morphologiques qui en font des sites privilégiés : replats suspendus favorables à l'établissement de sites perchés et fortifiés, cavités naturelles recherchées comme lieux d'habitats en grottes, bergeries ou maisons et villages troglodytes. Les cas d'occupations préhistoriques semblent peu connus compte tenu des nombreuses, durables et importantes occupations plus «récentes» qui ont pu diluer l'information ou détériorer les vestiges antérieurs. Nous pouvons cependant évoquer, dans le sud de la France, l'habitat magdalénien du site de l'Estabel à Cabrières dans l'Hérault (P. Ambert 1979-1981, 1993-1998), ou encore les multiples occupations du site de Ségriès (travertins du Pléistocène inférieur) qui s'échelonnent du Moustérien à l'époque contemporaine (M. Dubar, P. Clappier 1989) et de l'abri du Rouet (Carry-Le-Rouet) en ce qui concerne le Tardigravettien (J.E. Brochier, M. Livache 2003 ; Brochier, communication orale).

L'abondance, la pérennité et la qualité des eaux sont sans doute les facteurs essentiels qui font des systèmes travertineux actifs, qu'ils soient alluviaux, de sources, cascadants ou palustres, des sites attractifs fréquentés et occupés de tous temps par les populations humaines. Sans exhaustivité, les travertins de Vendres (P. Ambert 1982 et 1991) ou de Millau, la Rouquette (P. Ambert *et alii* 1989), sont de bons exemples pour le Paléolithique inférieur et moyen, tout comme Pont de Joux en Provence (raclor double moustérien, Paléolithique moyen, A. D'Anna *et alii* 1988).

Avec les périodes plus récentes du Néolithique les occupations de plein air en milieu travertineux deviennent plus marquées et les interactions sur la sédimentation et l'environnement sont alors plus sensibles. Les cas sont multiples et quasi généralisés de la Provence au Languedoc (sud de la France) au moins dès le Néolithique moyen (A. D'Anna, J. Courtin 1986). A titre d'exemples nous pouvons citer les formations de : St. Antonin où l'avant dernier ensemble sédimentaire daté à 4 840 ± 80 BP intègre du mobilier archéologique provenant de gisements périphériques attribués au Chasséen/Néolithique final, (J.-L. Guendon *et alii* 2003) ; Vauvenargues (gisement Néolithique final/Chalcolithique en place vers 3 040 BC, M. Cheylan, A. D'Anna 1979 ; A. D'Anna, J. Courtin 1986) ; du

Mirail et des Hermitans (niveaux d'occupations du Néolithique final entre $4\ 737 \pm 47$ BP et 3396 ± 30 BP, V. Ollivier *et alii* 2004) ou de la Resclauze à Gabian (P. Ambert, A. Delgiovine 1979 ; P. Ambert, 1988; J.E. Brochier 1988).

Bien que souvent bref (J. E. Brochier 1988, 2002), l'impact des modes d'occupation humaine au Néolithique semble avoir une influence sur le bilan accumulation/érosion dans le développement des séquences travertineuses. Dans ce cas précis, une conjonction de facteurs en rétroaction positive, tel que variabilité climatique intra-holocène + poids des occupations humaines ou sensibilité acquise des milieux travertineux + poids des occupations humaines, semble nécessaire pour que les effets de ces « anthropisations » soient plus nettement marqués (cas du Luberon et de la Sainte Victoire en France, V. Ollivier *et alii* 2006 ; J.-L. Guendon *et alii* 2003).

3. Sensibilité des systèmes, cyclicité de l'organisation morphosédimentaire

Les formations travertineuses, de par leur réactivité face aux changements environnementaux d'origine globale ou locale, voient leur organisation morphologique et leurs modes de dépôt varier au cours du temps. L'évolution des pôles sédimentaires et l'enregistrement des ruptures morphogéniques fournissent, lorsqu'ils sont décryptés à la lumière des nouvelles recherches, des informations paléoenvironnementales pertinentes dans le cadre d'analyses sur les relations Homme/milieu.

3.1. Des formations sensibles aux modifications du biotope, des marqueurs privilégiés des changements environnementaux

Dans le sud de la France, des analyses paléoécologiques (anthracologie et malacologie) ont été associées aux études sédimentologiques et géomorphologiques. Elles concernent les formations de St. Antonin (massif de la Sainte Victoire, Bouches du Rhône) et du Mirail (massif du Luberon, Vaucluse) à l'évolution globale particulièrement explicite. Les résultats obtenus par ces recherches témoignent de la nécessité d'une conjonction des facteurs pour engendrer la « mort » progressive des édifices travertineux. Ceux-ci soulignent également l'impact certain des modes d'occupation humaine de la fin du Néolithique sur le développement des séquences carbonatées.

A St. Antonin (fig. 4, J.-L. Guendon *et alii* 2003), la séquence débute au Préboréal-Boréal dans un contexte forestier ouvert (espèces hygrophiles et pionnières de ripisylve et quelques essences mésophiles de la chênaie pubescente) où la travertinisation construite se développe conjointement à un détritisme de départ en diminution progressive. Ensuite, de la fin du Boréal au début de l'Atlantique, le milieu végétal se referme (chênaie pubescente), l'accumulation des travertins devient optimale (selon la relation : densification du couvert végétal, augmentation du CO₂ favorable à la dissolution du substratum calcaire, transport en solution et re-précipitation des carbonates sous la forme de travertins). Celle-ci perdure malgré une première ouverture du milieu végétal dès l'Atlantique ancien. Enfin, du milieu de l'Atlantique jusqu'au Subboréal, le contexte environnemental passe d'un milieu forestier ouvert (chênaie pubescente et ronce) à un milieu forestier très ouvert (chênaie pubescente, Pin d'Alep, Genévrier et ronce). L'apparition brutale d'érosions et le retour d'un important détritisme, associés à un mobilier archéologique remanié datant du Néolithique Final, semble s'accorder avec l'ouverture croissante du milieu végétal observée par les analyses anthracologiques et malacologiques. Toutefois, en sommet de séquence, la travertinisation construite reprend.

Dans le Luberon (V. Ollivier, 2006 ; V. Ollivier *et alii* 2006), la formation du Mirail (fig. 5) connaît une évolution en de nombreux points comparable à celle de St. Antonin. L'accumulation travertineuse y débute au Tardiglaciaire sous l'aspect de faciès crayeux (au taux de carbonates moyens constants mais inférieurs à ceux enregistrés pour l'Holocène). A l'Atlantique, les faciès crayeux se développent dans un environnement immédiat palustre bordé d'une forêt ouverte (S. Martin 2004 ; V. Ollivier 2006). L'existence de sols hydromorphes suggère des conditions édaphiques assez stables. Les fluctuations moyennes des taux de carbonates mesurés témoignent d'une stabilité environnementale et d'une régularité dans les apports en CaCO₃ et leur accumulation. Seules quelques nappes caillouteuses provenant de petites crues ou de migrations latérales du chenal principal rappellent le caractère alluvial du fond de vallon. Ces décharges détritiques ne sont pas accompagnés d'incisions et n'entravent pas l'accumulation des craies.

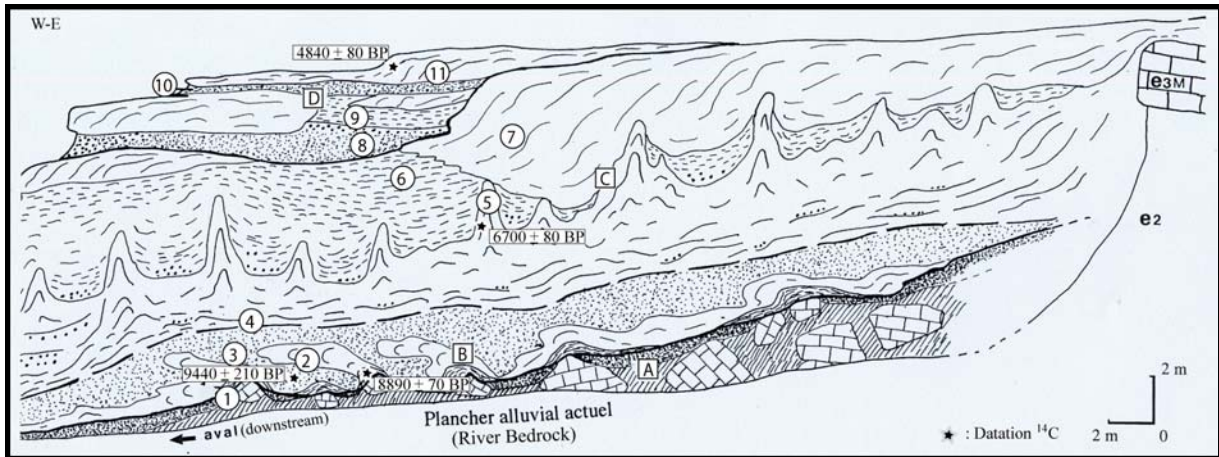


Fig. 4. Coupe d'ensemble des travertins holocènes de la cascade de St. Antonin (massif de Sainte Victoire, Bouches du Rhône, France) d'après J.-L. Guendon *et alii* 2003. Légende : Substratum : e2) Argilites rouges du Paléocène moyen (Thanétien) ; e3M) Calcaire du Paléocène supérieur (Sparnacien) ; Ensemble A : Blocs calcaires et dépôts alluviaux ; Ensemble B : 1) Travertins laminés ; 2) Travertins à mousses, 3) Limon rouge ; Ensemble C : 4) Travertin feuilleté ; 5) Gours à travertin laminé ; 6) Craies ; 7) Cascade de travertin ; Ensemble D : 8) Niveau détritique contenant quelques vestiges remaniés du Néolithique ; 9) Travertin caverneux et limons crayeux ; 10) Niveau détritique ; 11) Travertin vacuolaire.

Vedere de ansamblu a travertinelor holocene de la cascada St. Antonin (masivul Sainte Victoire, Gurile Ronului, Franța) după J.-L. Guendon *et alii* 2003.

L'alternance entre milieux typiquement palustres et reconquêtes forestières se poursuit jusqu'à la fin de l'Atlantique sans modification notable des faciès travertineux. Dès les installations marquées des populations humaines du Néolithique final dans le secteur (manifestée par de nombreux vestiges archéologiques et plusieurs niveaux d'occupation), de fortes ouvertures du milieu végétal interviennent, des incisions apparaissent et les premiers faciès travertineux construits se développent (fig. 5). En sommet de séquence, la travertinisation se poursuit au moins jusqu'au Moyen Age chaque fois associée à de petites phases d'incisions qui génèrent fréquemment des faciès construits.

Du Tardiglaciaire à la seconde moitié de l'Atlantique, à St. Antonin comme dans le Luberon, les modifications dans l'accumulation carbonatée semblent inféodées aux seules variations des conditions bioclimatiques. Cependant, les fluctuations climatiques ne sont pas suffisamment prononcées pour perturber durablement et interrompre le développement des séquences carbonatées. En revanche, dès la fin de l'Atlantique/début du Subboréal, les variations bioclimatiques (F. Magny *et alii* 2006) associées à l'impact de plus en plus répétitif des occupations humaines du Néolithique se font ressentir. Elles se manifestent par des ouvertures du milieu végétal nettement marquées et par des ruptures dans les séquences travertineuses : des incisions, notamment dans le Luberon, et des changements de faciès dans les deux sites (détritisme à St. Antonin, travertin construit dans le Luberon). Dans les séquences travertineuses du sud de la France, ces changements très brutaux de l'environnement à partir de l'implantation des sites du Néolithique final sont très fréquents. Dans la séquence tourbeuse et travertineuse de Tourves dans le Var par exemple, un important changement des caractéristiques hydrologiques du système est enregistré à partir du Subboréal (V. Andrieu-Ponel, P. Ponel 1999). Les analyses entomologiques et palynologiques indiquent une disparition des conditions palustres au profit d'un environnement d'eau courante dont l'avènement provient peut être de pratiques de drainages associées aux activités agricoles. Dans la formation travertineuse de Vauvenargues (Bouches-du-Rhône), les assemblages malacologiques montrent également une rupture liée à une forte ouverture de la végétation forestière à partir de l'installation des hommes du Néolithique (F. Magnin 1991) sans toutefois remettre en cause l'accumulation des travertins.

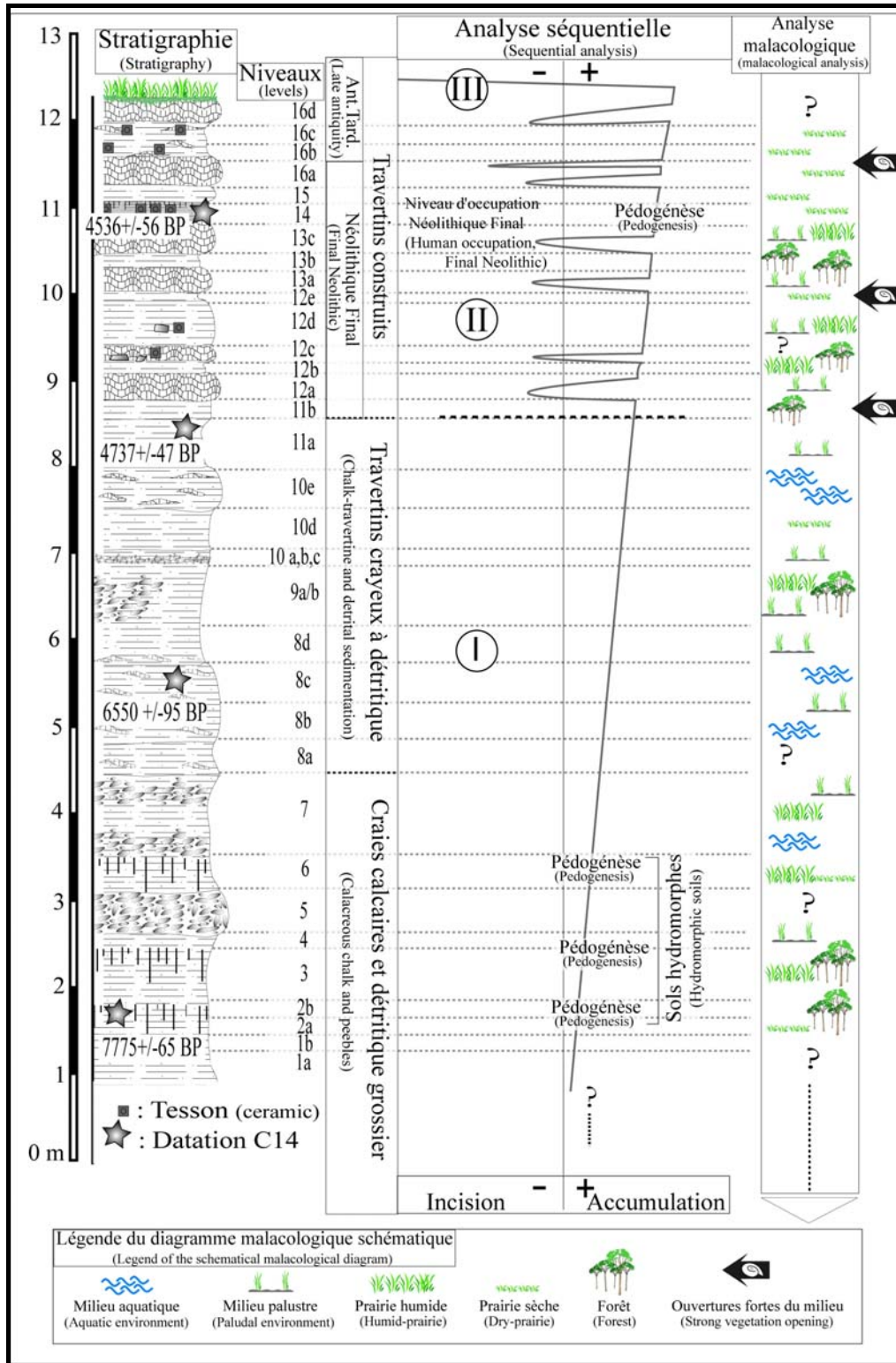


Fig. 5. Analyse séquentielle et paléoécologique de la coupe du Verger-sud (formation travertineuse postglaciaire du Mirail, Luberon, Vaucluse, France). Legende : I) Accumulation continue, contexte environnemental stable ; II) Accumulation discontinue, ruptures, incisions, changements de faciès, instabilité environnementale ; III) Cumul des pressions climato-anthropiques, incision linéaire généralisée des talwegs.

Analiza secvențială și paleoecologică a profilului Verger-sud (formațiune de travertin postglaciar din Mirail, Luberon, Vaucluse, France). Legendă: I) Acumulare continuă, context al mediului înconjurător stabil; II) Acumulare discontinuă, incizii, schimbări de faciaturi, instabilitate a

mediului înconjurător; III) Cumul de presiuni climato-antropice, incizie lineară generalizată a talvegului.

Les pressions climato-anthropiques sur les environnements travertineux apparaissent très clairement à partir du Néolithique et aboutissent à des changements dans les rythmes de la sédimentation (renversements de tendances) et dans l'expression des faciès carbonatés (ruptures morphosédimentaires, travertinisation construite, variabilité des taux de CaCO_3 , V. Ollivier 2006). Toutefois, il faudra plusieurs millénaires pour que la répétition et l'augmentation du poids de ces contraintes (accroissement des occupations humaines et hausse dans la fréquence des fluctuations climatiques : Rapid Climate Changes 4.2-3.8 Ka cal. BP ; 3.5-2.5 Ka cal. BP, 1.2-1 Ka cal. BP, Optimum médiéval, Petit Age Glaciaire, etc.), qui engendrent des « réajustements » perpétuels dans le fragile équilibre des systèmes travertineux (variations cycliques des pôles sédimentaires), puissent déstabiliser durablement la croissance des édifices (arrêt de l'accumulation carbonatée) et aboutir à une suprématie des érosions et de l'incision sur l'accumulation des carbonates.

De l'Arménie à la Roumanie, quelques séquences travertineuses holocènes récemment découvertes et encore en cours d'étude pourraient avoir enregistré des évolutions comparables (cas probables des travertins supérieurs de Borsec en Roumanie et des séquences d'Arghartsin et de Shamb en Arménie). Les investigations actuelles, établissant des protocoles d'analyses croisées entre géomorphologie, archéologie, paléoécologie, se concentrent sur ce sujet.

3.1. Evolution cyclique de la séquence carbonatée : une succession de relations entre travertins, détritisme et incisions

Une typologie cyclique de l'évolution verticale de la séquence travertineuse a déjà été élaborée en domaine méditerranéen (J. Vaudour 1986a ; F. Magnin *et alii* 1991). Celle-ci définissait deux principaux pôles d'évolution, l'un positif concernant la partie inférieure des formations l'autre négatif dans la deuxième moitié de la coupe stratigraphique, annonçant la « mort » progressive de l'édifice travertineux (F. Magnin *et alii* 1991). Dans le premier pôle, l'enchaînement des faciès débutait par des cailloutis alluviaux, et se poursuivait par des limons ou des argiles, des craies travertineuses puis des travertins construits (principal corps carbonaté de la formation). Le second pôle s'amorçait par des concrétionnements remaniés (sables travertineux, limons à manchons calcitiques, etc.) et était souvent recouvert par une nappe détritique colluviale. Une incision plus ou moins importante suivait généralement la mise en place de ces dépôts, avant que ne se réalise un nouveau cycle sédimentaire travertineux, emboîté ou étagé par rapport au précédent (F. Magnin *et alii* 1991). Cette analyse traduisait une évolution environnementale et morphosédimentaire qui commençait par des conditions de milieux essentiellement détritiques où la travertinisation n'avait pas la possibilité de s'exprimer et de s'accumuler. L'apparition d'un contexte carbonaté au préalable crayeux, qui constituait les premiers stades de l'accumulation travertineuse, suivit de faciès construits (travertins laminés ou rubanés, incrustations recouvrant divers débris végétaux, etc.) représentait au final l'optimum de la carbonatogenèse.

Les recherches sur la dynamique actuelle des systèmes travertineux de Provence (sud de la France) et l'observation de coupes locales et extra régionales dans les formations héritées nous ont amené à préciser cette cyclicité dans l'organisation des faciès carbonatés au sein de la séquence travertineuse postglaciaire (V. Ollivier 2006 ; V. Ollivier *et alii* 2006).

Dans les ensembles travertineux alluviaux actuels, le chenal est généralement le siège de la travertinisation construite et les marges celui de la travertinisation crayeuse (V. Ollivier 2006). Mais au cours de l'évolution morphogénique des systèmes carbonatés de ce type au Postglaciaire, certaines périodes humides (au Tardiglaciaire notamment) étaient plutôt favorables à une travertinisation crayeuse à faibles taux de concrétionnements dans des vallons engorgés (faible déclivité linéaire) à écoulements plus ou moins diffus et de faible hydrodynamisme. Ce n'est qu'à la faveur d'une modification de la tendance morphogénique (passage d'une phase de remblaiement à un épisode d'incision) liée à des variations climatiques et/ou probablement à des interventions humaines (modes de mise en valeur des paysages) sur ces environnements que les faciès construits semblent intervenir (V. Ollivier 2006 ; V. Ollivier *et alii* 2006). La rupture marquée par l'incision engendre une concentration et une accélération des eaux (inclinaison plus forte de la pente et hausse de l'hydrodynamisme) qui favorise le brassage des eaux, le dégazage du CO_2 et l'ensemble des processus physicochimiques et biochimiques qui engendrent les incrustations carbonatées. Le détritisme (cailloutis et parfois artéfacts archéologiques) qui accompagne souvent cette étape ne semble pas inhibiteur de la carbonatation car il est souvent encroûté au fur et à mesure de son dépôt.

Lorsque l'accumulation travertineuse l'emporte sur « l'érosion » du chenal liée à l'incision (pendant un temps plus ou moins long), l'édifice construit poursuit sa croissance verticale et a tendance ensuite à transgresser sur les marges du talweg (V. Ollivier, 2006 ; V. Ollivier *et alii* 2006). Cet exhaussement du chenal principal amoindri à terme la vigueur du profil longitudinal local du cours d'eau et l'hydrodynamisme. Dans ce contexte et avec une potentialité de carbonatation identique des eaux, les faciès crayeux se développent à nouveau. Cet enchaînement de séquences sédimentaires carbonatées se poursuit ensuite au rythme des fluctuations paléohydrologiques et morphogéniques. Il convient de noter que ce type d'évolution morphosédimentaire ne peut s'élaborer qu'au cours d'une augmentation d'assez longue durée de l'hydrodynamisme dans une tendance à l'incision. Les débordements liés à des crues, qui sont de courtes périodes d'augmentation de l'hydrodynamisme et qui n'aboutissent pas à un renversement de tendance morphogénique n'engendrent que le dépôt de nappes caillouteuses qui se mêlent aux faciès crayeux sans en interrompre le développement. Il en va de même pour les migrations latérales du chenal sans incision.

En définitive, dans les ensembles travertineux alluviaux les craies peuvent donc être considérées comme représentatives d'une période optimale de stabilité du milieu tandis que les faciès construits, synonymes d'augmentation de l'hydrodynamisme, apparaissent à la suite de petites incisions dans les niveaux crayeux sous jacents. Dans ce cas précis, la travertinisation construite intervient après une phase d'instabilité morphogénique, de rupture dans le processus d'accumulation. Elle ne signe donc pas forcément un optimum de la carbonatation mais plutôt une étape intermédiaire vers un nouvel équilibre en faveur de la croissance des édifices.

La séquence travertineuse apparaît donc comme un système complexe, sorte d'autopoïèse (capacité d'un système à se produire et à s'auto-entretenir, F.-J. Varela 1989), où chaque perturbation interne ou externe est suivie d'une régénération de l'ensemble selon de multiples formes et en fonction de l'état initial (défini par ses caractéristiques géomorphologiques).

Conclusions

Les formations travertineuses occupent une place privilégiée au regard de leur qualité stricte d'archives sédimentaires haute résolution, mais aussi et surtout, parce qu'il s'agit de systèmes dynamiques et évolutifs aux temps de réponse rapides aux diverses influences et mutations environnementales. Témoins des changements globaux, les formations s'inscrivent au sein de périodes interglaciaires ou signalent l'existence d'oscillations / phases climatiques tempérées lors de périodes glaciaires.

Dans le cadre d'analyses stratigraphiques séquentielles, la variabilité des faciès travertineux devient un précieux indicateur des dynamiques paléohydrologiques et morphologiques au sein d'espaces paysagers en perpétuelle mutation. Cet aspect renforce la qualité des enregistrements liée aux capacités de bonne conservation (fossilisations) de ces milieux ainsi que les bénéfices que l'on peut habituellement envisager par l'exploitation de leurs données.

Les raisons des arrêts, ruptures et reprises multiples de l'accumulation carbonatée sont inféodées aux oscillations climatiques d'amplitudes variables de même qu'à l'évolution des modes d'occupations humaines, ce qui les place au premier rang des enregistreurs continentaux dans l'analyse des relations Hommes/milieu selon de multiples échelles spatiotemporelles. L'incrémentation des données issues des séquences alluviales conventionnelles par l'analyse des systèmes carbonatés peut pallier aux fréquentes discontinuités des séquences continentales détritiques qui ne répondent pas de la même façon, ni de manière aussi précise, aux modifications des paramètres responsables de l'évolution, qu'ils soient d'origine climatique ou climato-anthropique.

Emprunts de pluridisciplinarité (archéologie, paléoécologie, géomorphologie, géologie isotopique, paléoclimatologie, etc.) ces milieux soulèvent également des problématiques qui appartiennent aux sociétés actuelles comme la définition des valeurs patrimoniales, des ressources et des modes de gestion durable des systèmes travertineux (zones humides par définition), des milieux karstiques et de leurs aquifères, de l'évolution de la biodiversité, de l'aménagement du territoire et des perspectives climatiques, par la modélisation des données héritées témoignant de la nature des facteurs qui régissaient les dynamiques paysagères dans des contextes différents des nôtres.

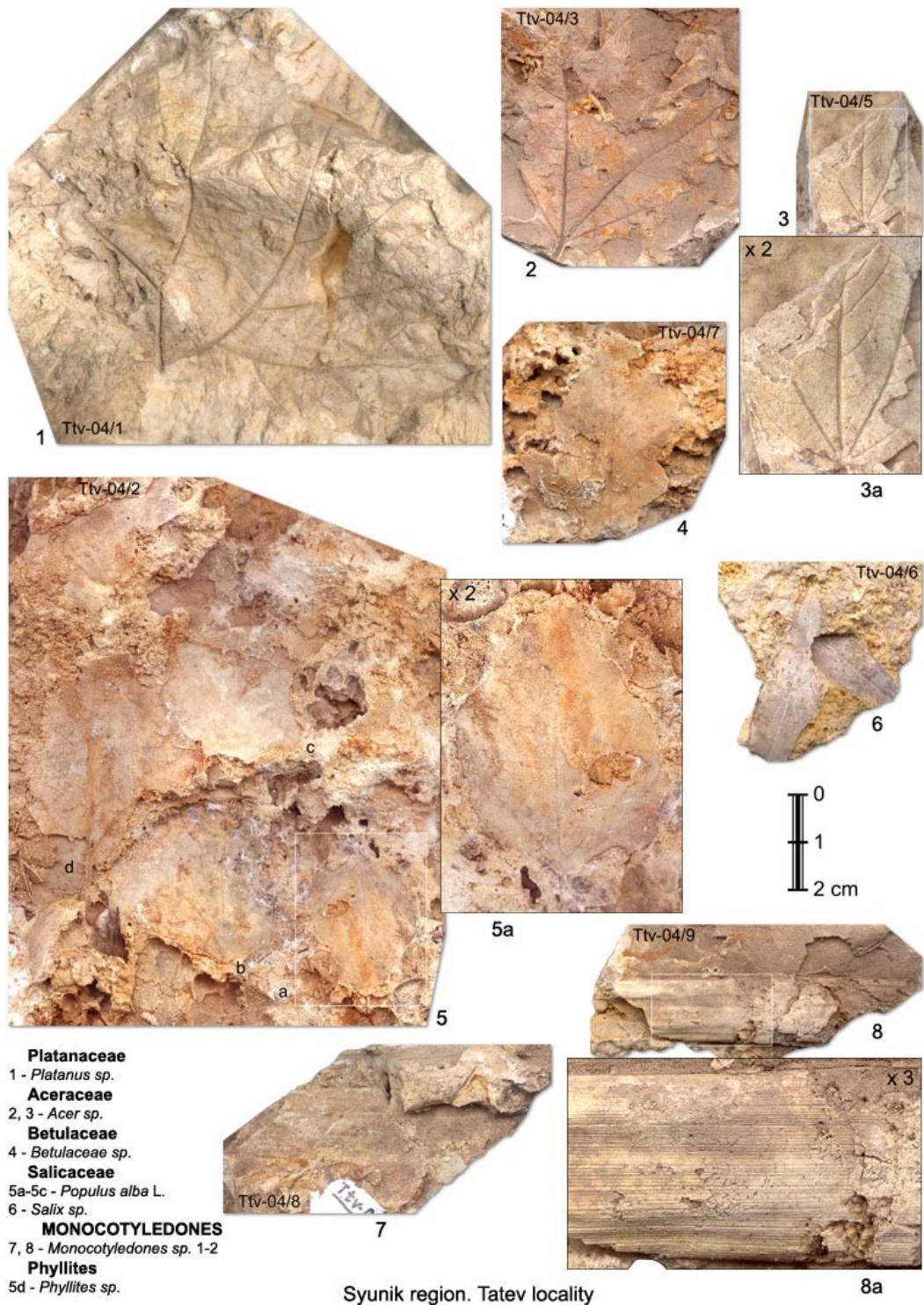
Bibliographie

- J.P. Adolphe 1981 Exemples de contribution microorganiques dans les constructions carbonatées continentales, in *Actes du colloque de l'AGF, formations carbonatées externes, tufs et travertins*, Paris, 9 mai 1981, p. 27.
- J.P. Adolphe 1986 Problèmes de genèse. Processus. Biocristallogenèse et écomorphologie des tufs, travertins. Enseignements tirés d'exemples naturels et expérimentaux, in *Méditerranée* 1-2, p. 11-17.
- A.-A. Ali *et alii* 2004 A.-A. Ali, P. Roiron, J.-L. Guendon et J. -F. Terral, Subalpine vegetation dynamics in the southern French Alps during the Holocene : evidence from plant imprints and charcoal preserved in travertine sequences, in *Artic, Antarctic and Alpine Research*, 36 (1), p. 42-48.
- P. Ambert 1979-1981 L'abri Rothschild (Cabrières-Hérault), *Rapport de fouille de sauvetage, D.R.A.C.*, Languedoc-Roussillon, 58 p., (inédit).
- P. Ambert 1982 Recherches sur l'âge des tufs calcaires en Languedoc central, Phénomènes karstique III, in *Mémoires et documents du C.N.R.S.*, p. 171-179.
- P. Ambert 1988 Les tufs de la Resclauze (Gabian-Hérault), leur évolution à l'Holocène, Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, U.A. 903 CNRS, in *Travaux* 13, Aix en Provence, p. 99-106.
- P. Ambert 1991 *L'évolution géomorphologique du Languedoc central depuis le Néogène*, Thèse d'Etat, Aix-Marseille II, tome 1, 224 p., tome 2, illustrations et cartes H.T.
- P. Ambert (dir.) 1993-1998 Travertins et dépressions fermées de piémont : paléoenvironnements et anthropisation des paysages du midi méditerranéen, *Rapport de synthèse G.D.R. 1058*, 60 p., (inédit).
- P. Ambert 1997 Travertins et dépressions fermées de piémont : paléoenvironnements et anthropisation des paysages du midi méditerranéen, in *Etudes de Géographie Physique*, supplément au n° XXVI, p. 31-34.
- P. Ambert, A. Delgiovine 1979 Les tufs de la Resclauze à Gabian, in *Archéologie en Languedoc*, 2, p. 17-18.
- P. Ambert, J. Gasco 1989 Les tufs de Saint-Guilhem-Le-Desert, évolution holocène et pression anthropique sur le milieu karstique (Languedoc, France), *Bulletin du Musée d'Anthropologie et de Préhistoire de Monaco*, 32, p. 63-85.
- P. Ambert *et alii* 1992 P. Ambert, J.-L. Guendon, J. Vaudour, F. Magnin, P. Roiron, Y. Quinif, J.-P. Aguilar, P. Marinval, Paléoenvironnements au Pléistocène moyen dans la vallée du Tarn : la Formation travertineuse de la Rouquette (Creissels-Aveyron), in *Geobios* n° 14, p. 133-139.
- P. Ambert *et alii* 1995 P. Ambert, Y. Quinif, P. Roiron, R. Arthuis, Les travertins de la vallée du Lez (Montpellier, Sud de la France) : datations $^{230}\text{Th} / ^{234}\text{U}$ et environnements pléistocènes, in *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, Tome 321, série IIa, p. 667-674.
- V. Andrieu-Ponel, P. Ponel 1999 Human impact on Mediterranean wetland coleoptera : an historical perspective at Tourves (Var, France), in *Biodiversity and Conservation* n° 8, p. 391-407.
- M. Bakalowicz 1988 La formation des travertins : aspects géochimiques, essai de synthèse et discussion, Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, U.A. 903 CNRS, in *Travaux* 13, Aix en Provence, p. 261-268.

- J.E. Brochier 2002 Sédimentations néolithiques. Un lien avec l'état du couvert végétal ?, in *El paisaje en el Neolítico mediterráneo*, eds. Badal E., Barnabeu J., y Marti B., SAGVNTVM, Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia, extra 5, p. 115-127.
- J.E. Brochier 1988 Cinq millénaires de sédimentation dans le marais holocène de la Resclauze (Gabian, Hérault), étude géoarchéologique, in *Travaux 13*, Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, U.A. 903 CNRS et A.T.P. PIREN, Aix en Provence, p. 117-137.
- J.E. Brochier, M. Livache 2003 Les niveaux à crans de l'abri du Rouet (Carry-Le-Rouet, Bouches du Rhône) et les industries pléni-tardiglaciaires du bassin bas-rhodanien, in *Préhistoire du sud-ouest*, supplément 6, *Actes de la table ronde de Montauban (Tarn et Garonne), Les pointes à cran dans les industries lithiques du Paléolithique supérieur récent de l'oscillation de Lascaux à l'oscillation de Bölling*, E. Ladier Editions, p. 47-66.
- M. Campy, J.J. Macaire 1989 *Géologie des formations superficielles*, éditions Masson, Paris, 433 p.
- J. Casanova 1981 Morphologie et biolithogenèse des barrages de travertin, formations carbonatées externes, tufs et travertins, Edition du Comité national de Géographie Française, in *Mémoire de l'Association Française de Karstologie*, n°3, p. 45-54.
- M. Cheylan, A. D'Anna 1979 Note sur la station chalcolithique de la cascade, Vauvenargues (Bouches du Rhône), in *Bulletin Archéologique de Provence*, 4, p. 3-14.
- A. D'Anna, J. Courtin 1986 Travertins holocènes et sites préhistoriques : exemples dans le Var et les Bouches-du-Rhône, in *Méditerranée*, (1-2), p 31-39.
- A. D'Anna *et alii* 1988 A. D'Anna, J. Evin, J.-L. Guendon, J. Jaubert, F. Magnin, T. Otto, P. Roiron, M. Thinon, J.-L. Vernet et J. Vaudour, Les édifices travertineux d'Auriol (Pont de Joux), et de Roquevaire (St Vincent). Révision stratigraphique. Contribution à l'histoire de l'environnement dans la vallée de l'Huveaune (Bouches-du-Rhône) depuis 50 000 ans, Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, U.A. 903 CNRS, in *Travaux 13*, Aix en Provence, p. 17-36.
- F. Dramis *et alii* 1999 F. Dramis, M. Materazzi, G. Cilla, Influence of climatic changes on freshwater travertine deposition: a new hypothesis, in *Phys. Chem. Earth*, Vol. 24, n° 10, p. 893-897
- M. Dubar 2006 Recherche et interprétation climatique des microcycles du concrétionnement travertineux de l'aqueduc romain de Fréjus (Var, France), in *Quaternaire* n° 17 (2), p. 79-85.
- M. Dubar, P. Clappier 1989 Ségriès - Moustiers Sainte Marie (Alpes de Haute Provence): un site préhistorique remarquable de l'avant-pays alpin, in *Bulletin Archéologique de Provence*, 18, p. 1-6.
- M. Fort 1981 Les travertins de Samdo (Himalaya du Népal) : un exemple de concrétionnement carbonaté en haute altitude, *Actes du colloque de l'Association Géographique Française*, "Formations carbonatées externes, tufs et travertins", Paris, p. 79-88.
- N. Frank *et alii* 2000 N. Frank, M. Braum, U. Hambach, A. Mangini, G. Wagner, Warm period of travertine during the last interglaciation in southern Germany, in *Quaternary Research*, 54, p. 38-48.

- P. Freytet, M. Fort 1980 Les formations plio-quaternaires de la Kali Gandaki et du bassin de Pokhara (Himalaya du Népal), in *Bulletin de l'Association Géographique Française*, 471, p. 249-257.
- P. Freytet, E.P. Verrecchia 1998 Freshwater organisms that build stromatolites: a synopsis of biocrystallization by prokaryotic and eukaryotic algae, in *Sedimentology* 45, p. 535-563
- M. A. Geurts 1976 Genèse et stratigraphie des travertins de fond de vallée en Belgique, in *Acta Géographica Lovaniensia*, 16, 92 p.
- J.-L. Guendon 1999 Les formations travertineuses, in J. Riser (ed.), *Le Quaternaire, Géologie et milieux naturels*, p. 151-160.
- J.-L. Guendon *et alii* 2003 J.-L. Guendon, A.A. Ali, P. Roiron, J.F. Terral, A. D'Anna, F. Diaz Del Omo, R. Baena Escudero, Les travertins de St. Antonin : Séquence géobotanique et climato-anthropique holocène, in *Karstologia*, 41, p. 1-14.
- J.S. Herman, M. Lorah 1988 Calcite precipitation rates in the field : Measurement and prediction for a travertine-depositing stream, in *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, p. 2347-2355.
- N. Horvatincic, R. Calic 2000 Interglacial growth of tufa in Croatia, in *Quaternary Research*, 53, p. 185-195.
- J. Lang, G. Lucas 1970 Contribution à l'étude de biohermes continentaux : barrages des lacs de Band-e-Amir (Afghanistan central), in *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7 (XII-5), p. 834-842.
- F. Magnin *et alii* 1990 F. Magnin, J.-L. Guendon, Y. Quinif, P. Roiron, M. Thinon, Datation isotopique et étude des paléoenvironnements de la formation à travertins de la Papeterie Vasino (Meyrargues, Bouches du Rhône, France). Mise en évidence de deux périodes de réchauffement durant le Riss, in *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, tome 310, Série II, 1285-1292.
- F. Magnin *et alii* 1991 F. Magnin, J.-L. Guendon, J. Vaudour, P. Martin, Les travertins : accumulations carbonatées associées aux systèmes karstiques, séquences sédimentaires et paléoenvironnements quaternaires, in *Bulletin de la Société Géologique de France*, 162 (3), p. 585-594.
- M. Magny *et alii* 2006 M. Magny, E. Leuzinger, S. Bortenschlager, J.-N. Haas, Tripartite climate reversal in Central Europe 5600-5300 year ago, in *Quaternary Research*, 65, p. 3-19.
- S. Martin 2004 *Caractérisation de l'anthropisation à l'Holocène en Provence et en Languedoc oriental, par les mollusques terrestres*, Thèse d'Archéologie, Paris I, 428 p.
- J.M. Mlakar *et alii* 1999 J. M. Mlakar, F. Degaugue, S. Leroy, J.-L. Guendon, P. Ambert, Les travertins de la Guisane (col Lautaret, Hautes-Alpes, France) : caractères, datations et paléoenvironnement alpin holocène, in *Etudes de Géographie Physique*, XXVII, Aix en Provence, p. 75-80.
- V. Ollivier 2006 Continuités, instabilités et ruptures morphogéniques en Provence depuis la dernière glaciation. Travertinisation, détritisme et incisions sur le piémont sud du Grand Luberon (Vaucluse, France). Relations avec les changements climatiques et l'anthropisation, *Thèse de doctorat de Géographie Physique*, Université de Provence U1, 357 p.
- V. Ollivier *et alii* 2004 V. Ollivier, C. Miramont, A. Müller, Le piémont méridional du Grand Luberon : De nouvelles données sur la morphogenèse postglaciaire en Basse Provence, in *Méditerranée*, (1.2), p. 109-118.

- V. Ollivier *et alii* 2006 V. Ollivier, J.-L. Guendon, A. Ali, P. Roiron, P. Ambert, Evolution postglaciaire des environnements travertineux provençaux et alpins : nouveau cadre chronologique, faciès et dynamiques morphosédimentaires, in *Quaternaire* vol. 17 (2), p. 51-67.
- S. Ordonez *et alii* 2005 S. Ordonez, J. A. Gonzalez Martin, M. A. Garcia del Cura, H. M. Pedley, Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to Recent fluvial barrage system in the Mediterranean area : The Ruidera Lakes Natural Park (Central Spain), in *Geomorphology*, 69, p. 332-350.
- M. Pedley *et alii* 1996 M. Pedley, J. Andrews, S. Ordonez, M.-A. Garcia del Cura, J.-A. Gonzales Martin, D. Taylor, Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates ? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain, in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121, p. 239-257.
- L. N. Plummer *et alii* 1979 L. N. Plummer, D. L. Parkhurst, T. M. L. Wigley, Critical review of the kinetics of calcite dissolution and precipitation, in "*Chemical Modeling in Aqueous Systems*" (E.A. Jenne Ed.), American Chemical Society Symposium 93, p. 537-573.
- J. Riser 1999 Le Quaternaire : géologie et milieux naturels, éditions Dunod, Paris, 320 p.
- P. Roiron, V. Ollivier 2003 *Etudes paléoenvironnementales dans la région de Sisian (Arménie)*, p. 60-74, in : Chataignier C., Mission Caucase, Rapport scientifique sur les opérations effectuées en 2003, D.G.R.C.S.T., CNRS, Ministère des Affaires Etrangères, 85 p.
- B.-L. Valero-Garces *et alii* 2001 B.-L. Valero-Garces, C. Arenas, A. Delgado-Huertas, Depositional environments of Quaternary lacustrine travertines and stromatolites from high-altitude Andean lakes, northwestern Argentina, in *Canadian Journal of Earth Science*, 38, p. 1263-1283.
- F.-J. Varela 1989 *Autonomie et connaissance : essai sur le vivant*. Ed du Seuil, Paris, 247 p.
- J. Vaudour 1986a Introduction à l'étude des édifices travertineux holocènes, in *Méditerranée*, (1-2), p. 3-10.
- J. Vaudour 1986b Travertins holocènes et pression anthropique, in *Méditerranée*, (1-2), p.168-172.
- J. Vaudour (dir.) 1988 Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, U.A. 903 CNRS, in *Travaux 13*, Aix en Provence, 280 p.
- J. Vaudour 1994 Evolution holocène des travertins de vallée dans le midi méditerranéen français, in *Géographie Physique et Quaternaire*, (48-3), p. 315-326.
- J.L. Vernet, J. Vaudour (dir.) 1988-1990 Milieux et anthropisation à l'Holocène en Méditerranée occidentale à partir des sites karstiques, *Rapport final A.T.P. P.I.R.E.N.*, Montpellier-Aix en Provence, 215 p.
- A. Weisrock 1986 Variations climatiques et périodes de sédimentation carbonatée à l'Holocène – L'âge des dépôts, in *Méditerranée*, (1-2), p. 165-173.
- K. Zak *et alii* 2002 K. Zak, V. Lozek, J. Kadlec, J. Hladikova, V. Cilek, Climate-induced changes in Holocene calcareous tufa formations, Bohemian karst, Czech Republic, in *Quaternary International*, 91, p. 137-152.



PI. 1. Empreintes foliaires fossiles, formation travertineuse hydrothermale de Tatev (Arménie, d'après P. Roiron, V. Ollivier 2003).

Amprente foliare fosile, descoperite în travertinul hidrotermal de la Tatev (Armenia, după P. Roiron, V. Ollivier 2003).