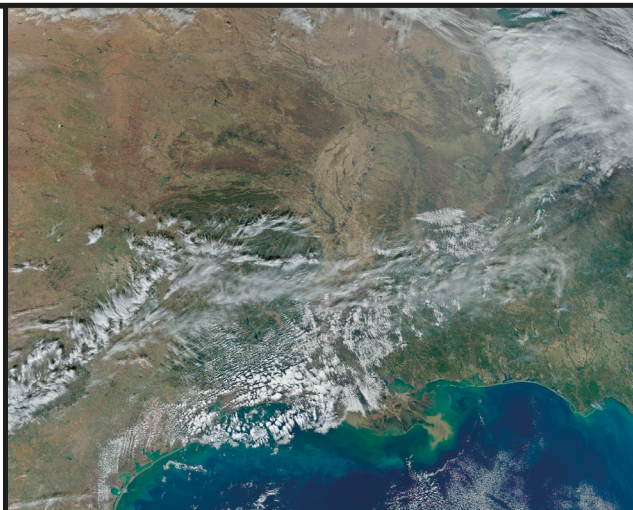
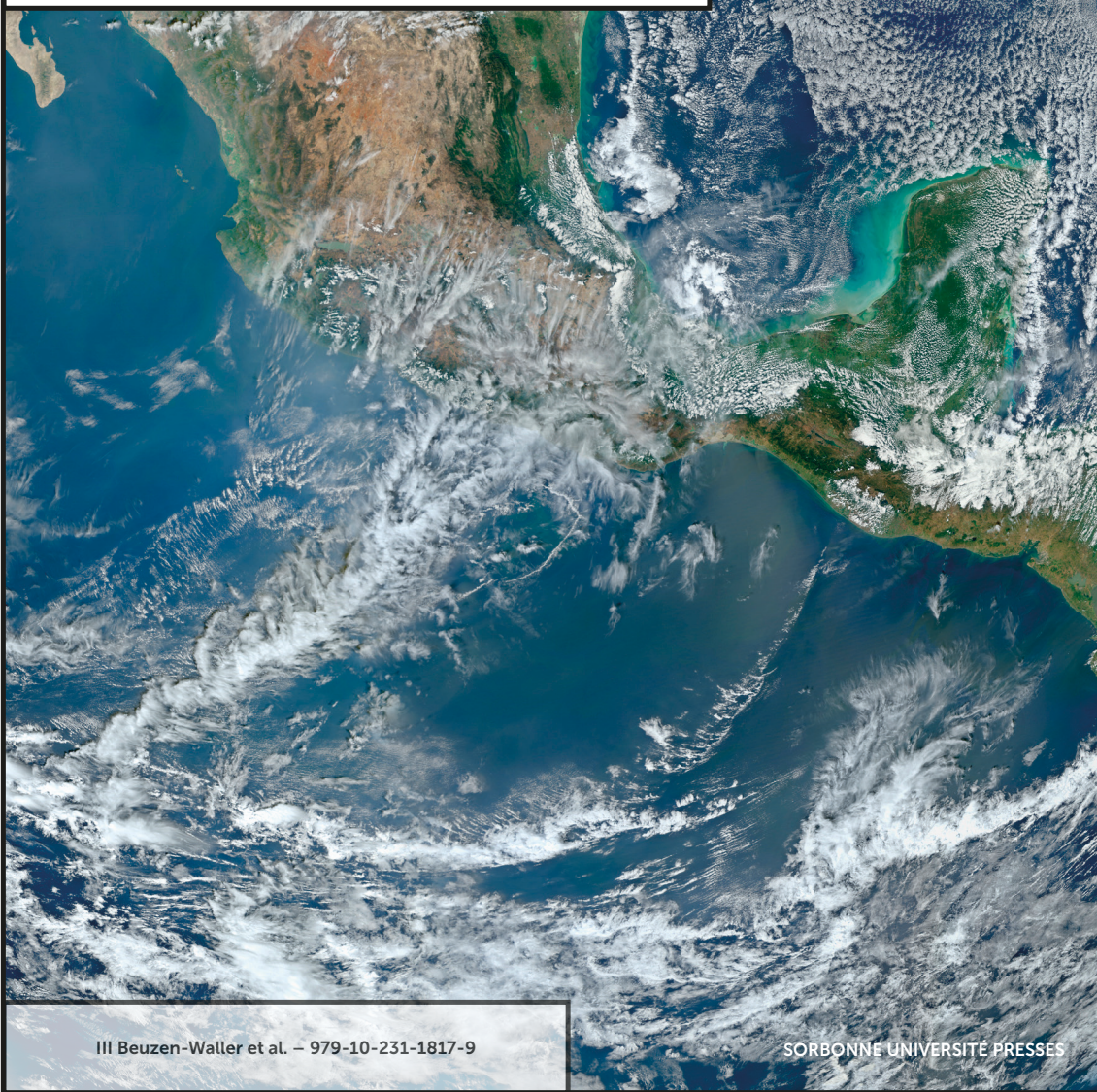


**MILIEUX EXTRÊMES
et
CRITIQUES
face au
CHANGEMENT
CLIMATIQUE**

**Climat, territoire,
environnement**



Marianne Cohen & Christian Giusti (dir.)



**MILIEUX EXTRÊMES ET CRITIQUES
FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

<p><i>Le Sacre de la nature</i> Bertrand Sajaloli & Étienne Grésillon (dir.)</p>	
<p><i>Îles rêvées. Territoires et identités en crise dans le Pacifique insulaire</i> Dominique Guillaud, Christian Huetz de Lempis & Olivier Sevin (dir.)</p>	<p><i>La Rue à Rome. Entre l'émotion et la norme</i> Brice Gruet, Prix Charles Maunoir de la Société de géographie</p>
<p><i>L'Hiver au Siècle d'or hollandais</i> Alexis Metzger</p>	<p><i>L'Asie-Pacifique des crises et des violences</i> Christian Huetz de Lempis & Olivier Sevin (dir.)</p>
<p><i>Les Campagnes en France et en Europe. Outils, techniques et sociétés, du Moyen Âge au XX^e siècle</i> Jean-René Trochet Prix Antoine Alexandre Bouteau de la Société de géographie</p>	<p><i>Comme un parfum d'îles. Florilège offert à Christian Huetz de Lempis</i> Olivier Sevin (dir.)</p>
	<p><i>Atlas des pays du Golfe</i> Philippe Cadène & Brigitte Dumortier</p>
<p><i>Atlas du Proche-Orient arabe</i> Fabrice Balanche</p>	<p><i>La Privatisation de Chicago. Idéologie de genre et constructions sociales</i> Laurence Gervais</p>
<p><i>Les Forêts de la Grande Guerre. Histoire, mémoire, patrimoine</i> Jean-Paul Amat</p>	<p><i>De l'Empire à la tribu. États, villes, montagnes en Albanie du Nord (VI^e-XV^e siècle)</i> Jean-René Trochet</p>

**Marianne Cohen
& Christian Giusti (dir.)**

**Milieus extrêmes
et critiques face
au changement
climatique**

**Climats, territoires,
environnement**

SORBONNE UNIVERSITÉ PRESSES
Paris

Ouvrage publié avec le concours de l'Institut de la transition environnementale de Sorbonne Université (SU-ITE) et de la faculté des Lettres de Sorbonne Université

Sorbonne Université Presses est un service général
de la faculté des Lettres de Sorbonne Université.

© Sorbonne Université Presses, 2021
PDF complet : 979-10-231-0642-8

Introduction – 979-10-231-1809-4
I Ronchail *et al.* – 979-10-231-1810-0
 I Quénot – 979-10-231-1811-7
 I Chionne – 979-10-231-1812-4
I Liziard & Voiron – 979-10-231-1813-1
 II Sultan *et al.* – 979-10-231-1814-8
 II Courault *et al.* – 979-10-231-1815-5
 II Vignal & Andrieu – 979-10-231-1816-2
III Beuzen-Waller *et al.* – 979-10-231-1817-9
 Conclusion – 979-10-231-1818-6
 Appendice – 979-10-231-1819-3

Mise en page Emmanuel Marc DUBOIS/3D2S, Issigeac/Paris
d'après le graphisme de Patrick VAN DIEREN

SUP

Maison de la Recherche
Sorbonne Université
28, rue Serpente
75006 Paris

tél. : (33)(0)1 53 10 57 60

sup@sorbonne-universite.fr

sup.sorbonne-universite.fr

TROISIÈME PARTIE

Longue durée quaternaire

OCCUPATIONS HUMAINES
ET DYNAMIQUES ENVIRONNEMENTALES
DU PALÉOLITHIQUE À L'ÂGE DU BRONZE,
SECTEUR D'ADAM, SULTANAT D'OMAN

CONSÉQUENCES RÉGIONALES DE LA VARIATION DU SIGNAL
HYDROCLIMATIQUE SUR LE LONG TERME

Tara Beuzen-Waller,
Sorbonne Université, faculté des Lettres – UMR 8185, ENeC,
équipe Environnement
Guillaume Gernez,
université Panthéon-Sorbonne – UMR 7041, ArScAn, équipe VEPMO
Jessica Giraud,
Institut Français du Proche-Orient – UMR 7041, ArScAn,
chercheur associée CNRS
Stéphane Desruelles,
Sorbonne Université, faculté des Lettres – UMR 8185, ENeC, équipe
Environnement
Anaïs Marrast,
Muséum national d'histoire naturelle – UMR 7209, Archéozoologie et
archéobotanique, équipe milieux littoraux & ressources aquatiques
Stéphanie Bonilauri,
musée de l'Homme – UMR 7194, Histoire naturelle de l'homme préhistorique
Marion Lemée,
Institut national de recherches archéologiques préventives
Amir Beshkani,
université Paris-Ouest-Nanterre-la Défense – UMR 7041, ArScAn,
équipe AnTET
Julien Guery,
Airinou, Paris
Raphaël Hautefort,
Institut du désert et des steppes, Paris
Éric Fouache,
Sorbonne Université, faculté des Lettres

Au sultanat d'Oman, comme dans plusieurs régions arides ou semi-arides, les relations entre évolutions climatiques et communautés humaines anciennes font l'objet de questionnements fréquents dans les publications tant géoarchéologiques que paléoclimatiques ou archéologiques. Plusieurs rapports de causalité sont au cœur des recherches menées sur les premières communautés du sultanat d'Oman et leurs environnements. Même s'ils diffèrent beaucoup en fonction des périodes archéologiques étudiées, le rôle décisif de la variabilité pluviométrique, de la répartition de la ressource en eau et de son accessibilité est une constante dans l'analyse des logiques d'implantation et de l'évolution des stratégies de subsistances. Durant le Paléolithique et le Néolithique, il est admis que les alternances de phases climatiques humides et arides de la fin du Pléistocène et du début de l'Holocène ont participé à réguler les phases d'expansion territoriale et/ou de retrait des populations de chasseurs-cueilleurs nomades. À l'âge du bronze, les instabilités climatiques de la fin de l'Optimum humide et la transition vers les conditions climatiques arides actuelles sont parfois présentées comme des facteurs ayant déterminé plus ou moins fortement l'adoption de nouvelles stratégies de subsistance ou le développement de nouvelles technologies. Ces réponses adaptatives auraient notamment entraîné l'apparition des premières oasis, autrement dit, l'adoption d'un mode de vie sédentaire, agricole, confiné dans des espaces favorables restreints, et très probablement optimisés par des techniques d'irrigation. À la fin de l'âge du bronze, les sécheresses de la fin du III^e millénaire av. J.-C. évoquées dans de nombreux travaux comme étant une des causes majeures de l'effondrement de civilisations anciennes (mésopotamienne, égyptienne...), sont, en Oman, aussi désignées comme possible facteur explicatif des discontinuités culturelles significatives caractérisant les vestiges archéologiques de la période Wadi-Suq (âge du bronze récent : 2000-1600 av. J.-C.). En effet, la période Wadi-Suq, qui fait suite à la période Umm-an-Nar et à ses nombreuses tombes et tours monumentales, est traditionnellement présentée en rupture avec les périodes archéologiques précédentes notamment du fait du faible nombre de sites découverts, dont la diminution coïnciderait avec d'une chute démographique et d'une éventuelle reprise du nomadisme. Ces interprétations sont discutées, validées ou nuancées dans d'autres régions du monde, où des schémas d'évolutions rythmés par des parallélismes similaires ont été avancés¹. En péninsule arabe,

1 Laurent Lespez, Zoï Tsirtsoni, José-Antonio Lopez Saez, Yann Le Drezen, Arthur Glais & Robyn Davidson, « Dépasser le déterminisme. Pour une approche locale des interactions Nature / Sociétés dans le sud des Balkans à la transition du Néolithique à l'âge du bronze », Nathalie Carcaud & Gilles Arnaud-Fassetta (dir.), *La Géoarchéologie française au XXI^e siècle*,

ces évolutions complexes ont déjà été appréhendées à l'échelle de l'Arabie du Sud-Est ou à l'échelle ponctuelle du site archéologique². En revanche, elles ont rarement été comparées aux évolutions environnementales et humaines d'un secteur, à l'exception des travaux pionniers réalisés dans le Ja'alan³. Dans le cadre de la présente étude, l'évolution des relations entre dynamiques environnementales et occupations humaines dans le secteur de l'arche de Salekh et de l'oasis d'Adam a été comparée aux données géoarchéologiques, archéologiques et hydroclimatiques existantes pour l'intégralité du piémont des monts Hajar, puis plus largement à celles de la péninsule arabique. Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons le terme de « région de l'arche de Salekh » pour désigner ce secteur, en référence au chaînon anticlinal du même nom qui est le trait structural majeur de cette partie du piémont sud des monts Hajar. La reconstruction des dynamiques paléoenvironnementales s'est surtout appuyée sur la cartographie géomorphologique ainsi que sur la caractérisation, la classification et la datation des terrasses fluviales. Les résultats obtenus ont permis de restituer un signal hydroclimatique qui a été comparé aux données archéologiques et intégré à un système d'information géographique. Les données archéologiques sont essentiellement le fruit des fouilles réalisées depuis 2012 et des prospections menées depuis 2007 suite à la découverte

-
- CNRS éditions, 2014, p. 159-175; Catherine Kuzucuoglu, « Climatic and Environmental Trends During the Third Millennium B.C. in Upper Mesopotamia », *Varia Anatolica*, vol 19, n° 1, « Sociétés humaines et changements climatiques à la fin du troisième millénaire : une crise a-t-elle eu lieu en haute Mésopotamie? Actes de colloque de Lyon (5-8 décembre 2005) », dir. Catherine Kuzucuoglu & Catherine Marro, 2007, p. 459-480.
- 2 Gareth W. Preston, David S. G., Thomas, Andrew S. Goudie, Oliver A. C. Atkinson, Melanie J. Leng, Martin J. Hodson, Helen Walkington, Vincent Charpentier, Sophie Méry, Federico Borgig & Adrian G. Parker, « A Multi Proxy Analysis of the Holocene Humid Phase from the United Arab Emirates and its Implication for Southeast Arabia's Neolithic Populations », *Quaternary International*, n° 382, 2015, doi.org/10.1016/j.quaint.2015.01.054; Anne-Marie Lézine, Christian Robert, Serge Cleuziou, Marie-Louise Inizan, Frank Braemer, Jean-François Saliège, Florence Sylvestre, Jean-Jacques Tiercelin, Rémy Crassard, Sophie Mery, Vincent Charpentier & Tara Steimer-Herbet, « Climate Change and Human Occupation in the Southern Arabian Lowlands During the Last Deglaciation and the Holocene », *Global and Planetary Change*, n° 72, 2010, doi:10.1016/j.gloplacha.2010.01.016; Adrian G. Parker, Andrew S. Goudie, Stephen Stokes, Kevin White, Martin J. Hodson, Michelle Manning & Derek Kennet, « A Record of Holocene Climate Change From Lake Geochemical Analyses in Southeastern Arabia », *Quaternary Research*, vol. 66, n° 3, 2006, p. 465-476; Serge Cleuziou & Maurizio Tosi, *In the Shadows of the Ancestors: the Prehistoric Foundations in the Early Arabian Civilization in Oman*, Muscat, Sultanate of Oman, Ministry of Heritage and Culture, 2007.
 - 3 Jessica Giraud, « Les espaces du passé. L'exemple du Ja'alan à la période Hafit », dans Jessica Giraud, Guillaume Gernez & Victoria de Castéja (dir.), *Aux marges de l'archéologie, en hommage à Serge Cleuziou*, De Boccard, 2012, p. 133-155; Jessica Giraud, « The Evolution of Settlements Patterns in the Eastern Oman from the Neolithic to the Early Bronze Age (6.000-2.000 BC) », *Geoscience*, vol. 341, n° 8-9, 2009, p. 739-749; Jean-François Berger, Serge Cleuziou, Gourguen Davtian *et al.* « Évolution paléogéographique du Ja'alan (Oman) à l'Holocène Moyen: impact sur l'évolution des paléomilieux littoraux et les stratégies d'adaptation des communautés humaines », *Paléorient*, vol. 31, n° 1, 2005, p. 46-63.

du potentiel archéologique de ce secteur par Serge Cleuziou. L'ensemble des données présentées sur la région de l'arche de Salekh et ses abords immédiats sont inédites. Elles sont le fruit de travaux exploratoires menés dans un secteur encore vide de recherches il y a seulement dix ans.

LA RÉGION DE L'ARCHE DE SALEKH : CADRE PHYSIQUE ET INTÉRÊT DU SECTEUR

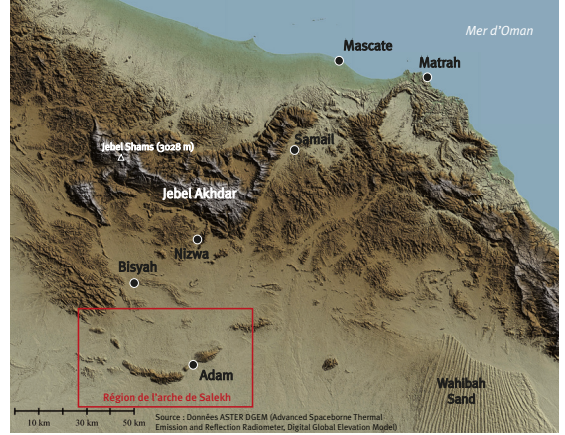
Un secteur de contact complexe entre montagnes semi-aride et désert hyperaride...

228

La région de l'arche de Salekh et ses abords forment un territoire situé à l'intérieur du sultanat d'Oman, à 22° 37' de latitude nord, donc pratiquement sous le tropique du Cancer (fig. 1a). Ce secteur fait partie de la grande « diagonale aride » de l'Ancien Monde et est soumis presque en permanence à l'influence des anticyclones subtropicaux⁴. La région de l'arche de Salekh est une zone de contact complexe, à la fois climatique et topographique. Positionnée sur le piémont sud des monts Hajar, sa limite nord-est est adossée aux montagnes omanaises et sa bordure sud regarde le désert du Rub al-Khali. D'un côté, les monts Hajar, vaste massif de structure complexe à dominante calcaire de 2 000 mètres d'altitude moyenne, mais qui culmine à 3 020 mètres au jebel Akhdar, sont caractérisés actuellement par un climat semi-aride⁵ et des précipitations plus abondantes ($P > 200$ mm/an) que dans les régions basses environnantes. Elles sont principalement arrosées par des pluies hivernales liées à la circulation cyclonique tempérée. Les pluies estivales dans ce secteur consistent en de brèves pluies de convection, elles sont en revanche très importantes dans le sud du sultanat en période de mousson humide, notamment dans le Dhofar. De l'autre, la vaste étendue aride du Rub al-Khali (erg de 600 000 km²) comprend des secteurs hyperarides recevant moins de 50 mm/an. Les deux grandes régions naturelles – monts Hajar au nord, Rub al-Khali au sud – sont reliées par un piémont constitué d'une vaste bajada (fig. 1b) à la surface de laquelle s'observent plusieurs générations de plaines d'épandages perturbées par des anticlinaux à armature de calcaires crétacés dont fait la partie « l'arche de Salekh ».

4 Paul Sanlaville, *Le Moyen-Orient arabe. Le milieu et l'homme*, Armand Colin, coll. « U-Géographie », 2000, p. 115.

5 Selon la classification de Xavier de Planhol et Pierre Rognon dans *Les Zones tropicales arides et subtropicales* (Paris, Armand Colin, coll. « U-Géographie », p. 15, 1970), les déserts hyperarides reçoivent des précipitations annuelles de l'ordre de 10 à 50 mm/an, les régions arides reçoivent 50 à 150 mm/an et dans les régions semi-arides la moyenne des pluies peut varier entre 150 et 400 à 500 mm/an.



1. Localisation de la région de l'arche de Salekh et du secteur d'Adam

... dont la chaîne anticlinale dite arche de Salekh est le trait structural majeur...

Cette chaîne découpée en cluses est l'un des anticlinaux principaux de la marge méridionale des chaînes omanaises. L'appellation « arche de Salekh » désigne sa structure en plan dessinant un axe concave arqué vers le nord. Elle est constituée de cinq affleurements de terrains calcaires principalement d'âge crétacé (Albien-Turonien), ceinturés de terrains tertiaires et quaternaires. Les affleurements crétacés forment les points hauts, dont la structure asymétrique, elle aussi arquée vers le nord, est lisible en coupe. Le relief le plus important est le jebel Salekh (1 063 mètres). Des failles préexistantes de la fin du Crétacé, mais qui ont été réactivées au Néogène, ont participé à la segmentation de la chaîne anticlinale en cinq dômes⁶ aujourd'hui séparés par des cluses. (Celle séparant le jebel Hinaydil et le jebel Mudhmar est occupée par l'oasis d'Adam – **fig. 1c**) Du fait de l'épaisseur et de la rigidité des assises carbonatées, le style est lourd, se rapprochant davantage des formes tabulaires en structure faillée que des formes de plissement de style jurassien. La voute de ce long bombement anticlinal ouest-est, où le Crétacé inférieur apparaît sous le Crétacé supérieur, a été attaquée ultérieurement par l'érosion. Les séries anciennes sont donc progressivement remises au jour, notamment dans les parties sommitales du jebel Mudhmar et du jebel Salekh.

230

Les environs de l'arche de Salekh sont par ailleurs accidentés de quelques reliefs de moindre énergie. D'une part, au nord, les témoins les plus méridionaux des nappes « Hawasina » et du groupe « Hamrat Duru », composés de chert et de calcaire allant du Jurassique moyen (Bathonien) au Crétacé supérieur (Coniacien). Elles affleurent en collines de débris charpentés par des veines siliceuses comme au jebel Qarah (450 mètres). D'autre part, au sud-ouest du dôme de Salekh, les structures tabulaires nommées *suftrat* (collines), dont la plus imposante est le *suftrat* Dishshah. Les *suftrats* ont aussi une altitude plus faible (sommet à 449 mètres). Ils sont caractérisés par une lithologie à dominante marno-crayeuse, caractéristique de la formation Fiqa du Crétacé supérieur (Campanien). Cette lithologie beaucoup plus tendre facilite le dégagement de corniches gréseuses disposées en paliers et favorise la mise en place d'un paysage typique des *hamadas*.

... dans ce piémont sud où s'étend une vaste bajada composée de plusieurs générations d'accumulations alluviales

À l'exception de l'arche de Salekh et des reliefs secondaires, la topographie de la région est très plane et comprend une plaine d'épandage au nord de l'arche et une autre au sud. Elles font partie de la vaste *bajada* du piémont sud des

6 D'ouest en est : les jebels Qusaybah, Nihaydah, Salekh, Hinaydil et Mudhmar. D'après Mohammed Al-Kindi, « Structural Evolution of Salakh Arch », *Al Hajar*, n° 16, 2010, p. 8-12.

monts Hajar, qui prend appui sur ces massifs pour s'étendre jusqu'à 250 km plus au sud ou disparaître sous les accumulations éoliennes. Cette bajada est constituée de différentes générations de terrasses pouvant être séparées en deux unités. La première est la formation conglomératique Miocène-Pliocène Barzaman⁷, dont l'épaisseur varie entre + 10-20 m et + 120-130 m d'altitude relative par rapport à l'incision maximale selon que l'on soit dans la partie distale ou proximale de la formation⁸. La lithologie des clastes est variée en fonction du bassin hydrologique traversé. Elle comprend principalement du matériel hétérométrique souvent mal classé provenant des ophiolites et des nappes d'Hawasina. La deuxième unité est composée de dépôts alluviaux quaternaires dont les plus anciens, datés 923 ± 139 et $809 \text{ ka} \pm 110 \text{ ka BP}$ par Ingo Blechschmidt et son équipe⁹, peuvent atteindre les + 10 mètres d'altitude relative. Ces dépôts recouvrent en grande partie la formation Barzaman. Les datations réalisées par Ingo Blechschmidt sont les seuls repères chronologiques existant dans la région de l'arche de Salekh pour les formations quaternaires (et surtout les terrasses fluviatiles). Elles ont cependant clairement mis en évidence que les différentes phases d'accumulation alluviale de la fin du Pléistocène sont corrélées d'une part aux interglaciaires des stades isotopiques marins¹⁰, et d'autre part aux périodes climatiques humides qui correspondent aux remontées plus au nord de la zone de convergence intertropicale et de ligne de mousson¹¹. Les dates les plus anciennes comprennent une marge d'erreur importante (parfois plus de 100 000 ans) qui ne permet pas de mettre directement en relation les périodes d'édification des terrasses avec des épisodes précis. Les datations les plus récentes s'alignent mieux sur les interglaciaires des stades isotopiques marins (ou MIS, *marine isotopique stage*) : MIS 15 : $621 \pm 65 \text{ ka ans BP}$, $613 \pm 81 \text{ ka ans BP}$, $607 \pm 83 \text{ ka an BP}$, MIS 11 ($407 \pm 61 \text{ ka ans BP}$), MIS 9 ($340 \pm 36 \text{ ka ans BP}$, $323 \pm 34 \text{ ka ans BP}$) et surtout le MIS 7 (compris entre 245 et 185 ka ans BP) durant lequel a été enregistrée la phase majeure de construction des

- 7 Rodgers David & Ana Gunatilaka, « Bajada Formation by Monsoonal Erosion of Subaerial Forebulge, Sultanate of Oman », *Sedimentary Geology*, vol. 154, n° 3-4, 2002, p. 127-146.
- 8 Alicja Lacinska, Michael Styles & Andrew R. Farrant, « Near-surface Diagenesis of Ophiolite-derived Conglomerates of the Barzaman Formation », dans Hugh R. Rollinson, M. P. Searle, Iftikhar Ahmed Abbasi, Ali Al-Lazki & Mohammed Al-Kindi (dir.), *Tectonic Evolution of the Oman Mountains*, London, Geological Society of London, 2014, p. 344.
- 9 Ingo Blechschmidt, Albert Matter, Frank Preusser & Dirk Rieke-Zapp, « Monsoon Triggered Formation of Quaternary Alluvial Megafans in the Interior of Oman », *Geomorphology*, vol. 110, n° 3, 2009, p. 128-139.
- 10 Lorraine E. Liesicki & Maureen E. Raymo, « A Pliocene Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ records », *Palaeoceanography*, vol. 20, n° 1, 2005, doi:10.1029/2004PA001071.
- 11 Dirk C. Leuschner & Frank Sirocko, « Orbital Insolation Forcing of the Indian Monsoon – a Motor For Global Climate Change? » *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 197, n° 1-2, 2003, p. 83-95.

terrasses (sept dates entre 233 ka et 213 ka ans BP)¹². La terrasse alluviale la moins élevée et la moins développée étudiée par l'équipe de Blechschmidt a été rattachée au MIS 3 (45 ± 5 ka ans BP). Cependant, aucune terrasse datant du dernier interglaciaire (MIS 5) ou de l'Holocène n'a été identifiée dans la région dans le cadre de cette campagne. Ces générations de terrasses encadrent des *wadis* (cours d'eau) actuels, caractérisés par des fonds de vallées sèches, dont les plus importants prennent leur source dans les monts Hajar. Ces cours d'eau, aux écoulements rares, brefs (en moyenne un à deux jours par année pour les plus importants) et caractérisés par l'endoréisme, sont plus ou moins incisés dans les sédiments alluviaux anciens. Si en amont des bassins versants (au niveau des monts Hajar) la majeure partie du réseau hydrographique demeure fonctionnelle durant les crues, en progressant vers l'aval et dans le piémont, les ramifications du réseau sont de plus en plus déconnectées de l'axe principal d'écoulement et de plus en plus rarement alimentées par des précipitations locales. Il est donc compliqué d'évaluer l'activité de ces tronçons (fréquence et intensité des écoulements), autant qu'il est difficile pour les populations locales d'en exploiter les écoulements de surface.

L'arche de Salekh, un barrage alluvial naturel qui favorise la concentration des écoulements

La cluse Adam et les contrées proches bénéficient d'un avantage physique par rapport à d'autres secteurs de piémonts. L'arche de Salekh, en coupant transversalement les plaines d'épandage des monts Hajar, forme un barrage naturel qui capte et concentre au niveau des cluses les écoulements saisonniers en provenance du nord. Les nappes d'accompagnement des wadis, l'inféroflux, sont donc nettement plus élevées au niveau des cluses que dans l'ensemble de la plaine alluviale (niveau de la nappe mesuré à - 4 m dans la cluse d'Adam et 25 m à 5 km plus au nord). Ces secteurs plus humides sont favorables au développement des oasis comme celle, homonyme, d'Adam. Elle reste principalement alimentée par des systèmes d'irrigation gravitaires traditionnels (*falaj*) qui acheminent vers les jardins les eaux souterraines des nappes captives ou superficielles. Les cultures les plus récentes sont en revanche alimentées par pompage, dont les plus profonds peuvent atteindre plus de 20 m au nord dans la plaine alluviale au nord de l'oasis d'Adam. Sans système d'irrigation, l'accès à l'eau dans cette région, tout comme dans la majeure partie d'Oman, est restreint à de rares points (sources) ou à des crues mal réparties dans le temps et dans l'espace.

¹² Ingo Blechschmidt *et al.*, « Monsoon Triggered Formation of Quaternary Alluvial Megafans in the Interior of Oman », art. cit.

La région de l'arche de Salekh est un territoire de marge aride qui fait la transition entre les systèmes montagnards et le désert. C'est un espace sensible, à cheval entre deux milieux, qui peut donc être grandement affecté par des changements climatiques, notamment du régime des pluies, pouvant aller vers le plus sec ou vers le plus arrosé. Cet espace comprend quelques secteurs favorables dans lesquels les activités humaines sont repliées, mais dont le potentiel est favorisé ou contraint par la disponibilité d'une ressource en eau qui a grandement évolué au cours du Quaternaire. La position stratégique de cette région et sa sensibilité aux variations climatiques rendent ce territoire particulièrement pertinent pour l'étude des relations entre les dynamiques environnementales et les occupations humaines durant les périodes préhistoriques et protohistoriques¹³. Il s'agira de comparer l'évolution de ce secteur avec les schémas d'interactions hommes-milieux proposés dans les études antérieures pour ces mêmes périodes.

**DONNÉES PALÉOCLIMATIQUES ET PALÉOENVIRONNEMENTALES ; PRINCIPALES
PROBLÉMATIQUES ARCHÉOLOGIQUES DU PALÉOLITHIQUE À L'ÂGE DU BRONZE**
Évolution paléoclimatique en Arabie du sud-est au cours du Quaternaire récent

À l'échelle des périodes d'occupation préhistorique et protohistorique, l'Arabie du Sud-Est a été soumise à des fluctuations climatiques, faisant alterner périodes arides et périodes humides. Ces variations sont essentiellement causées par les oscillations méridiennes de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) et la remontée vers le nord des pluies estivales de mousson¹⁴. Une seconde source d'humidité identifiée de manière plus ponctuelle, et dont la contribution reste mal définie¹⁵, provient de la pénétration en Arabie des perturbations tempérées à pluies

- 13 Bernard Geyer & Éric Coqueugniot, « Occupation du sol et conquête territoriale durant le Néolithique dans les marges arides de Syrie du Nord », *Syria*, n° 90, 2013, p. 159-176; Bernard Geyer *et al.*, « Les marges arides de Syrie du Nord : première synthèse d'une prospection géo-archéologique », *Les Annales archéologiques arabes syriennes*, n° 47-48, 2005, p. 17-34.
- 14 Stephen J. Burns, Dominik Fleitmann, Manfred Mudelsee, Ulrich Neff, Albert Matter & Augusto Mangini, « A 780-Year Annually Resolved Record of Indian Monsoon Precipitation From a Speleothem from South Oman », *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, vol. 107, n° D20, 4434, 2002; Dominik Fleitmann, Stephen J. Burns, Ulrich Neff, Augusto Mangini & Albert Matter, « Changing Moisture Sources Over the Last 330,000 Years in Northern Oman from Fluid Incision Evidence in Speleothems », *Quaternary Research*, vol. 60, n° 2, 2003, p. 223-232; Dominik Fleitmann, Stephen J. Burns, Augusto Mangini, Manfred Mudelsee *et al.*, « Holocene ITCZ and Indian Monsoon Dynamics Recorded in Stalagmites from Oman and Yemen (Socotra) », *Quaternary Science Reviews*, vol. 26, n° 1-2, 2007, p. 170-188.
- 15 Gareth W. Preston *et al.*, « A Multi Proxy Analysis of the Holocene Humid Phase from the United Arab Emirates and its Implication for Southeast Arabia's Neolithic Populations », art. cit.

d'hiver de l'Est méditerranéen¹⁶. Les grandes périodes humides du Pléistocène et de l'Holocène correspondent dans l'ensemble aux phases interglaciaires¹⁷. Elles sont bien enregistrées durant le stade isotopique 5, notamment entre 130 000 et 120 000 ans BP (stade isotopique 5e), 105 000 et 100 000 ans BP (stade isotopique 5c), ainsi qu'entre 82 000 et 78 000 ans BP (stade isotopique 5a)¹⁸. D'autres épisodes humides sont bien identifiés durant le stade isotopique 3 : les premières études menées sur dépôts lacustres et fluviaux du Rub al-Khali et de la côte yéménite suggèrent une phase humide tardive située 35 000 et 20 000 ans BP¹⁹, mais des études récentes ont aussi révélé des phases plus précoces, situées entre 61 000 et 58 000 ans BP. Finalement, l'optimum holocène présente une humidité moins marquée que durant les épisodes humides antérieurs. Cette période est généralement définie entre 10 500 ans BP et 6 000 ans BP²⁰, mais le commencement, la durée et la stabilité de cette période se caractérisent par des hétérogénéités régionales importantes²¹. Ces différences peuvent à la fois s'expliquer par l'influence de phénomènes macro-régionaux, comme les

- 16 Helge W. Arz, Franz Lamy, Jürgen Patzold, Peter J. Müller & Maarten Prins, « Mediterranean Moisture Source for an Early Holocene Humid Period in the Northern Red Sea », *Science*, vol. 300, n° 5616, 2003, p. 118-121; Adrian G. Parker *et al.*, « A Record of Holocene Climate Change from Lake Geochemical Analyses in Southeastern Arabia », art. cit.
- 17 Stephen J. Burns *et al.*, « A 780-Year Annually Resolved Record Of Indian Monsoon Precipitation From A Speleothem From South Oman », art. cit.
- 18 Dominik Fleitmann & Albert Matter, « The Speleothem Record of Climate Variability in Southern Arabia », *C.R. Geoscience*, vol. 341, n° 8-9, 2009, p. 633-642; Thomas M. Rosenberg, Frank Preusser, Ingo Blechschmidt, Dominik Fleitmann, Reto Jagher & Albert Matter, « Late Pleistocene palaeolake in the Interior of Oman: a Potential Key Area for the Dispersal of Anatomically Modern Humans out-of-Africa? », *Journal of Quaternary Science*, vol. 27, n° 1, 2012, p. 13-16.
- 19 Paul Sanlaville, « Changements climatiques dans la péninsule arabique durant le Pléistocène supérieur et l'Holocène », *Paléorient*, vol. 18, n° 1, 1992, p. 5-26; Harold McClure, « Radiocarbon Chronology of Late Quaternary Lakes in the Arabian Desert », *Nature*, n° 263, 1976, p. 755-756; Sue McLaren *et al.*, « First Evidence for Episodic Flooding Events in the Arid Interior of Central Saudi Arabia Over the Last 60 ka. », *Journal of Quaternary Science*, vol. 24, n° 2, 2008, p. 198-207; Ash Parton, Andrew R. Farrant, Melanie J. Leng, Jean-Luc Schwenninger, Jeffrey I. Rose, Hans-Peter Uerpman & Adrian G. Parker, « An Early MIS 3 Pluvial Phase in Southeast Arabia: Climatic and Archaeological Implications », *Quaternary International*, n° 300, 2013, p. 62-74.
- 20 Max Engel, Helmut Brückner, Anna Pint, Kai Wellbrock, Andreas Ginau, Peter Voss, Matthias Grottker, Nicole Klasek & Peter Frenzel, « The Early Holocene Humid Period in NW Saudi Arabia – Sediments, Microfossils and Palaeo-hydrological Modelling », *Quaternary International*, n° 266, 2012, p. 131-141; Anne-Marie Lézine, « Timing of Vegetation Changes at the End of the Holocene Humid Period in Desert Areas at the Northern Edge of the Atlantic and Indian Monsoon Systems », *C.R. Geosciences*, vol. 341, n° 8-9, 2009, p. 750-759; Dominik Fleitmann & Albert Matter, « The Speleothem Record of Climate Variability in Southern Arabia », art. cit.; Ian D. Clark & Jean-Charles Fontes, « Paleoclimatic Reconstruction in Northern Oman Based on Carbonates from Hyperalkaline Groundwaters », *Quaternary Research*, vol. 33, n° 3, 1989, p. 320-336.
- 21 Gareth W. Preston *et al.*, « A Multi Proxy Analysis of the Holocene Humid Phase from the United Arab Emirates and its Implication for Southeast Arabia's Neolithic Populations », art. cit.

changements abrupts (à l'échelle du siècle ou du millénaire) des vents de mousson en lien avec les fluctuations du rayonnement solaire²². Plus localement, ce sont les discontinuités présentes dans les enregistrements qui peuvent aider à comprendre certains hiatus. En effet, du fait de l'importance de l'érosion éolienne, les parties terminales des enregistrements sont souvent manquantes en Arabie²³. Enfin, la position des archives étudiées peut jouer un rôle majeur sur la variabilité de ces enregistrements. Il est, par exemple, envisageable que les épisodes humides de l'Holocène aient eu un impact plus prononcé dans les milieux montagnards, qui bénéficient encore aujourd'hui de précipitations plus importantes que le reste du territoire. La fin de la phase humide holocène est donc la plus sujette à débats. Son analyse est rendue d'autant plus complexe que la période de transition vers les conditions climatiques actuelles est, dans certains secteurs, ponctuée par de brefs retours à des conditions plus humides²⁴, notamment au début du bronze ancien, vers 5 100 ans BP²⁵ (fig. 2). Ce court épisode pluvial, que l'on ne retrouve pas partout en Arabie, aurait permis la remontée des isohyètes à 3 50 mm/an au niveau du piémont ouest des monts Hajar²⁶. D'un autre côté, durant les mêmes périodes, plusieurs épisodes arides plus ou moins longs ont été identifiés grâce à l'analyse de sédiments lacustres du nord-est des Émirats. Ces pics d'aridité sont brefs, datés à 8 200, 5 000 et 4 200 ans BP, mais des phases arides ont aussi été enregistrées sur des temps plus longs, par exemple entre 5 900 et 5 300 ans BP²⁷. Finalement, il est admis que l'aridification et l'installation des conditions climatiques actuelles prennent effet entre 4 000 et 3 500 ans BP. Elles sont identifiées à 3 500 ans BP dans plusieurs secteurs du piémont des monts Hajar, notamment à Wahalah²⁸,

22 Anil K. Gupta, David M. Anderson & Jonathan T. Overpeck, « Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean », *Nature*, n° 421, 2003, p. 354-356.

23 Jean François Berge, Jean-Paul Bravard, Louise Purdue, Anne Benoist, Michel Mouton & Frank Braemer, « Rivers of the Hadramawt Watershed (Yemen): Clues for a Late Functioning », *Quaternary International*, n° 266, 2012, p. 142-161.

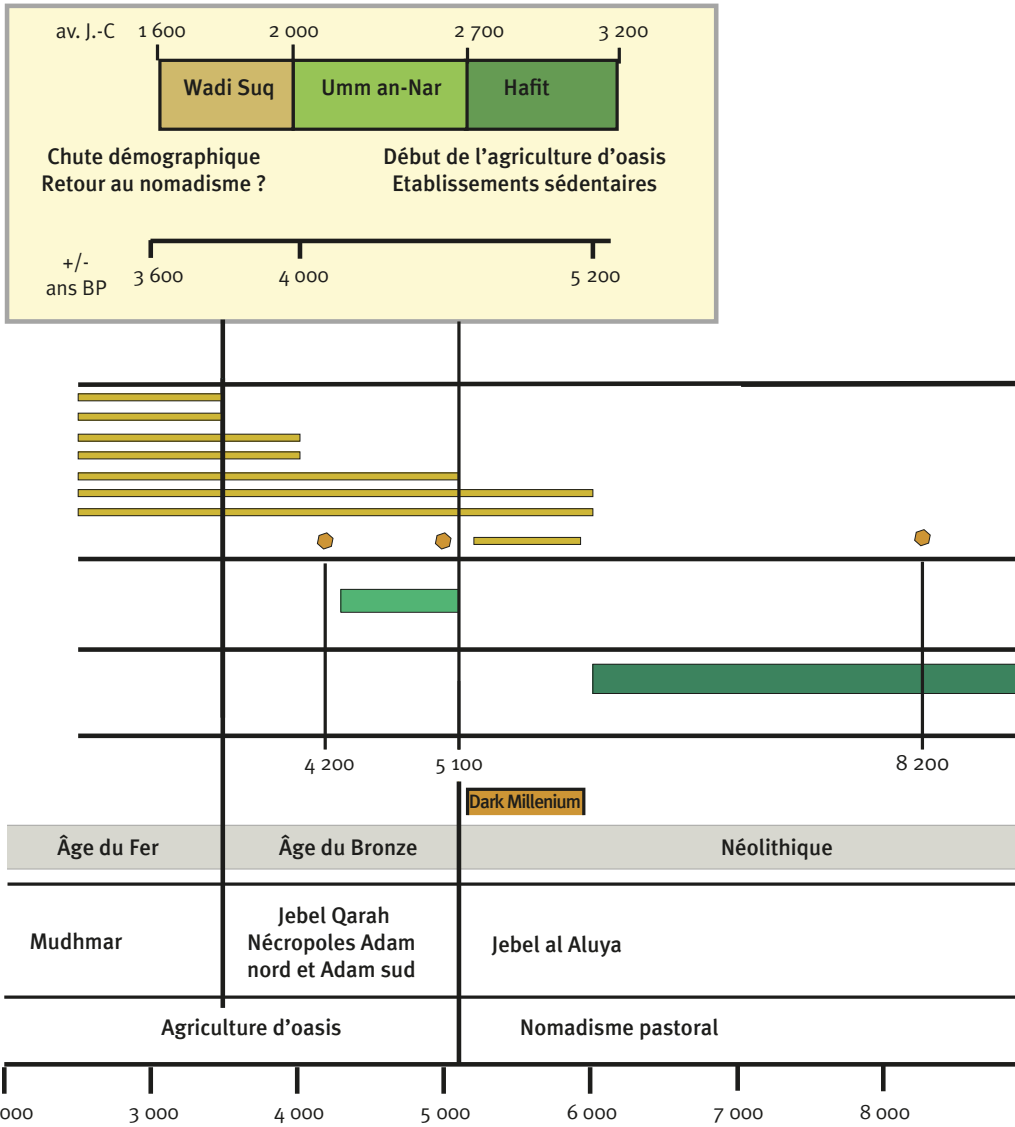
24 *Ibid.*; Brigitte Urban & Andreas Buerkert, « Palaeoecological Analysis for Late Quaternary Sediment Profile in Northern Oman », *Journal of Arid Environment*, vol. 73, n° 3, 2009, p. 296-305.

25 *Ibid.*; Adrian G. Parker *et al.*, « A Record of Holocene Climate Change from Lake Geochemical Analyses in Southeastern Arabia », art. cit.

26 D. G. Jorgensen & Walid Yasin Al Tikriti, « A Hydrologic and Archaeologic Study of Climate Change in Al Ain, United Arab Emirates », *Global and Planetary Changes*, vol. 35, n° 1, 2002, p. 37-49.

27 Gareth W. Preston *et al.*, « A Multi Proxy Analysis of the Holocene Humid Phase from the United Arab Emirates and its Implication for Southeast Arabia's Neolithic Populations », art. cit.; Gareth W. Preston, Gareth A. Parker, Helen Walkington, Melanie J. Leng & Martin J. Hodson, « From Nomadic Herder-Hunters to Sedentary Farmers: The Relationship Between Climate Change and Ancient Subsistence Strategies in Southeastern Arabia », *Journal of Arid Environment*, n° 86, p. 122-130. Dominik Fleitmann *et al.*, « Holocene ITCZ and Indian Monsoon Dynamics Recorded in Stalagmites from Oman and Yemen (Socotra) », art. cit.

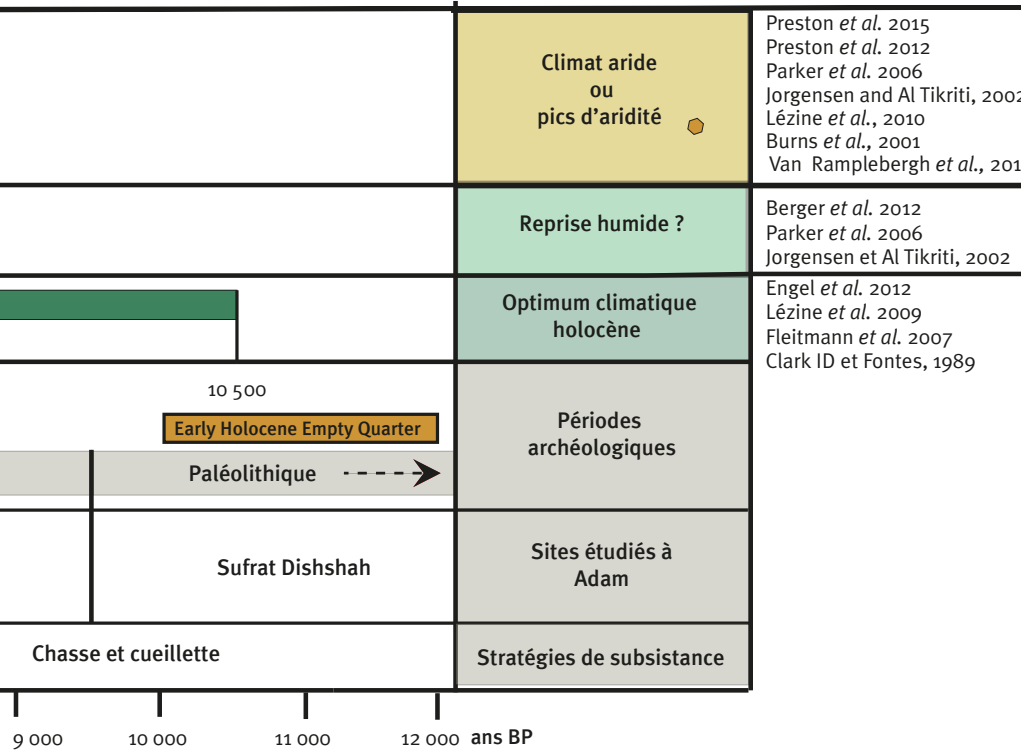
28 *Ibid.*



2. Synthèse des données paléoclimatiques et archéologiques du début de l'Holocène à la fin de l'âge du fer

Humidité

Aridité



à Al-Ain, Hili²⁹, de manière plus précoce à Awafi : 4 000 ans BP³⁰. Dans le Dhofar, 1 000 km plus au sud, Mauro Cremaschi et son équipe démontrent que les conditions arides s'installent à la même période, vers 3 500 ans BP, au moment où la migration vers le sud de la ZCIT atteint son maximum³¹.

Les interactions hommes-milieus durant les périodes préhistoriques et protohistoriques en Arabie du Sud-Est

Les variations climatiques, et plus particulièrement les fluctuations pluviométriques, ont eu des conséquences notamment sur la disponibilité de la ressource en eau et le potentiel d'occupation ou de mise en valeur de certains milieux durant les périodes préhistoriques et protohistoriques. Cette influence se retrouve dans la distribution des sites archéologiques aux différentes périodes, qui oscille entre des phases d'occupation plus large ou plus restreinte du territoire. Le développement de points d'eau et de cours d'eau permanents³² ainsi que la remontée vers le nord de biomes de type savane durant les phases humides du Pléistocène³³ expliquent l'abondance d'artefacts paléolithiques découverts dans les régions actuellement inhospitalières, notamment du fait de leur aridité, comme le désert du Rub al-Khali³⁴. Par ailleurs, le contexte chronologique des rares sites du Paléolithique moyen ayant pu être datés,

238

29 D. G. Jorgensen & Walid Yasin Al Tikriti, « A Hydrologic and Archaeologic Study of Climate Change in Al Ain, United Arab Emirates ».

30 Gareth W. Preston *et al.*, « From Nomadic Herder-Hunters to Sedentary Farmers: The Relationship Between Climate Change and Ancient Subsistence Strategies in Southeastern Arabia », art. cit. ; Adrian G. Parker *et al.*, « A Record of Holocene Climate Change from Lake Geochemical Analyses in Southeastern Arabia », art. cit.

31 Mauro Cremaschi, Andrea Zerboni, Vincent Charpentier, Rémy Crassard, Ilaria Isola, Eleonora Regattieri & Giovanni Zanchetta, « Early-Middle Holocene Environmental Changes and pre-Neolithic Human Occupation as Recorded in the Cavities of Jebel Qara (Dhofar, Southern Sultanate of Oman) », *Quaternary International*, n° 382, 2015, p. 264-276

32 Harold A. McClure, « Late Quaternary Palaeogeography and Landscape Evolution: the Rub al Khali », dans Daniel Potts (dir.), *Araby the Blest*, Copenhagen, Museum Tusulanum Press, 1988, p. 7-11; Dirk Radies, Stephen T. Hasiotis, Frank Preusser, Eike Neubert & Albert Matter, « Paleoclimatic Significance Of Early Holocene Faunal Assemblage in Wet Interdune Deposits of the Wahiba Sand Sea, Sultanate of Oman », *Journal of Arid Environment*, vol. 62, n° 1, 2005, p. 109-125; Caroline P. Davies, « Holocene Paleoclimates of Southern Arabia From Lacustrine Deposits of the Dhamar Highlands, Yemen », *Quaternary Research*, vol. 66, n° 33, 2006, p. 454-464; Adrian G. Parker *et al.*, « Holocene Vegetation Dynamics in the Northeastern Rub al Khali Desert, Arabia Peninsula: A Phytolith, Pollen and Carbon Isotope Study », *Journal of Quaternary Science*, vol. 19, n° 7, 2004, p. 665-676.

33 Adrian G. Parker *et al.*, « A Record of Holocene Climate Change from Lake Geochemical Analyses in Southeastern Arabia », art. cit.

34 Stéphanie Bonilauri, Tara Beuzen-Waller, Jessica Giraud, Marion Lemée, Guillaume Gernez & Éric Fouache, « Occupation During the Lower and Middle/Late Palaeolithic Period in the Sufrat Valley (Sultanate of Oman) », *Proceedings of the Seminar of Arabian Studies*, n° 45, 2015, p. 1-14; Jeff Rose et Michael Petraglia, « Tracking the Origin and Evolution of Human Populations in Arabia », dans Jeff Rose & Michael Petraglia (dir.), *The Evolution of Human Population in Arabia: Paleoenvironments, Prehistory and Genetics*, Dordrecht, Springer, 2009, p. 1-15.

comme le jebel Faya³⁵ et le Shi'bat Dishya, coïncide avec des phases humides (première phase humide du stade isotopique 3 pour ces deux sites). À l'échelle du début de l'Holocène, la variabilité pluviométrique a pu aussi exercer une influence plus ou moins directe sur les possibilités d'occupation du territoire (fig. 2). Le développement de conditions plus humides aurait favorisé l'expansion des populations néolithiques en Arabie du Sud-Est³⁶, expansion qui se traduit par un nombre très important de sites et d'amas coquilliers retrouvés sur la côte arabique³⁷ et, de manière plus ponctuelle, à l'intérieur des terres³⁸. Inversement, peu de sites découverts ont pu être rattachés aux périodes arides de l'Holocène ancien qui se situent globalement entre 12 000 et 10 000 ans BP (période connue sous le nom de « Early Holocene Empty Quarter ») puis entre 5 900 et 5 300 ans BP. Ce phénomène peut s'expliquer d'une part par un délaissement de la région, au profit d'autres milieux plus favorables; d'autre part du fait d'une population beaucoup plus mobile, habitant principalement dans des structures périssables et temporaires; enfin, par un nombre important de sites encore méconnus³⁹. La rareté des données

- 35 Simon J. Armitage, Sabah A. Jasim, Anthony E. Marks, Adrian G. Parker, Vitaly I. Usik & Hans-Peter Uerpmann, « The Southern Route "Out of Africa": Evidence for an Early Expansion of Modern Humans into Arabia », *Science*, vol. 331, n° 6016, 2011, p. 453-456; Anne Delagnes Chantal Tribolo, Pascal Bertran, Michel Brenet, Rémy Crassard, Jacques Jaubert Lamya, Khalidi, Norbert Mercier, Sébastien Nomade, Stéphane Peigné, Luca Sitzia, Jean-François Tournepiche, Mohammad Al-Halibi, Ahmad Al-Mosabi & Roberto Macchiarelli, « Inland Human Settlement in Southern Arabia 55,000 Years Ago: New Evidence From the Wadi Surdud Middle Paleolithic Site Complex, Western Yemen », *Journal of Human Evolution*, vol. 63, n° 3, 2012, p. 452-474.
- 36 Gareth W. Preston *et al.*, « From Nomadic Herder-Hunters to Sedentary Farmers: The Relationship Between Climate Change and Ancient Subsistence Strategies in Southeastern Arabia », art. cit.; Anne-Marie Lézine *et al.*, « Climate Change and Human Occupation in the Southern Arabian Lowlands During the last Deglaciation and the Holocene », art. cit.
- 37 Vincent Charpentier & Sophie Méry, « A Neolithic Settlement Near the Strait of Hormuz: Akab Island, United Arab Emirates », *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies*, n° 38, 2008, p. 117-136; Hans-Peter Uerpmann & Margarethe Uerpmann, « Stone Age Sites and Their Natural Environment », *Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A. Naturwissenschaften*, Part 3, « The Capital Area of Northern Oman », vol. 31, n° 1, 2003; Phillips C.S., « Prehistoric Middens and a Cemetery from the Southern Arabian Gulf », dans Serge Cleuziou, Maurizio Tosi & Juris Zarins (dir.), *Essays on the Late Prehistory of the Arabian Peninsula*, Roma, Rom ISIAO, 2002, p. 169-186.
- 38 Marion Lemée, Guillaume Gernez, Jessica Giraud, Tara Beuzen-Waller & ÉricFouache, « Jabal al-Aluya: an Inland Neolithic Settlement of the Late Fifth Millennium BC in the Ādam Area, Sultanate of Oman », *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies*, n° 43, 2013, p. 197-212; Hans-Peter Uerpmann, Margarethe Uerpmann & Sabah A. Jasim, « The Archaeology of Jebel al-Buhais », dans Hans-Peter Uerpmann, Margarethe Uerpmann & Sabah A. Jasim (dir.), *The Natural Environment of Jebel al-Buhais: Past and Present*, Tübingen, Kerns Verlag, 2008, t. II; Heiko Kallweit, Mark Beech & Walid Yasin Al Tikriti, « Kharimat Khor al-Manāhil and Khor Āl-Manāhil – New Neolithic Sites in the South-Eastern Desert of the UAE », *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies*, n° 35, 2008, p. 97-113.
- 39 Gareth W. Preston *et al.*, « A Multi Proxy Analysis of the Holocene Humid Phase from the United Arab Emirates and its Implication for Southeast Arabia's Neolithic Populations », art. cit.

disponibles et le déclin apparent des populations caractérisent notamment la fin du Néolithique, parfois appelée *Dark Millenium*⁴⁰, entre 5 800 ans BP et le début de l'âge du bronze à 5 100 ans BP. L'entrée dans l'âge du bronze, dès la période Hafit (5 100-4 500 ans BP) correspond en revanche à une forte réoccupation humaine de la région, dont les marques visibles sont les milliers de tombes installées sur les hauteurs des territoires occupés. Les stratégies de subsistance évoluent : le nomadisme pastoral est remplacé par un mode de vie sédentaire et l'agriculture d'oasis⁴¹, dont le corolaire pourrait être le développement de systèmes d'irrigation, bien qu'aucune structure aussi ancienne n'ait pu encore être précisément datée⁴². L'apparition des premières oasis est parfois présentée comme une réponse des sociétés à l'installation de conditions climatiques plus arides⁴³ ou inversement, comme une modalité de développement rendue possible grâce aux conditions climatiques plus favorables du court épisode pluvial de la fin de l'Holocène⁴⁴. La fin de l'âge du bronze s'achève avec la période Wadi-Suq (4 000-3 600 ans BP), parfois considérée comme une rupture avec les périodes précédentes du fait de la diminution du nombre de sites et d'une possible reprise du nomadisme. Les causes indirectes de cette transition brutale sont aussi parfois attribuées à l'aridification effective du climat ou à un pic d'aridité majeur pouvant être rattaché à l'évènement 4 200 BP⁴⁵, évènement climatique aride identifié dans tout le Proche-Orient ancien⁴⁶ et parfois invoqué pour expliquer les effondrements brutaux de l'Empire akkadien en Mésopotamie⁴⁷, de l'Ancien Empire égyptien⁴⁸ et de la civilisation de la

40 Margarethe Uerpmann. « The Dark Millennium: Remarks on the Final Stone Age in the Emirates and Oman », dans Daniel Potts, Hasan A. Naboodah & Peter Hellyer (dir.), *Archaeology in the United Arab Emirates: Proceedings of the First International Conference on the Archaeology of the U.A.E.*, London, Trident Press Ltd., 2003, p. 73-84.

41 Gareth W. Preston *et al.*, « From Nomadic Herder-Hunters to Sedentary Farmers: The Relationship Between Climate Change and Ancient Subsistence Strategies in Southeastern Arabia », art. cit.

42 Julien Charbonnier, « Groundwater Management in Southeast Arabia From the Bronze Age to the Iron Age: a Critical Reassessment », *Water History*, vol. 6, n° 4, 2014.

43 Anne-Marie Lézine *et al.*, « Climate Change and Human Occupation in the Southern Arabian Lowlands During the last Deglaciation and the Holocene », art. cit.

44 Gareth W. Preston *et al.*, « From Nomadic Herder-Hunters to Sedentary Farmers: The Relationship Between Climate Change and Ancient Subsistence Strategies in Southeastern Arabia », art. cit.

45 Adrian G. Parker *et al.*, « A Record of Holocene Climate Change from Lake Geochemical Analyses in Southeastern Arabia », art. cit.

46 Catherine Kuzucuoglu, « Climatic and Environmental Trends During the Third Millennium B.C. in upper Mesopotamia », art. cit.

47 Heidi M. Cullen, Peter B. de Menocal, Sidney Hemming, Gary Hemming, F.H. Brown, Tom Guilderson & Frank Sirocko, « Climate Change and Collapse of the Akkadian Empire: Evidence from the Deep Sea », *Geology*, vol. 28, n° 4, 2000, p. 379-382.

48 Fabian Welc & Leszek Marks, « Climate Change at the End of the Old Kingdom of Egypt Around 4200 BP. New Geoarchaeological Evidence », *Quaternary International*, n° 324, 2014, p. 124-133.

vallée de l'Indus⁴⁹. Durant les périodes préhistoriques et protohistoriques en Oman, les relations homme-milieux ont donc grandement évolué, tant du fait des variations climatiques que des possibilités d'optimisation de certains milieux, rendues possibles par la maîtrise de nouvelles techniques (irrigation) et l'apparition de nouveaux modes de vie (sédentarisation et agriculture d'oasis).

MÉTHODE: UNE ÉTUDE INTERDISCIPLINAIRE DIACHRONIQUE ET MULTISCALEIRE

De manière à comparer le plus précisément possible les acquis de la bibliographie à l'évolution climatique, environnementale et archéologique d'un territoire donné, l'étude géoarchéologique de la région de l'arche de Salekh s'est appuyée sur une approche systémique combinant études archéologiques (prospections et fouilles) et études géomorphologiques (cartographie, analyse et datation des formations alluviales héritées) à l'échelle de la région de l'arche de Salekh et de quelques sites d'échantillonnages choisis à savoir le nord de la cluse d'Adam et l'amont de la vallée du wadi Dishshash qui est située au sud-ouest du sufrat Dishshah. Ces sites ont été choisis pour la pertinence des coupes alluviales naturelles qu'ils présentaient, coupes qui ont été ensuite nettoyées, dessinées, échantillonnées et datées quand cela était possible.

La restitution de l'occupation du territoire a été réalisée au moyen d'un traitement diachronique⁵⁰ des sites archéologiques recensés durant les prospections et sur des données chronologiques précises issues des fouilles.

La cartographie géomorphologique multiéchelle

La compréhension et la spatialisation des dynamiques actuelles et héritées se sont fait grâce à des observations de terrain réalisées de manière non systématique du fait de la dimension importante du territoire étudié (voir **fig. 1 b & c**). Les principaux résultats obtenus ont été synthétisés dans des cartes géomorphologiques à différentes échelles. La réalisation des cartes d'échelle moyenne a été guidée par des données multiples⁵¹ et s'appuie sur des relevés GPS. En revanche, la réalisation de cartes à grande échelle a été rendue difficile

49 Yama Dixit, David A. Hodell & Cameron A. Petrie, « Abrupt Weakening of the Summer Monsoon in the Northwest India ~ 4.100 Years Ago », *Geology*, vol. 42, n°4, 2014, doi:10.1130/G35236.1.

50 Analyse effectuée avec le logiciel *Arcgis 10.2.2*

51 La réalisation des cartes régionales a pu s'appuyer sur l'étude des cartes géologiques (notamment François Béchennec, Joël Le Métour, Jean-Pierre Platel & Jack Roger, « Geological map of the Sultanate of Oman », scale 1: 1 000 000 with explanatory notes. Directorate General of Minerals, 1993, Oman Ministry of Petroleum and Minerals, Muscat.) des images satellites (TM + 7 et Google Earth) et l'utilisation des données topographiques ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model).

par l'absence d'imageries ou de données topographiques suffisamment précises pour délimiter des unités. Dans certains cas, les données topographiques, indispensables à la discrimination de niveaux de terrasses, ont été acquises au moyen d'un drone⁵². Elles ont permis la réalisation d'un modèle numérique d'élévation dont la résolution au sol moyenne est de 3,14 cm pour une surface couverte de 5,81 km²⁵³.

Étude des terrasses alluviales : lieux d'échantillonnages et analyses

242

La reconstruction d'un signal paléoclimatique propre à la région de l'arche de Salekh s'est appuyée sur l'étude des formations alluviales quaternaires, en particulier celles des terrasses. Les terrasses ont été considérées comme de bons marqueurs morphoclimatiques premièrement grâce aux liens existant entre leurs phases d'aggradation et les phases humides du Quaternaire⁵⁴ et, deuxièmement, grâce à leur capacité à archiver des informations sédimentologiques et biologiques, lesquelles permettent d'affiner la description des anciens environnements de dépôts. Outre leur analyse géomorphologique (géométries, formes...), la caractérisation des terrasses a été réalisée grâce à l'étude de coupes stratigraphiques ponctuelles, naturelles ou nettoyées, dont les plus intéressantes ont été décrites et échantillonnées en vue d'analyses granulométriques, malacologiques⁵⁵ et micromorphologiques. Une partie de ces analyses est encore en cours de traitement.

Les deux secteurs ayant fait l'objet d'études approfondies sont, premièrement, la partie nord-ouest de la cluse d'Adam (lieu d'échantillonnage 1), et deuxièmement la partie amont du wadi Dishshah (fig. 1c – lieu d'échantillonnage 2). Les lieux d'étude et d'échantillonnage ont été choisis en fonction de leur prédisposition à l'accumulation alluviale (notamment la présence de sédiments sableux pouvant être prélevés), à l'observation des emboîtements et à la préservation des séquences sédimentaires. La cluse d'Adam est un secteur d'accumulation alluviale et d'incision préférentiel. Elle occasionne la confluence d'importants cours d'eau, comme le wadi Lathil ou le wadi Muhanna, qui deviennent en aval de la cluse le wadi Adam. Ces cours d'eau, dont la partie amont du bassin versant remonte aux monts Hajar, sont

52 Modèles eBee 647 et 646, fournies par la société SAS DIAG et produit par la société senseFly Ltd.

53 Vols et traitements des données effectués par Raphaël Hautefort & Julien Guery.

54 Ingo Blechschmidt *et al.*, « Monsoon Triggered Formation of Quaternary Alluvial Megafans in the Interior of Oman », *Geomorphology*, art. cit.

55 Les études malacologiques ont été effectuées par Anaïs Marrast au Muséum national d'Histoire naturelle. Elles se concentrent sur l'étude de la coupe 3 dont chaque unité stratigraphique a été prélevées. Chaque individu a été compté, identifié et classé en fonction de son âge et son espèce.

alimentés par des écoulements générés par les pluies orographiques et ont donc des crues plus régulières. La violence des écoulements torrentiels dans ce secteur est en revanche peu favorable à la préservation de terrasses peu étendues ou de dépôts fins aptes à la conservation de bio-indicateurs, par nature peu résistants. Dans le large lit majeur de ces wadis, les crues importantes ont en effet, aujourd'hui, une action morphogène peu propice à la préservation d'accumulation alluviale récente. L'étude de la partie amont du wadi Dishshash, drain secondaire naissant dans des reliefs de faible altitude, caractérisés par des roches friables, et uniquement alimentés par des pluies locales, a été réalisée dans le but de pallier ce problème d'enregistrement.

Datation absolue et relative des terrasses alluviales

La datation absolue des terrasses a généralement été effectuée par OSL⁵⁶ du fait de la faible préservation de la matière organique et la richesse des terrains en quartz ou en feldspath. Dans certains cas, la datation par radiocarbone a été possible du fait de la bonne préservation de résidus charbonneux⁵⁷. Une campagne de datations exhaustive n'étant pas envisageable du fait de la dimension des secteurs étudiés, la plupart des terrasses ont été datées de manière relative. De grands ensembles de terrasses, regroupés en niveaux, ont été discriminés grâce à la cartographie et chronologiquement associés à des datations obtenues lors de précédentes études⁵⁸ ou dans le cadre de nos recherches. La délimitation des niveaux de terrasses et leurs datations relatives par correspondance altimétrique n'a pas pu être effectuée dans les plaines alluviales, du fait du caractère très plat du relief et du manque de précision altimétrique des modèles numériques d'élévation gratuits⁵⁹ à cette échelle. Les corrélations entre les différents ensembles alluviaux reposent donc en grande partie sur les similitudes chromatiques des pavages de surface et le degré de patinage des galets visible depuis les images satellites⁶⁰. Ponctuellement, les sites archéologiques ont aussi pu faire office de seuil chronologique, en servant, lorsqu'ils étaient en place, de *terminus ante quem*⁶¹.

56 Optically Stimulated Luminescence.

57 Analyse radiocarbone effectuée par le laboratoire BETA Analytics et analyses OSL réalisées par le Nordic Laboratory for Luminescence Dating (Risø, Danemark, dirigé par Andrew Murray) et par le Geoluminescence Dating Research Laboratory, (Waco, Texas, USA, dirigé par Steven L. Forman).

58 Notamment les campagnes pionnières Ingo Blechschmidt *et al.*, « Monsoon Triggered Formation of Quaternary Alluvial Megafans in the Interior of Oman », art. cit.

59 Données ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) GDEM (Global Digital Elevation Model).

60 Notamment l'image Landsat 7 ETM + 40 N.

61 Ou « limite avant laquelle ». La datation de la structure archéologique ou l'artefact sert de limite temporelle supérieure et permet d'estimer que la terrasse s'est édifiée avant X période archéologique ; Bruno Desachy, « Formaliser le raisonnement chronologique et

De 2007 à 2015, des campagnes de prospections ont été réalisées à pied ou en voiture, et ponctuellement assistées par des images aériennes obtenues par drone. Les sites archéologiques ont été systématiquement pointés à l'aide du GPS, décrits, photographiés, voire mesurés, et intégrés dans une base de données⁶². Pour les périodes préhistoriques, l'action de la déflation et du nettoyage systématique des topographies par le vent a abouti, comme souvent en milieu en aride, à la découverte de sites archéologiques de surface (épandages de pierres taillées) sans stratigraphie. Ce phénomène restreint la datation des sites et la délimitation de repères chronologiques précis. Cela concerne en particulier les périodes culturelles appartenant au Paléolithique ancien, moyen et plus récent. En effet, les épandages de pierres taillées retrouvés peuvent contenir sur un même niveau un mélange d'objets appartenant à des périodes différentes, espacées de plusieurs milliers, voire de plusieurs centaines de milliers d'années. Pour les périodes protohistoriques, la datation relative des structures funéraires a été réalisée grâce à la reconnaissance de caractéristiques architecturales. Les structures indéfinies n'ont pas été intégrées dans les cartes de répartition générées pour cette étude.

Les campagnes de fouilles, initiées en 2011, se sont quant à elles focalisées sur le seul site d'habitat néolithique de l'intérieur omanais, le jebel al-Aluya, et la fouille de deux nécropoles de l'âge du bronze nichées dans la cluse d'Adam, « Adam-Nord » et « Adam-Sud ». L'objectif de ces fouilles était d'obtenir des informations plus précises sur les modes d'occupation du territoire. Dans la localité d'Adam même, l'absence de sites d'habitats a orienté les fouilles vers des nécropoles multipériodes (Hafit, Umm an-Nar et Wadi-Suq) de manière à mieux caractériser l'architecture et le mobilier funéraire du secteur.

Intégration des données dans un système d'information géographique commun

La confrontation et la comparaison de l'ensemble des données ont été facilitées par l'usage d'un système d'information géographique⁶³ qui a rendu possible la fusion des données archéologiques avec les données géographiques et géomorphologiques. Un traitement diachronique de la base de données archéologique a permis de produire plusieurs cartes présentant la distribution des sites par période. Ces cartes mettent en évidence des phases de développement

son incertitude en archéologie de terrain », *Cybergeo: European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 597, en ligne l: <http://cybergeo.revues.org/25233>, DOI: 10.4000/cybergeo.25233

⁶² Jessica Giraud, Julien Charbonnier, Guillaume Gernez, Marion Lemée & Sabrina Righetti, « Occupation ancienne dans la région d'Adam (sultanat d'Oman) du Néolithique à la période pré-islamique », *Arabian Humanities/Chroniques yéménites*, n° 17, 2012, p. 1-17.

⁶³ ArcGIS.

ou de replis des sites, ainsi que des choix d'occupation ou d'abandon de certains espaces. Ces battements dans l'histoire de l'occupation d'Adam et des contrées proches mènent progressivement jusqu'à l'établissement des territoires oasiens. Ces évolutions ont été mises en parallèle avec les données géomorphologiques et hydroclimatiques obtenues dans la région.

RÉSULTATS : ÉVOLUTION GÉOMORPHOLOGIQUE, PALÉOCLIMATIQUE ET ARCHÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE L'ARCHE DE SALEKH

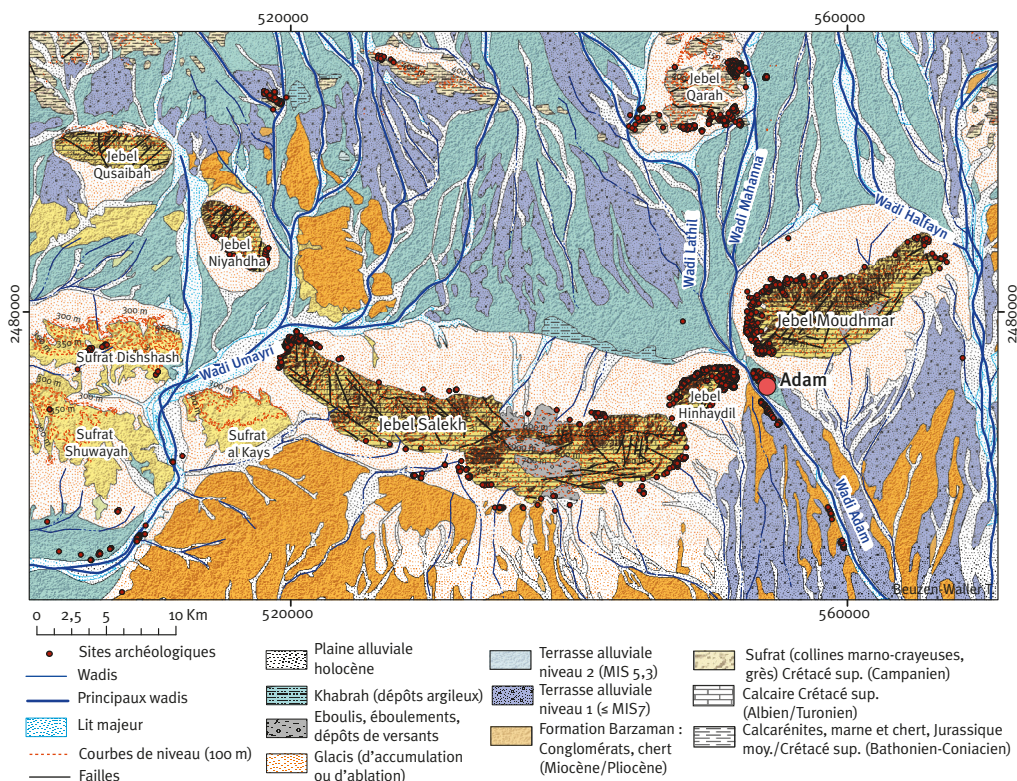
Des ensembles alluviaux de la fin du Pléistocène inégalement représentés dans les plaines alluviales au nord et au sud de l'arche de Salekh

Les quatre grands ensembles alluviaux cartographiés

La corrélation entre les analyses géomorphologiques et sédimentologiques a permis de distinguer quatre grands ensembles alluviaux. Ils ont été classés par ordre chronologique de dépôt – qui correspond aussi à leur organisation topographique – et cartographiés (fig. 3 & 4) :

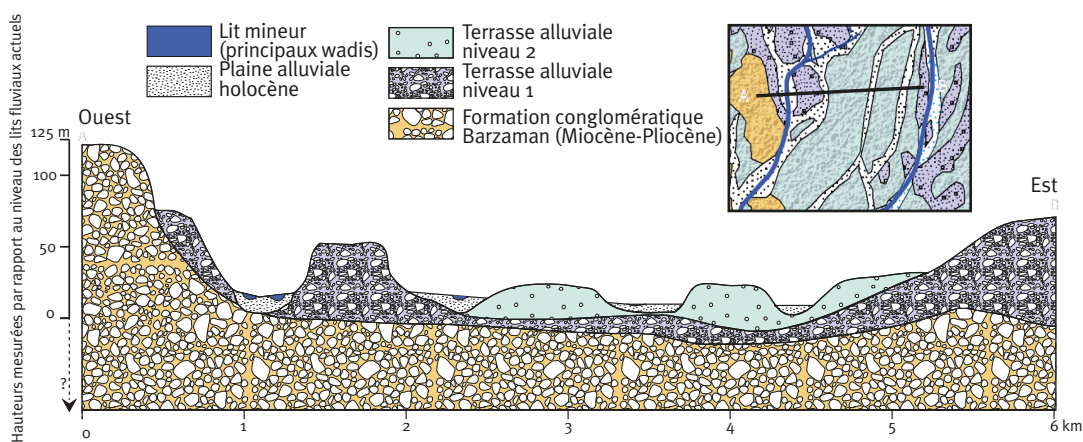
1. Le remplissage initial de la plaine alluviale est composé d'une formation conglomératique Mio-Pliocène appelée « formation Barzaman ». Elle est caractérisée par une matrice alluviale hétérométrique, très cimentée et altérée, riche en chert rouge des nappes d'Hawasina⁶⁴. Sa base n'est pas visible dans la plaine alluviale nord, mais son contact avec la formation gréseuse et marno-crayeuse de la fin du Crécaté Fiqa s'observe dans des secteurs ravinés de la plaine alluviale sud.
2. Le second ensemble identifié est un niveau de terrasse ancien, nommé « niveau 1 », emboîté dans la formation Barzaman. Il est surtout composé de gros galets gris, noircis par la patine, bien roulés, qui apparaissent lités et classés en coupe. Le niveau 1 peut atteindre plusieurs mètres de hauteur par rapport au fond du lit mineur dans les secteurs où les wadis actuels sont très incisés. Dans la plaine alluviale, le niveau 1 est beaucoup moins surcreusé et correspond parfois uniquement à des épandages de galets gris pouvant côtoyer les mêmes altitudes que le niveau de terrasse 2.
3. Le troisième ensemble est un niveau de terrasse intermédiaire, dit niveau 2, plus récent, et emboîté dans le niveau 1. Il est caractérisé par un faciès sédimentaire plus fin (graviers, gravillons) dont les éléments sont dans

64 François Béchenec, Joël Le Métour, Dominique Rabu, Chantal Bourdillon-de-Grissac, Patrick De Wever, Michel Beurrier & Michel Villey, « The Hawasina Nappes: Stratigraphy, Palaeogeography and Structural Evolution of a Fragment of the South-Tethyan Passive Continental Margin », *Geological Society Special Publication*, n° 49, « The Geology and Tectonics of the Oman Region », dir. A.H. Robertson, M.P. Searle & A.C. Ries, 1990, p. 213-223.



3. Carte géomorphologique de la région de l'arche de Salekh

Source : François Béchenneq *et al.*, « The Hawasina Nappes: Stratigraphy, Palaeogeography and Structural Evolution of a Fragment of the South-Tethyan Passive Continental Margin ».



4. Profil transversal schématique de la plaine alluviale au nord du jebel Salekh

l'ensemble moins patinés, même si l'on retrouve en coupe et en surface des galets remobilisés du niveau précédent. Le lit majeur actuel, largement incisé dans les trois unités précédentes (le chenal surcreuse occasionnellement le substrat ante-néogène dans la plaine alluviale sud), correspond au quatrième ensemble. Il se compose de chenaux en tresses séparés par des bancs sédimentaires, et dont le fond est tapissé de matériel hétérométrique en fonction de la compétence du cours d'eau. À l'exception de certains secteurs, les différences topographiques entre les trois dernières unités sont parfois très faibles, et l'étagement de ces formes n'est visible qu'en de rares secteurs comme les lieux de confluence, les cluses, ou bien à proximité d'obstacles.

Datation et caractérisation des ensembles alluviaux : l'obtention d'un signal hydroclimatique propre à la cluse d'Adam et à ses abords

Corrélation relative entre les ensembles cartographiés et des terrasses précédemment datées : un niveau 1 « ancien »

247

La campagne de datation réalisée par Ingo Blechschmidt et son équipe a permis de dater un grand nombre de terrasses⁶⁵. Quelques-unes sont situées dans le sud-est de la cluse d'Adam, le long du wadi Halfayn et sont principalement rattachées aux MIS 11, 9 et 7 (tableau 1). Par correspondance entre les grands ensembles préalablement cartographiés et les coordonnées GPS des lieux d'échantillonnages, nous avons pu constater que, hormis l'échantillon OMF21, la quasi-totalité des terrasses datées par Ingo Blechschmidt et son équipe sont rattachables au niveau 1. La période d'édification des « terrasses de niveau 1 » a donc été estimée comme antérieure ou égale au MIS 7 (soit 245-185 ka ans BP). Cet ensemble alluvial est dominant dans la plaine alluviale sud.

Le niveau 2 : un ensemble alluvial construit durant les dernières phases humides du Pléistocène récent

Un seul échantillon de la série datée par Ingo Blechschmidt et ses collaborateurs, prélevé dans une terrasse de la partie sud-est du wadi Halfayn (l'échantillon OMF21), coïncide avec l'ensemble de niveau 2. Il est daté à 45 ± 5 ka ans BP et correspond à un des rares enregistrements terrestres de la phase humide du MIS 3 (généralement identifiée entre 60-50 ka ans BP)⁶⁶. Les formations relatives au niveau 2, qui sont bien représentées dans la plaine

65 Ingo Blechschmidt *et al.*, « Monsoon Triggered Formation of Quaternary Alluvial Megafans in the Interior of Oman », art. cit.

66 Ash Parton *et al.*, « An Early MIS 3 Pluvial Phase in Southeast Arabia: Climatic and Archaeological Implications », art. cit.

Tableau 1. Synthèse des datations effectuées sur les terrasses fluviales dans la région de l'arche de Salekh (dans le cadre de cette étude et par Ingo Blechschmidt et son équipe)

Echantillons	Méthode	Location	UTM/ coordonnées	Date (ka)	Auteur
OMF26	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0606005/2454832	923 ± 139	Blechschmidtotal. 2009
OMF27	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0606191/2454681	809 ± 110	Blechschmidtotal. 2009
OMF24	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0605991/2454808	746 ± 104	Blechschmidtotal. 2009
OMF22	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0605980/2454752	621 ± 65	Blechschmidtotal. 2009
OMF23	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0605983/2454775	613 ± 81	Blechschmidtotal. 2009
OMF25	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0605991/2454825	607 ± 83	Blechschmidtotal. 2009
OMF28	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0607402/2454190	458 ± 97	Blechschmidtotal. 2009
OMF16	OSL	Sud-ouest wadi Halfayn	0622842/2391063	340 ± 36	Blechschmidtotal. 2009
OMF14	OSL	Sud-ouest wadi Halfayn	0624932/2387120	323 ± 34	Blechschmidtotal. 2009
OMF7	OSL	Est du wadi Adam	0578361/2346332	255 ± 22	Blechschmidtotal. 2009
OMF6	OSL	Est du wadi Adam	0581339/2353304	233 ± 26	Blechschmidtotal. 2009
OMF8	OSL	Est du wadi Adam	0578361/2346332	232 ± 21	Blechschmidtotal. 2009
OMF17	OSL	Sud-ouest wadi Halfayn	0621314/2392675	229 ± 37	Blechschmidtotal. 2009
OMF10	OSL	Sud-ouest wadi Halfayn	0625560/2386122	227 ± 27	Blechschmidtotal. 2009
OMF15	OSL	Sud-ouest wadi Halfayn	0622628/2390932	220 ± 24	Blechschmidtotal. 2009
OMF5	OSL	Est du wadi Adam	0574504/2358935	214 ± 19	Blechschmidtotal. 2009
OMF18	OSL	Sud-ouest wadi Halfayn	0628772/2392167	213 ± 46	Blechschmidtotal. 2009
OSLADAM ₂	OSL	Cluse d'Adam (nord-ouest)	0551721/2476761	119 ± 8	Cet article
OSLADAM ₃	OSL	Cluse d'Adam (nord-ouest)	0551721/2476761	117 ± 9	Cet article
OSLADAM ₁	OSL	Cluse d'Adam (nord-ouest)	0551721/2476761	98 ± 10	Cet article
OMF21	OSL	Wadi Andam (est Halfayn)	0606700/2454416	45 ± 5	Blechschmidtotal. 2009
C ₃ OSL ₂ SD	OSL	Wadi Dishshash coupe 3	0505075/2476330	6. 225 ± 0.465	Cet article
C ₃ OSL ₁ SD	OSL	Wadi Dishshash coupe 3	0505075/2476330	5. 875 ± 0.415	Cet article
C ₄ OSL ₁ SD	OSL	Wadi Dishshash coupe 4	0504925/2476473	5. 560 ± 0.42	Cet article
C ₂ E145	Radiocarbone	Wadi Dishshash coupe 2	0505068/2476639	5. 040 ± 0.03	Cet article
C ₁ OSL ₁ SD	OSL	Wadi Dishshash coupe 1	0505592/2477389	2. 620 ± 0.21	Cet article

alluviale au nord de l'arche de Salekh et surtout en amont de la cluse d'Adam, n'ont pas été datées. Pour tenter de recadrer la période de formation de cet ensemble, une terrasse située au nord-ouest de la cluse d'Adam, en amont de la confluence actuelle entre les wadis Lathil et Muhanna, et appartenant à l'ensemble cartographié comme niveau 2, a été étudiée et datée. Le nettoyage de la coupe Adam-Nord (lieu d'échantillonnage 1 – **fig. 1c**) a permis le dégagement de trois unités stratigraphiques, une unité basale US-1 très cimentée et composée de galets, graviers et sables, une unité médiane US-2, plus claire et caractérisée par des sables et des limons indurés, et une unité terminale US-3 riche en sables et présentant des lits de graviers ou de gravillons. Les dates obtenues pour chacune de ces unités, 119 000 ± 800 ans BP pour l'US-1 (OSLADAM₂), 117 000 ± 900 ans BP pour l'US 2 (OSLADAM₁) et 98 000 ± 100 ans BP pour l'US 3 (OSLADAM₃) correspondent, pour les deux premiers, à la phase humide du dernier interglaciaire (MIS 5e – ou Eémien – entre 130 000 et 115 000 ans BP), jusqu'alors non identifiée dans la région et dans des sédiments fluviatiles.

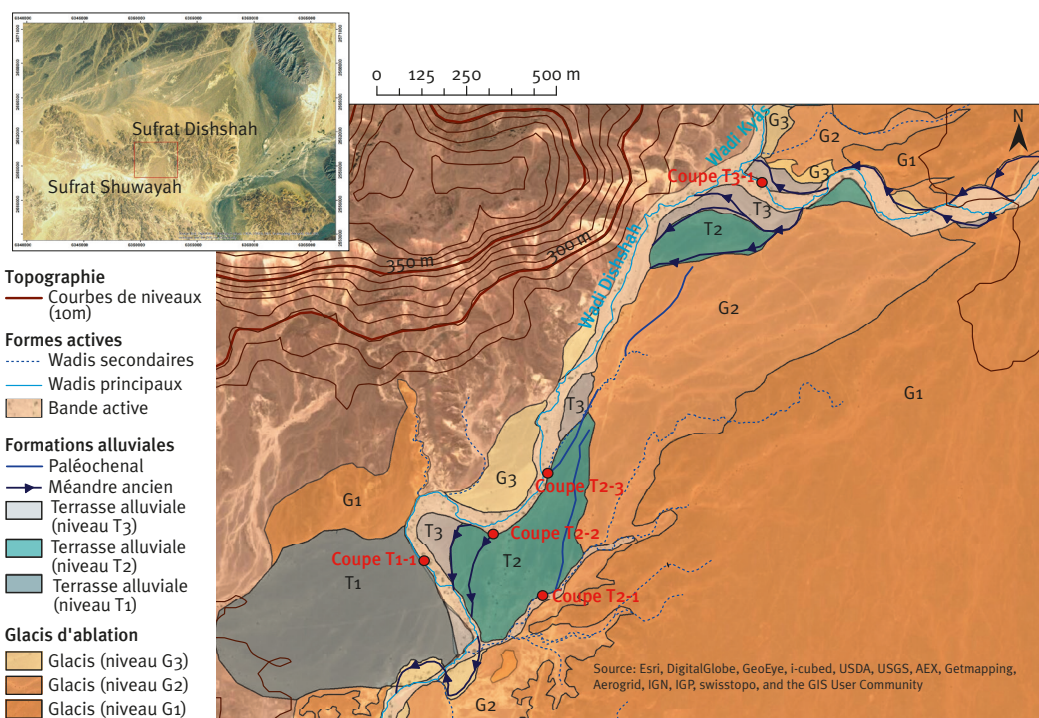
249

L'étendue des ensembles de terrasses cartographiées comme niveau 2 et le peu de datations disponibles pour tenter de discriminer des niveaux intermédiaires ont amené, au moins à titre d'hypothèse de travail, à rattacher chronologiquement l'édification du niveau 2 aux deux derniers événements humides du Pléistocène : le MIS 5e et le MIS 3.

L'étude géomorphologique et la cartographie de la région de l'arche de Salekh démontrent que le secteur a été exposé à de nombreuses fluctuations climatiques durant la fin du Quaternaire (voir **tableau 1**), qui sont observables grâce aux variations géométriques des nappes alluviales anciennes et à leur organisation en réseaux de terrasses emboîtées. Ce dispositif est appréhendé comme un signal morphoclimatique qui correspond à la raréfaction progressive des écoulements. La cartographie géomorphologique, l'étude litho- et morphostratigraphique des coupes et les séries de datations OSL initiées par Blechschmidt et son équipe⁶⁷, et poursuivies dans le cadre de notre étude, ont permis de délimiter deux niveaux de terrasses pléistocènes dans les plaines alluviales nord et sud d'Adam. Les enregistrements fluviatiles des phases humides holocènes ont été étudiés dans la partie amont du wadi Dishshash.

67 Ingo Blechschmidt *et al.*, « Monsoon Triggered Formation of Quaternary Alluvial Megafans in The Interior of Oman », art. cit.

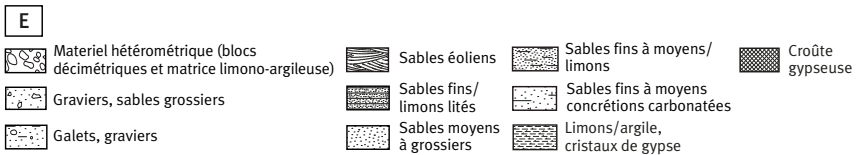
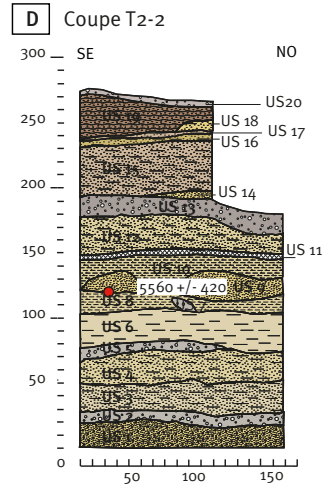
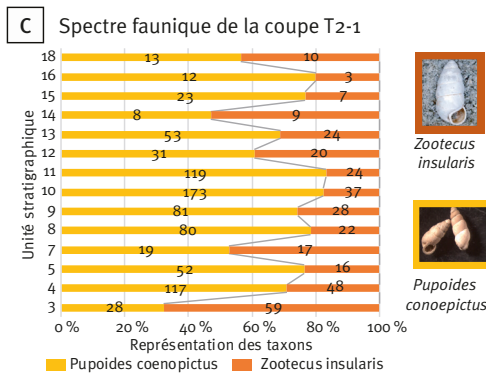
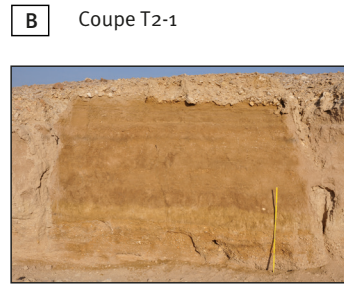
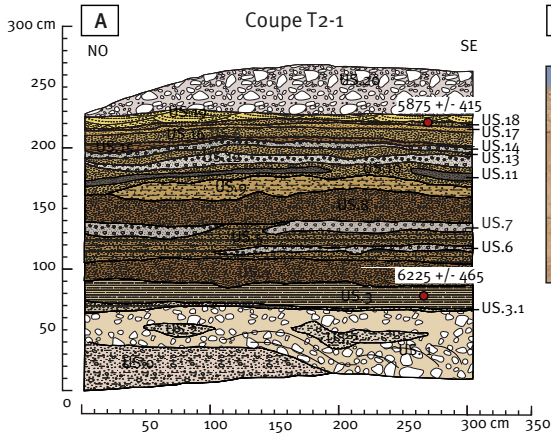
Les prospections géomorphologiques et topographiques menées dans la partie amont du wadi Dishshash ont permis de cartographier un secteur de la zone amont du cours d'eau de 5 km² dans lequel ont été identifiés trois niveaux de glacis et trois niveaux de terrasses (fig. 5). Les éléments des deux séries ont été classés de 1 à 3 par ordre topographique du haut vers le bas. Selon les premières datations obtenues sur les terrasses, ce dispositif correspond à une organisation conforme à la chronologie : les éléments les plus élevés sont aussi les plus anciens. En effet, les niveaux de terrasses, nommées T₁, T₂ et T₃, sont plus récents que ceux étudiés dans les plaines alluviales de l'arche de Salekh, T₂ et T₃ étant des niveaux holocènes. Le glacis d'ablation marneux, que l'on retrouve systématiquement en pied de versant dans le secteur des sufrats, est quant à lui divisé en trois paliers (G₁, G₂, G₃) à proximité du wadi Dishshah. Le niveau G₁ correspond au niveau le plus élevé du glacis, sa surface est recouverte par un pavage caillouteux non induré d'une dizaine de centimètres d'épaisseur. Il a été découpé en plusieurs paliers d'érosion (G₂ et G₃) par les écoulements du wadi Dishshah, au lit vraisemblablement de plus en plus encaissé. Les surfaces de G₂ et G₃ présentent des pavages différents, composés de débris plus fins (graviers, sables). Les périodes érosives associées au découpage de ces paliers n'ont pas pu être datées, mais on peut présumer, du fait de l'âge des terrasses, que G₁ et G₂ sont antérieurs à l'Holocène. Les terrasses, soit emboîtées dans G₃ ou situées dans le prolongement de G₂, se développent en aval de la confluence entre le wadi Dishshah et un de ses affluents, le wadi Kyas. Le haut niveau – la terrasse T₁, en cours d'étude – surplombe le méandre actuel du wadi Dishshah de plus de 4 m (dont 3 m d'accumulation alluviale et 1 mètre d'incision dans les marnes) et présente des séries litées de sables et de graviers très indurées. La terrasse T₂ est la forme la mieux développée entre la confluence et le méandre. Ce moyen niveau surplombe le lit mineur actuel d'un peu plus de 2,40 m (dont 20 cm de marnes apparentes dans la partie basale). Il est étudié grâce à plusieurs coupes : T₂₋₁ située dans la partie centrale de la terrasse, en périphérie du chenal principal actuel ; T₂₋₂ et T₂₋₃ situées le long du chenal principal actuel et exposant des paléochenaux entaillant le niveau 2. Le bas niveau T₃ est la terrasse la moins développée. Quelques lambeaux ont été retrouvés vers la zone de confluence ou les rives convexes. Elle a été étudiée et datée au moyen de la coupe T₃₋₁, située en amont de la confluence et exposant le niveau T₃.



5. Carte géomorphologique du secteur du wadi Dishshah et localisation des coupes stratigraphiques étudiées

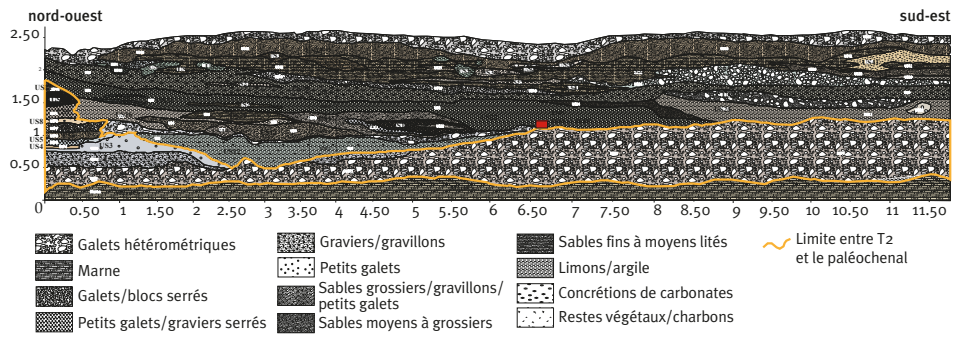
Stratigraphie, vestiges malacologiques et datations

Les structures sédimentaires visibles en coupe sont très variées. Grâce à l'étude des coupes, elles ont été discriminées par observation de leurs lithofaciès et décomposées en unités lithostratigraphiques (que nous appellerons « US » par convenance). La coupe T2-1 (fig. 6), qui est une fenêtre d'observation du corps de la moyenne terrasse, repose sur des dépôts hétérométriques, comportant des blocs et des galets (US 0 à US 3) rappelant la composition des fonds de chenaux actuels. S'ensuivent des séries fines, litées, épaisses de deux mètres. Elles présentent des alternances de sables limoneux compacts, de couleurs variant du jaunâtre au rougeâtre, et de sables fins microlités comprenant des passages argileux ou des lits caillouteux (par exemple de US 9 à US 16). Certaines unités sont caractérisées par des concrétions carbonatées et par un degré de compaction plus important, comme US 3 et US 9, qui comprend aussi de petites croûtes gypseuses. Dans les niveaux supérieurs, T2-1 est coiffée par des dépôts sableux fins, très friables, d'origine éolienne (US 19), scellés sous le pavage caillouteux de surface (US 20). Le cœur de la terrasse comprend des unités visiblement plus riches en matière organique (charbons, mollusques et traces de bioturbations) qui correspondent à des couches noirâtres à rougeâtres (ex. : US 11). L'étude malacologique a révélé



6. Étude des coupes T2-1 et T2-2 du wadi Dishshah

- Analyse lithostratigraphique de T2-1 et résultat des datations par OSL
- Photographie la coupe T2-1 après nettoyage
- Analyse malacologique de T2-1 par unité lithostratigraphique : comptage et identification, réalisés par Anaïs Marrast à partir d'échantillons prélevés dans la coupe
- Analyse lithostratigraphique de T2-2 et résultat de la datation par OSL
- Description des lithofaciés et éléments de légende utilisés pour les relevés de T2-1 et T2-2
- Position de la coupe T2-2 le long du lobe de méandre du wadi Dishshah. La ligne rouge souligne le contact entre le glacis d'ablation marneux et les accumulations alluviales rattachées au niveau de terrasse T2



7. Analyse stratigraphique de la coupe T2-3, la limite jaune indique le contact entre les accumulations alluviales de T2 et un paléochenal dont l'incision puis le colmatage sont postérieurs à la construction de T2

l'absence d'individus dans les unités basales et terminales de la coupe, les unités basales ayant été déposées par des écoulements trop turbulents pour favoriser la préservation de coquilles et les unités terminales étant édifiées par des dynamiques éoliennes. Les mollusques présents dans les autres unités (de US 3 à US 18) sont *Zootecus insularis* et *Pupoides coneopictus* (fig. 7; fig. 6d, e et f). *Z. insularis*⁶⁸ est un petit gastéropode de la famille des Subulinidae et *P. coenopictus* appartient à la famille des Pupillidae. Ils font tous deux parties du groupe holo-saharo-sindien, mais ils attestent de conditions environnementales différentes : *P. coenopictus* peut grandir dans les eaux et affectionne aussi les environnements des berges. Il est visible dans des zones « humides » d'Oman, comme les jardins d'oasis ou à côté de plans d'eau. *Z. insularis*, plus résistant, peut survivre à de courtes périodes de sécheresse du fait de sa respiration aérienne, mais il privilégie les sols humides et les terrains ombragés. Ces deux taxons sont dépendants d'environnements humides et ombragés pour se développer, voire pour *P. coenopictus* de présence d'eau permanente, le mollusque ne résistant pas à des expositions à la sécheresse trop prononcées⁶⁹. Selon les datations obtenues sur la coupe 3, la nappe alluviale T2 s'est déposée autour de 6000 ans BP (6225 ± 465 ans BP pour l'US 3 et 5875 ± 415 ans BP pour les US 18 et 19).

La présence de paléochenaux incisés dans la terrasse 2 témoigne d'une phase d'incision postérieure à cette période, suivie d'un remplissage secondaire. Ces phases sont étudiées au moyen des coupes T2-2 et T2-3, moins riches en mollusques, et qui n'ont donc pas fait l'objet d'une étude malacologique.

68 Jassim A. Al-Khayat, « First Record of Five Terrestrial Snails in the State of Qatar », *Tubitak*, n° 34, 2010, p. 539-545.
 69 Dana Pietsch & Peter Kühn, « Early Holocene Paleosols at the Southwestern Ramlat As-Sab'atayn Desert Margin », *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, vol. 365-366, 2012, p. 154-165.

Chronologiquement, le paléochenal identifié dans la coupe T2-2 (voir **fig. 6**) est le plus ancien : sa partie moyenne est datée de $5\,560 \pm 420$ ans BP (US 8/9). Sa limite est incisée dans la nappe alluviale T2 et sa frontière ouest comprend le lobe du méandre. La coupe T2-2, haute de 2,50 m, dévoile, elle aussi à sa base, le contact avec les marnes du Crétacé supérieur qui composent le glaciais d'ablation. Les unités lithostratigraphiques visibles dans la coupe T2-2 présentent des alternances entre lits caillouteux et lits sableux plus rythmés que ceux de la coupe 3 T2-1. Les croûtes gypseuses sont aussi plus importantes et mieux développées (US 9, 10 et surtout 11). La coupe T2-3 (voir **fig. 7**) expose les marnes du glaciais, la partie encaissante de la terrasse (les unités basales comprises entre US 1 et 11) dont le faciès, plus grossier, contraste avec les séries d'un deuxième paléochenal encaissé (les unités entre US 12 et US 44) plus récent : sa base est datée de $5\,090 \pm 30$ ans BP. Ce paléochenal présente une stratigraphie composée de multiples lits caillouteux séparés par des lentilles sableuses et limoneuses légèrement obliques. Les croûtes gypseuses sont absentes, mais certains niveaux présentent des indurations plus importantes (par exemple, les lentilles US 30). Les US 12, 16, et 20 sont riches en charbons et en microcharbons. Les vestiges malacologiques sont en revanche là aussi beaucoup moins présents. La terrasse et les unités terminales du paléochenal sont coiffées par des unités éoliennes. Enfin, la coupe T3-1 a permis l'étude du niveau alluvial le moins développé (niveau T3), qui surplombe de 1 à 1,50 m le lit actuel du wadi Dishshah. Cette coupe expose des séries complètement différentes de celles observées dans le niveau T2, elles sont composées de dépôts hétérométriques, grossiers, non roulés, comprenant parfois de gros blocs de plus de 15 cm de diamètre. Les dépôts, ni triés ni lités, sont dans l'ensemble désorganisés et ne comportent pratiquement pas de lits sableux. Le cœur apparent de la terrasse est daté de $2\,620 \pm 210$ ans BP. C'est donc le témoin d'une accumulation alluviale postérieure aux phases humides holocènes.

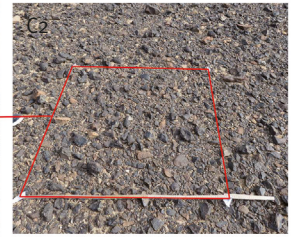
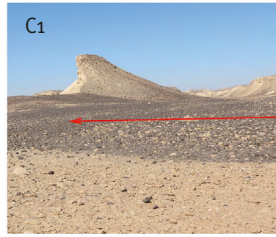
Dans le cadre de l'étude paléoclimatique et paléoenvironnementale de la région du jebel Salekh, ce secteur du wadi Dishshah fournit des balises chronologiques portant sur les variations hydroclimatiques des 6 000 dernières années. La majeure partie de l'Optimum humide, qui débute traditionnellement aux alentours de 10 500 ans BP pour s'achever vers 6 000 ans BP, est absente de nos données hydrosédimentaires. En effet, les datations effectuées sur T2-1, T2-2 et T2-3 se situent entre $6\,225 \pm 465$ ans BP et $5\,090 \pm 30$ ans BP et l'édification de T3-1 serait relative à une phase encore plus tardive ($2\,620 \pm 210$ ans BP). L'absence de données pour le début de l'Holocène humide pourrait s'expliquer soit par une grande érodabilité des milieux et une redistribution pratiquement complète des alluvions anciennes, soit par une concentration des formes les plus anciennes dans les secteurs d'ennoyage situés en aval, ce que les études en cours permettront de discuter.

Les sites répertoriés pour l'ensemble de la région de l'arche de Salekh s'échelonnent des périodes paléolithiques aux périodes islamiques, ce qui induit une réoccupation plurimillénaire du territoire de la cluse d'Adam et de ses environs. L'examen de la carte archéologique de la région du jebel Salekh montre que les sites archéologiques se situent majoritairement sur les versants des jebels, au niveau des lignes de crête (c'est le cas notamment des nécropoles Hafit) et à proximité des cluses ou des principaux couloirs d'écoulement actuels (voir **fig. 1c**). En se référant à la carte géomorphologique de la région de l'arche de Salekh, on remarque que les sites sont situés de manière préférentielle sur des formations de piémont, les glacis, et rarement sur des formations alluviales, à l'exception des terrasses anciennes de « niveau 1 », dont l'édification est antérieure ou égale au MIS 7 (soit 245-185 ka ans BP – **fig. 3 & 4**). Aucun site n'a été découvert dans les lits majeurs actuels alors que ce sont les secteurs les plus humides et les plus propices à l'implantation d'activités pastorales ou agricoles. Il est possible que les crues torrentielles des wadis n'aient pas favorisé la préservation des sites, notamment les sites d'habitats généralement fragiles ou construits en matériaux périssables (brique crues). Si la localisation des sites présente de nombreux points communs à l'échelle régionale, leur répartition spatiale varie néanmoins beaucoup entre les différentes périodes archéologiques. Dans cette étude, la distribution diachronique des sites apporte aussi un éclairage nouveau sur les stratégies d'adaptation des sociétés protohistoriques face à l'aridification du climat. Elle permet d'observer la construction spatiale du fait oasien en suivant la concentration progressive des sites vers les cluses jusqu'à la stabilisation de l'habitat (**fig. 8 & 9**). La grande diversité des vestiges permet en effet d'appréhender, à l'échelle d'un territoire et de son organisation, les changements fondamentaux des stratégies de mode de subsistance ayant eu lieu à l'âge du bronze, période où un mode de vie nomade, et plus ou moins opportuniste, est remplacé par des formes de sédentarisation s'organisant autour de rares territoires privilégiés.

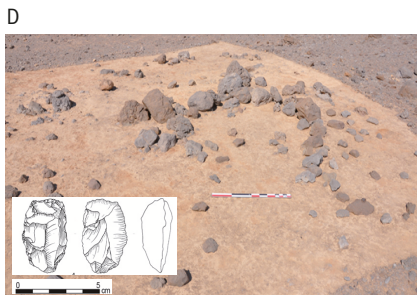
Paléolithique ancien, moyen et plus récent : un sufrat Dishshash régulièrement réoccupé à l'échelle du Paléolithique

La majeure partie des collines du sufrat Dishshash (dont la partie prospectée fait plus de 10 km de longueur et de largeur) est recouverte d'artefacts reposant en surface, artefacts qui ont été retrouvés en densité très importante sur les sommets tabulaires des collines (jusqu'à 84 pièces par mètre carré) et dans des densités moindres sur les versants ou les glacis⁷⁰ (voir **fig. 8.1a, b & c1-c2**).

70 Stéphanie Bonilauri *et al.*, « Occupation During the Lower and Middle/Late Palaeolithic Period in the Sufrat Valley (Sultanate of Oman) », art. cit.



Site du Sufrat Dishshah (Paléolithique) :
 A/ Biface acheuléen ; B/ Nucleus nubien ;
 C/ Étude de densité : 85 pièces retrouvées pour une surface
 d'un mètre sur un mètre (C2)
 (Photos extraites de Gernez *et al.*, 2016 ; Bonilaur *et al.*, soumis)



Site Jebel al Aluya (Néolithique) : Locus 8116
 et biface retrouvé autour du locus 8159
 (Photo et dessins extraits de Gernez *et al.*, 2013)



Site du Jebel Qarah : tombes Hafit sur les crêtes
 des collines (Photo : Beuzen-Waller)

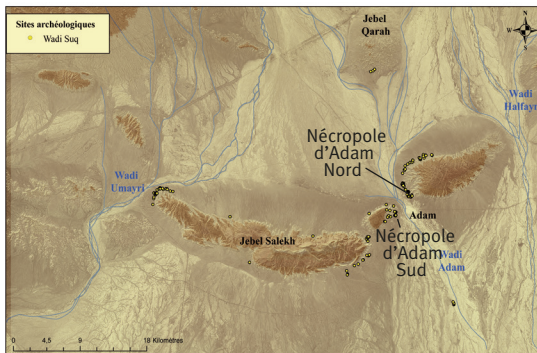
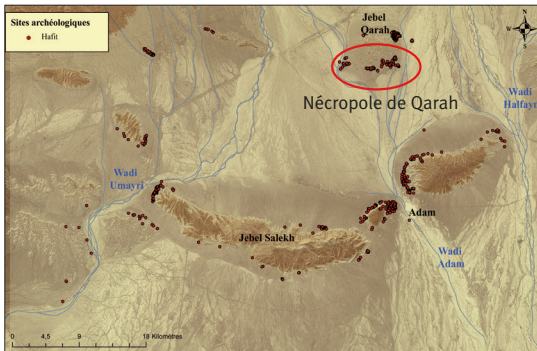
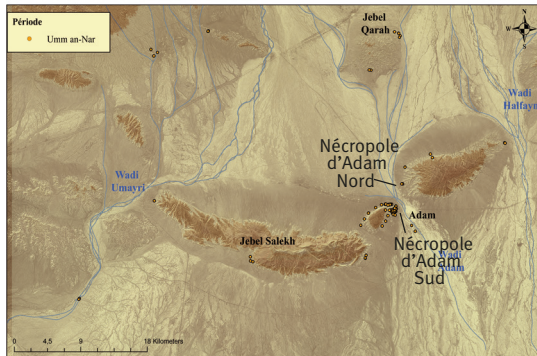
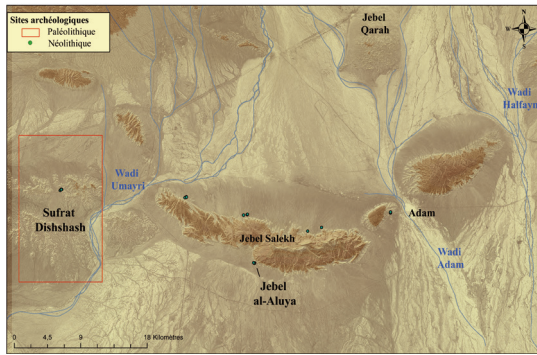


F
 Nécropole Adam sud, Tombe 2000,
 période Umm an Nar. Vue est-ouest
 (photo extraite de Gernez *et al.*, 2013)

G
 Nécropole Wadi Suq Adam nord,
 Vue de l'est
 (photo extraite de Gernez *et al.*, 2013)



8. Sites archéologiques du secteur d'Adam
 mentionnés dans le texte



9. Distribution des sites archéologiques de la région de l'arche de Salekh du Paléolithique à la période Wadi-Suq

L'étude des caractéristiques typotechnologiques des artefacts collectés durant les prospections renvoie à des périodes d'occupation très différentes. Premièrement, le Paléolithique inférieur, période identifiée au moyen de deux pièces qui font partie des extensions les plus orientales, en Arabie, du phénomène bifacial dit acheuléen. Leur découverte renvoie à une occupation très ancienne de la région, comprise entre 1,5 million d'années et 300 000 ans. La plus grande majorité des artefacts sont attribuables au Paléolithique moyen du fait de la prédominance d'industries Levallois. La présence d'industries nubiennes⁷¹, industries typiques des premiers groupes d'*Homo sapiens* sortis d'Afrique, permet d'envisager une occupation du sufrat durant les MIS 5 et/ou MIS 3⁷². Enfin des industries pouvant être rattachées à un Paléolithique plus récent sont aussi présentes et attestent d'une réoccupation plus tardive de la vallée et des plateaux. Les vestiges des autres périodes semblent très rares voire inexistantes pour les périodes les plus récentes, tout comme les habitations actuelles.

Néolithique : un habitat resserré autour du jebel Salekh

Les sites néolithiques identifiés à l'intérieur des terres omanaises sont rares. À Adam, les pourtours du jebel Salekh ont livré quelques traces d'occupation surtout sur le glacis méridional (voir **fig. 9**) avec en particulier l'ensemble appelé jebel al-Aluya (voir **fig. 8.2**), où se concentrent des abris semi-circulaires, des fosses et des outils lithiques datés environ de 6 500-5 700 ans BP⁷³ (soit à la fin de l'Optimum humide holocène). Le glacis nord du jebel Salekh a livré quelques sites plus petits. Enfin, des fosses cendreuse ont été remarquées lors de la fouille de la nécropole d'Adam-Sud. Elles ont été datées par radiocarbone 6 270 ± 40 ans BP cal (environ 4320 av. J.-C.). Aucun site correspondant à l'*Early Holocene Empty Quarter* et au *Dark Millenium* n'a été découvert.

71 Amir Beshkani, Tara Beuzen-Waller & Guillaume Gernez, « Report of the Palaeolithic Survey, French Archaeological Mission of Central Oman, 2016 », mission dirigée par Guillaume Gernez, rapport interne pour le Ministry of Culture and Heritage, non-publié.

72 Ash Parton *et al.*, « An Early MIS 3 Pluvial Phase in Southeast Arabia: Climatic and Archaeological Implications », art. cit.; Jeffrey I. Rose, Vitaly I. Usik, Anthony E. Marks, Yamandu H. Hilbert, Christopher S. Galletti, Ash Parton, Jean Marie Geiling, Viktor Černý, Mike W. Morley & Richard G. Roberts, « The Nubian Complex of Dhofar, Oman: An African Middle Stone Age Industry in Southern Arabia », *PLoS One*, vol. 6, n° 11, 2011, en ligne: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0028239>, doi:10.1371/journal.pone.0028239

73 Marion Lemée *et al.*, « Jabal al-Aluya: An Inland Neolithic Settlement of the Late Fifth Millennium BC in the Ādam Area, Sultanate of Oman », art. cit.

La période Hafit : le développement d'un paysage funéraire balisant le territoire (5 200-4 600 ans BP)

Les vestiges de l'âge du bronze ancien découverts sont beaucoup plus nombreux, ils sont principalement composés de tombes circulaires en pierres, rassemblées en larges nécropoles qui sont installées sur les crêtes ou les points hauts (voir **fig. 8.3**). Elles constituent les premières formes visibles d'agencement du paysage et balisent les territoires habités (les habitats sont généralement localisés au centre des nécropoles, en fond de plaine alluviale⁷⁴). L'enregistrement d'un tel nombre de tombes (au moins 900) peut être interprété comme la conséquence d'une occupation plus significative et plus dense de la région. Les nécropoles plus importantes sont localisées en bordure des principaux wadis, par exemple à Ras-al-Jebel, près du wadi Umayri et au jebel Qarah (voir **fig. 8.3**) entre les wadis Lathil et Mahanna. En revanche, presque aucune tombe n'est localisée au bord du wadi Halfayn. Leur concentration est encore plus importante au niveau des cluses (notamment la cluse d'Adam), seuls lieux propices à une vie sédentaire ou semi-sédentaire fondée sur l'agriculture.

La période Umm an-Nar : retranchement progressif et stabilisation de l'occupation (4 600-4 000 ans BP)

En dépit de la rareté des tombes de la période suivante (voir **fig. 8.4**), la continuité spatiale est très nette (voir **fig. 9**), indiquant une continuité de mode de vie et des possibilités de certains territoires (notamment la cluse d'Adam) ; sauf au jebel Qarah où l'occupation semble périliter dès cette période. Les fouilles des nécropoles Adam-Sud (voir **fig. 8.4**) et Adam-Nord (voir **fig. 8.5**) ont permis de resituer la cluse et la ville d'Adam au sein d'échanges interrégionaux (Mésopotamie, Iran, Indus) et de réseaux d'exploitation et de commerce du cuivre, comme en témoignent les importations découvertes dans une des tombes de la nécropole (voir **fig. 8.4**), la « tombe 2000 » (par exemple, de petits pots globulaires non peints ou jarres carénées à décors peints sur pâte grise, importés d'Iran oriental ou du Baluchistan⁷⁵).

74 Jessica Giraud, *Restitution d'un espace géographique ancien : la province du Ja'alan à l'âge du bronze (sultanat d'Oman)*, thèse de doctorat d'archéologie des périodes historiques, sous la dir. de Serge Cleuziou, université Paris I, 2007.

75 Guillaume Gernez, « Mission archéologique française d'Oman, Rapport de campagne 2013-2014 », rapport interne à destination du ministère des Affaires étrangères, non publié ; Roland Besenval & Aurore Didier, « Peuplement protohistorique du Kech Makran au III^e millénaire av. J.-C. : l'assemblage céramique de la période III^e sur le site de Miri Qalat », *Paléorient*, vol. 30, n° 2, 2004, p. 159-177.

La période Wadi-Suq (4000-3600 ans BP) : une occupation retranchée au niveau des cluses d'Adam et de Ras-al-Jebel :

Les tombes de la période Wadi-Suq sont concentrées au niveau des cluses d'Adam (voir **fig. 8.5**) et de Ras-al-Jebel. L'occupation du territoire atteint durant cette période une localisation à l'actuelle. Le changement culturel profond caractéristique de la période Wadi-Suq est identifié en particulier par l'abandon des pratiques d'inhumations collectives (pratiquées durant les périodes Hafit et Umm an-Nar) et un renouveau des productions matérielles. Cependant, si les tombes individuelles de l'époque Wadi-Suq (2000-1600 av. J.-C.) sont moins nombreuses que celles des périodes antérieures, elles sont concentrées dans les mêmes lieux et forment aussi des nécropoles. La continuité observée de l'espace funéraire contraste donc avec la discontinuité culturelle et suggère, malgré des évolutions culturelles, la stabilité de l'habitat (et du mode de vie?).

260

L'intégralité des données archéologiques présentées est inédite ou a fait l'objet de publications récentes. La région de l'arche de Salekh, qui a commencé à être étudiée en 2007, s'est révélée être un territoire riche en vestiges archéologiques malgré sa position marginale. La répartition et la distribution des sites évoluent beaucoup au cours des périodes climatiques et culturelles. Elles peuvent être appréhendées comme l'expression spatiale de l'évolution des stratégies d'occupation du territoire, notamment le retranchement vers les territoires oasiens. Les études hydroclimatiques ont permis de croiser ce signal territorial avec les évolutions géomorphologiques et hydrosédimentaires de la fin du Pléistocène à l'Holocène récent.

DISCUSSION : DE LA RARÉFACTION DES ÉCOULEMENTS AU RESSERREMENT DES SITES ARCHÉOLOGIQUES DANS LES ZONES OASIENNES ?

Un emboîtement des formes fluviales aux proportions variables d'amont en aval de la chaîne anticlinale de l'arche de Salekh

La géométrie des différentes générations de nappes alluviales à l'échelle de la région de l'arche de Salekh présente une tendance au rétrécissement (voir **fig. 2**). Cela s'observe à la fois dans la dimension des zones d'épandage, qui sont de moins en moins étendues, et dans la réduction de la granulométrie moyenne des alluvions. L'hypothèse proposée est que l'emboîtement progressif des formes alluviales aux environs d'Adam résulte de la diminution des débits ainsi que de la raréfaction et de la concentration progressive des écoulements au niveau des cluses au cours de la fin du Pléistocène et de l'Holocène. L'abandon graduel de certaines parties de la plaine alluviale par les crues a donné lieu à la stabilisation des formations alluviales les plus anciennes, à savoir, par ordre chronologique :

1. la formation Barzaman supposée d'âge Miocène moyen à Pliocène ;
 2. le niveau de terrasses 1 dont la mise en place est estimée comme antérieure ou contemporaine au MIS 7 (estimée comme antérieure ou égale au MIS 7 (soit 245-185 ka ans BP) ;
 3. le niveau de terrasse 2 qui lui a été rattaché au MIS 5e (119 000 ± 800 ans, 117 000 ± 900 ans BP et 98 000 ± 100 ans BP) et au MIS 3 (45 ± 5 ans BP).
- Les formes édifiées durant la première partie de l'Holocène (entre 12 000 et 6000 ans BP) sont encore actives. En effet, on suppose que le réseau hydrographique et les couloirs d'écoulements actuels (indiqués comme « plaine alluviale holocène » sur la carte géomorphologique) ont été taillés durant les variations climatiques du début de l'Holocène. Ce réseau hérité est réinvesti aujourd'hui par des écoulements qui n'atteignent que très rarement les branches les plus en aval du réseau.

La répartition et la distribution des formations alluviales ne sont pas identiques au nord et au sud de l'arche de Salekh. Les formations les plus anciennes sont mieux préservées au sud de la chaîne anticlinale et les accumulations les plus récentes sont contenues dans la plaine alluviale nord. Cette organisation permet à la fois de visualiser, d'une part, la diminution de l'intensité des écoulements de surface dès le MIS 5^e – visible par la remontée en amont de la zone d'accumulation – et, d'autre part, l'action de drainage exercée par l'arche et les cluses qui, en concentrant les écoulements au niveau de goulets étroits, favorisent par effet d'obstacle le dépôt et l'existence de constructions sédimentaires mieux développées que dans le reste de la plaine (les terrasses du niveau 2 de ce secteur).

Une partie des écoulements barrés par les reliefs dérivés de l'inversion de la ride anticlinale, ou naissante dans les hauteurs du Salekh, emprunte la voie des gouttières qui font la jonction entre les glaciers et la plaine alluviale, et au sein desquelles des zones d'envoie limono-argileuses – les kabhras – sont visibles. Les gouttières acheminent les écoulements périphériques les plus importants au niveau des principaux talwegs (ex : wadi Andam). En conséquence, les dynamiques morphogénétiques se sont concentrées dans des secteurs restreints, notamment au niveau des lits majeurs actuels et surtout des cluses, qui ont la double particularité d'être à la fois plus favorables aux occupations humaines (car plus humides) tout en les soumettant à d'importants risques durant les crues. Il a donc été très difficile d'appréhender des formations pouvant être rattachées à la phase humide holocène à proximité des wadis principaux ou au sein des plaines alluviales, celles-ci étant certainement comprises au sein d'un lit majeur trop instable pour avoir favorisé la bonne préservation des enregistrements holocènes. Si ces formations sont difficilement observables

dans les grandes plaines d'épandage d'Adam, les niveaux d'accumulation holocènes d'origine naturelle ou anthropique sont en revanche mieux visibles dans les vallées intramontagnardes plus en amont, comme à Bat, à Bisyah, ou dans de petits bassins versants isolés, comme le sufrat Dishshash.

Évolution du wadi Dishshash et implications pour la chronologie des phases humides holocènes

262

Les deux niveaux de terrasses T₂ et T₃ étudiés dans le secteur du wadi Dishshash sont les premiers enregistrements hydroclimatiques relatifs à des épisodes humides holocènes tardifs localisés dans le piémont sud des montagnes omanaises. Ils sont d'autant plus intéressants qu'ils sont localisés dans des reliefs de faible altitude (400 m), aujourd'hui complètement désertiques et inhospitaliers car ne bénéficiant pas des pluies orographiques dont profitent les monts Hajar. Ces enregistrements locaux correspondent donc à l'évolution climatique propre à la région d'Adam. Le wadi Dishshash est actuellement caractérisé par des écoulements torrentiels rares, mais parfois violents en fonction de l'intensité des pluies. Ces apports en eau ne sont pas suffisants pour humidifier les collines arides et dénudées du sufrat Dishshash. En revanche, les accumulations à l'origine de la construction du niveau T₂ du wadi Dishshash (voir fig. 5) témoignent d'écoulements lents et réguliers, favorables au développement d'espèces terrestres et fluviatiles à la recherche d'ombre et d'humidité. L'étude de la malacofaune, associée à celle de la stratigraphie atteste l'existence de conditions humides durant lesquelles des écoulements ont permis le remplissage progressif d'une plaine alluviale : les premiers dépôts sont datés vers $6\,225 \pm 465$ ans BP, 6 000 ans BP étant la date traditionnellement admise de la fin de l'Optimum humide holocène. Le paléochenal/paléoméandre étudié en coupe T₂₋₂ permet de suivre à la fois l'incision verticale graduelle du wadi Dishshash et les phases d'alluvionnement postérieures. La migration latérale du wadi Dishshash et son incision progressive se font après $5\,875 \pm 415$ ans BP, durant une phase plus aride. Malgré une reprise des dynamiques de dépôts vers $5\,560 \pm 420$ ans BP, les phases d'accumulations sont limitées à la construction d'un lobe de convexité durant la formation du méandre et les écoulements à l'origine de cette édification sont moins réguliers. En atteste une malacofaune plus rare, voire absente des unités du paléochenal et des croûtes gypseuses comprises dans les US 9 et 10, indiquant des phases d'assèchement qui pour autant ne correspondent pas à l'établissement brutal des conditions climatiques actuelles. En effet, un autre paléochenal étudié sur la coupe T₂₋₃, dont la base est datée de $5\,090 \pm 30$ ans BP, atteste d'une reprise tardive des écoulements, en plein âge du bronze ancien, et d'un colmatage final de la terrasse, caractérisés par des dépôts de chenaux en tresses, aux écoulements instables et aux migrations latérales importantes.

Le niveau T₃, daté de 2 620 ± 210 ans BP, présente des faciès sédimentaires caractéristiques des dépôts torrentiels. Ces accumulations peuvent à la fois être le fruit d'une légère reprise des écoulements initiés par des précipitations plus fréquentes aux alentours de 2 620 ± 210 BP ou être la trace d'un ancien évènement climatique de forte intensité. Elles interviennent après une période d'aridité prononcée débutant vers 3 000 ans BP. Elle est, par ailleurs, associée à des phases d'accumulations éoliennes et de développement dunaire. Des crises détritiques similaires, datées entre 2 650 et 2 150 ans BP, ont aussi été identifiées dans les archives fluviales du bassin d'Hadramawt, au Yémen et, dans le cas du wadi Masila, ont pu aussi être associées à des activités anthropiques. Pour le bassin du wadi Dishshah, les niveaux d'accumulation détritique à l'origine de la construction de la terrasse ne peuvent pas être mis en lien avec des forçages anthropiques (absence de vestiges protohistoriques). Le rôle des variations du couvert végétal dans la potentielle déstabilisation des versants n'a pas pu être défini.

Différents modes d'occupation du territoire à Adam et aux alentours de la cluse, du Paléolithique à l'âge du bronze : de la recherche de la matière première à celle de la ressource en eau

Ces données sont à mettre en parallèle avec l'évolution des modes d'occupation du territoire et la répartition des sites archéologiques des environs de la cluse d'Adam. L'étude de la distribution diachronique des sites permet de visualiser l'abandon progressif de certains territoires en fonction de la raréfaction de cette ressource et de l'appauvrissement de certains milieux faiblement anthropisés. Elle a également permis de comparer les évolutions paléoclimatiques et les modifications culturelles ou sociales pour valider ou invalider des effets de causalité ou des parallélismes entre évolution des modes de vie et variations climatiques.

Des logiques d'implantations guidées par la recherche de la matière première pour l'outillage durant les périodes préhistoriques

Les implantations paléolithique et néolithique du sufrat Dishshah et de jebel al-Aluya sont toutes deux situées dans des environnements arides aujourd'hui secs et inhospitaliers. Ces populations de chasseurs-cueilleurs (éleveurs pour la fin du Néolithique), aux stratégies de subsistances assez opportunistes, s'implantaient régulièrement à proximité immédiate des ressources nécessaires à la vie du groupe. Cependant, les secteurs qui ont été occupés par les populations préhistoriques ne présentent aucun avantage hydrologique (en comparaison avec les cluses) et sont même particulièrement contraignants. L'occupation de tels milieux par les premières communautés humaines ne s'envisage donc qu'à la

faveur de conditions climatiques plus humides (phases humides du Pléistocène ou optimum climatique holocène). La ressource en eau ne semble donc pas être le premier facteur d'implantation, surtout si celle-ci était mieux répartie dans le temps et dans l'espace du fait des conditions climatiques plus clémentes. Ce sont d'autres motivations de proximité qui ont partiellement amené les humains à occuper ces espaces, comme la recherche d'une matière première spécifique pour l'outillage. En effet, au Sufrat Dishshah, un chert gris, patinant marron, à grain fin, est présent de manière très abondante sous forme de veines ou de nodules. Les milliers d'outils retrouvés sur le site du Sufrat Dishshah sont exclusivement réalisés à partir de cette roche. Le site néolithique de jebel al-Aluya fait, lui, face à la formation Barzaman, riche en chert rouge Hawasina, d'apparence lustrée, et l'outillage néolithique utilise, de son côté, cette ressource de manière quasi exclusive. Le changement de matière première entre le Paléolithique et le Néolithique, et donc de motivations de proximité, peut expliquer la présence anecdotique (voir l'absence) de sites néolithiques dans les collines du sufrat Dishshah, pourtant humides durant l'Optimum climatique holocène comme l'indiquent les datations effectuées sur T2. Finalement, les foyers néolithiques découverts à Adam-Sud indiquent une occupation précoce du territoire de la cluse où l'on retrouve une forte concentration de sites de l'âge du bronze.

**La mise en place des territoires oasisien durant l'âge du bronze :
une occupation des cluses précédant l'installation des conditions arides**

Bien qu'aucun vestige d'habitat Hafit n'ait été découvert à proximité des nécropoles – ce qui est habituel en Arabie orientale pour cette période –, la longue durée d'occupation des sites funéraires, leur localisation près de zones propices à la vie et la volonté d'enracinement dans un territoire permettent de suggérer une étape de sédentarisation et de début d'agriculture oasisienne, éléments qui ont été observés sur plusieurs sites intramontagnards⁷⁶ (Hili, Bat) ou littoraux (site HD6, Ras-al-Hadd, sultanat d'Oman). Les enregistrements hydrosédimentaires du wadi Dishshah permettent d'attester que les environs d'Adam ont bénéficié de conditions climatiques plus humides au début de l'âge du bronze vers 5040 BP, soit autour de 3090 av. J.-C. Ces conditions ont pu favoriser la présence de points d'eau temporaires à semi-temporaires

⁷⁶ Stéphane Desruelles *et al.*, « Evidence for Early Irrigation at Bat (wadi Sharsah, northwestern Oman) before the Advent of Farming Villages », art. cit. ; Sophie Méry, « The First Oases in Eastern Arabia: Society and Craft Technology, in the 3rd Millennium BC at Hili, United Arab Emirates », *Revue d'éthnoécologie*, n° 4, 2013, p. 2-17 ; Christopher Thornton, Charlotte M. Cable & Gregory L. Possehl, « Three Seasons at Kasr al-Khafaji (Tower 1146) at Bat, Oman », dans Denny Frenz & Maurizio Tosi (dir.), *South Asian Archaeology 2007, Proceedings of the 19th Meeting of the European Association of South Asian Archaeology (Ravenna, Italy, 2-6 July 2007)*, t. 1, Prehistoric Periods, Oxford, Archaeopress, p. 255-268.

et le développement des activités humaines dans des terrains aujourd'hui abandonnés. Par exemple, la nécropole du jebel Qarah, une des plus importantes de la région, connaît son apogée pendant la période Hafit, et est par la suite progressivement délaissée. Cependant, les territoires des cluses d'Adam et de Ras-al-Jebel commencent eux aussi à être densément occupés dès la période Hafit. Les logiques spatiales du mode de vie oasien actuel semblent donc s'initier durant un âge du bronze ancien humide et ne constituent pas une réponse adaptative à l'installation des conditions arides.

La plupart des implantations perdurent durant la période Umm an-Nar, même si les tombes ont été retrouvées en moins grand nombre. Elles se concentrent progressivement au niveau des cluses. La fouille de la tombe 2000 et la découverte de pots, importés d'Iran et du Baluchistan, permettent d'inscrire Adam et ses environs au sein d'un réseau commercial large malgré la position marginale de cette oasis située aux portes du désert. Adam semble donc s'être développée comme les autres sites de la culture Umm an-Nar.

Les tombes de la période Wadi-Suq (4 000-3 600 ans BP) sont moins nombreuses, moins bien réparties et se concentrent au niveau des cluses. Ce retranchement net des sites vers les territoires les plus humides peut être associé à l'installation des conditions arides. En dépit de l'assèchement, on peut suggérer que l'oasis d'Adam était toujours en fonction, ou du moins que l'eau était encore assez présente pour qu'il soit possible d'y vivre de façon sédentaire, ce qui n'était plus le cas au jebel Qarah. Les tombes Wadi-Suq sont, à Adam, concentrées dans les mêmes lieux et forment aussi des nécropoles. Le changement culturel profond caractérisant la période Wadi-Suq est visible en particulier par l'abandon des pratiques d'inhumations collectives et un renouveau des productions matérielles. Ces caractéristiques ne sont observables que pour le tout début de l'époque Wadi-Suq, date indiquée par le mobilier découvert dans les tombes fouillées⁷⁷. Pour la fin de l'époque Wadi-Suq (3 800-3 600 ans BP) et pour le bronze récent (3 600-3 300 ans BP), les données manquent. Néanmoins, l'occupation d'Adam durant la période Wadi-Suq permet de nuancer le constat selon lequel cette période coïnciderait avec un retour brutal au nomadisme, en réaction aux pics d'aridité enregistrés dans tout le Moyen-Orient. Les sites d'Adam et leur répartition pour cette période indiquent, au contraire, une continuité dans l'occupation de l'espace oasien, en dépit de conditions arides. L'utilisation de réseaux d'irrigation souterrains n'est pas encore attestée pour

77 Guillaume Gernez, « Mission archéologique française d'Oman, Rapport de campagne 2013-2014 », art. cit. ; Guillaume Gernez, Jessica Giraud, *et al.*, « Report of the seventh campaign of the French Archaeological Mission of Adam (Oman) », rapport interne pour le Ministry of Culture and Heritage omanais, non-publié.

ces périodes⁷⁸. Elle l'est en revanche pour l'âge du fer, vers 3 000 ans BP. C'est à cette période qu'Adam est réoccupée, période qui coïncide avec l'adoption de la technique du *falaj* et la mise en place des routes caravanières dues à la domestication du dromadaire qui rend à Adam sa fonction de ville carrefour.

CONCLUSION

266 L'emboîtement et la géométrie des formes fluviales dans les plaines alluviales d'Adam attestent d'une raréfaction des écoulements, de leur concentration au niveau des cluses à l'Holocène et d'une remontée progressive des zones d'accumulations alluviales en amont depuis au moins le MIS 7. Les enregistrements hydrosédimentaires du wadi Dishshah ont permis d'affiner la chronologie climatique holocène dans le secteur d'Adam, avec des résultats qui peuvent raisonnablement être étendus aux piémonts sud des monts Hajar. Ces enregistrements témoignent d'une reprise des conditions humides à l'âge du bronze dans des secteurs non avantagés sur le plan orographique, car situés en périphérie des monts Hajar.

Le croisement des données géographiques, géomorphologiques et archéologiques à l'échelle de la région de l'arche de Salekh et de ses environs débouche sur des conclusions nouvelles concernant l'apparition des oasis en Oman. Si l'adoption d'un mode de vie sédentaire à l'âge du bronze ainsi que la pratique de l'agriculture sont parfois présentées comme des réponses adaptatives des sociétés confrontées à l'aridification du climat, le cas de la cluse d'Adam suggère d'apporter quelques nuances à ce modèle, à l'échelle des évolutions survenues au cours de l'âge du bronze. En effet, l'occupation humaine semble s'être stabilisée dans la cluse d'Adam dès la période Hafit et avoir perduré jusqu'à la première partie de la période Wadi-Suq, période de crise de la fin III^e millénaire av. J.-C. généralement associée à des épisodes arides, à un effondrement de la société oasienne Umm an-Nar, et à un retour au nomadisme. Le cas de l'occupation protohistorique de la cluse Adam propose un bon exemple de continuité d'occupation territoriale sur plusieurs centaines d'années, initiée durant le début de l'épisode humide de l'âge du bronze et continuant après les pics d'aridité de la fin du III^e millénaire av. J.-C. Si la concentration des sites au niveau d'Adam suggère un repli vers des zones refuges dès la période Umm an-Nar, la mise en place des territoires oasiens se réalise quant à elle de manière précoce, avant l'installation des conditions arides. Elle résulte

78 À l'exception d'un potentiel « proto *falaj* » à Bahla qui remonterait à 3 000 av. J.-C. mais dont la datation est soumise à la critique (voir Julien Charbonnier, « Groundwater Management in Southeast Arabia from the Bronze Age to the Iron Age: a Critical Reassessment », art. cit.).

donc plus d'un choix préalable initié par les sociétés souhaitant optimiser ou valoriser un milieu déjà favorable, eu égard aux compétences techniques de l'époque, que d'une stratégie de subsistance adaptative purement alignée sur les variations climatiques et environnementales. Ces évolutions précoces vers des modes de vie sédentaires et agricoles viennent conforter les découvertes récentes réalisées à Bat, notamment l'identification des premières formes de contrôle des écoulements dès la fin du Néolithique.

La plaine alluviale d'Adam est située dans le piémont sud des Montagnes Hajar, aux frontières du désert du Rub 'al-Khali. Elle est caractérisée par une oasis traditionnelle logée dans la cluse d'Adam, et par de nombreux sites archéologiques découverts par la Mission Archéologique Française d'Adam depuis 2007. Les vestiges témoignent d'une occupation humaine plus ou moins continue depuis le Paléolithique jusqu'à l'Âge du Fer.

268 L'étude de la répartition spatio-temporelle des sites archéologiques d'Adam met en évidence des périodes d'expansion du peuplement, de densification localisée dans des territoires restreints ou, au contraire, des phases d'abandon partiel ou total de certains secteurs. Ces variations dans les modes d'occupation du territoire et les stratégies de subsistance sont généralement appréhendées de manière synchrone avec les fluctuations climatiques de la fin du Quaternaire, qui ont joué un rôle décisif sur les potentialités de certains espaces et sur la ressource en eau. Par exemple, l'apparition du mode de vie sédentaire oasisien à l'Âge du Bronze, au détriment du nomadisme, le développement des systèmes d'irrigation gravitaire (les *falajs*) et des pratiques agricoles sont traditionnellement associés à l'installation des conditions arides actuelles après les épisodes pluvieux holocènes.

Le présent article propose une comparaison entre l'évolution diachronique de la répartition des sites archéologiques, les dynamiques géomorphologiques et hydro-climatiques de la région d'Adam, et les données paléoenvironnementales publiées à l'échelle de la Péninsule arabique. Des reconstitutions géomorphologiques et hydro-climatiques sont avancées à partir d'une cartographie géomorphologique et de l'étude des terrasses fluviales de deux secteurs, la cluse d'Adam et le Wadi Dishshash. Les premières datations obtenues ont révélé l'importance morphogénique de l'Optimum humide Holocène, et surtout l'influence d'une reprise humide plus tardive, encore peu prise en compte dans la bibliographie, active au moins jusqu'à 5040 BP, soit au milieu de l'Âge du Bronze Ancien (Hafit). La répartition des sites archéologiques atteste d'une phase de repli vers les secteurs oasisiens antérieure à cette date (premières occupations au Néolithique), qui aurait donc été réalisée au cours de périodes climatiquement plus favorables. L'apparition des oasis ne constituerait pas uniquement une réponse à l'installation de conditions arides. L'Âge du Bronze récent, la période Wadi Suq, associée parfois à un effondrement des sociétés humaines soumises aux pics d'aridité de la fin du III^e millénaire, est à Adam bien représenté malgré une réelle concentration des sites au niveau de la cluse où les ressources en eau sont relativement plus abondantes.

The Adam alluvial plain is located in the southern foothills of the Hajar Mountains, on the borders of the Rub al-Khali desert. A traditional oasis housed in a gorge, the Adam, and numerous archaeological sites discovered since 2007 by the French Archaeological Mission of Adam, are its defining traits. The remains point to a more or less continuous human presence since the Paleolithic and until the Iron Age.

The study of the spatial and temporal distribution of the Adam archaeological sites highlights periods of expansion of settlement, of localized densification in small areas or, conversely of partial or total desertion phases in some sectors. These variations in land use patterns and subsistence strategies are generally considered synchronously with climatic fluctuations of the late Quaternary, which played a decisive role on the potentiality of certain areas and of water resources. For example, the emergence of sedentary oasis lifestyle in the Bronze Age, to the detriment of nomadism, and the development of surface irrigation systems (falajs) and of farming practices have traditionally been associated with the installation of the current dry situation after the wet Holocene episodes.

This article presents a comparison between the diachronic evolution of the distribution of archaeological sites, the geomorphological and hydro-climatic dynamics of the Adam region, and paleo environmental data published throughout the Arabian Peninsula. Geomorphological and hydro-climatic reconstructions are achieved based on a geomorphological mapping and of a study of the stream terraces of two sectors, the Adam gorge and the Wadi Dishshash. The first datations revealed the morphogenetic importance of the wet Holocene Optimum and especially the influence of a later water resurgence active at least until 5040 BP, the middle of the Early Bronze Age (Hafit), a period more often than not ignored by researchers. The distribution of archaeological sites indicate a withdrawal towards the oasis areas prior to that date (first occupations in the Neolithic) which would therefore have happened during periods with a more favorable climate. The appearance of oases would not be a reaction to the installation of dry conditions. The Late Bronze Age, the Wadi Suq period, sometimes associated with a collapse of human societies subject to the peaks of aridity of the late third millennium, is well represented in Adam despite an actual concentration of sites around the gorge, where water resources are relatively abundant.

TABLE DES MATIÈRES

Milieux extrêmes et critiques face au changement climatique. Climats, Territoires, Environnement Marianne Cohen & Christian Giusti	9
Encadré. Climat : étymologie, signification locale et questions autour d'un mot.....	14

PREMIÈRE PARTIE

MILIEUX CRITIQUES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Hydrologie et production agricole dans le nord-ouest de l'Amazonie Josyane Ronchail, Tatiana Schor, Jhan Carlo Espinoza, Manon Sabot, Heitor Pinheiro, Percy Gomez, Guillaume Drapeau, Véronique Michot, Naziano Filizola, Jean-Loup Guyot, Benjamin Sultan, Jean-Michel Martinez.....	27
Changement climatique et viticulture Hervé Quénel	57
Perception des aléas côtiers. Le cas de la société insulaire oléronaise (France) David Chionne.....	79
Utilité d'un diagnostic systémique pour appréhender l'adaptabilité d'un système territorial : application à la Camargue sous la menace de la montée des eaux Sophie Lizard & Christine Voiron-Canicio	105

DEUXIÈME PARTIE

MILIEUX EXTRÊMES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Changements climatiques et agriculture : impacts et adaptation en Afrique de l'Ouest Benjamin Sultan, Richard Lalou, Laurent Kergoat, Bénédicte Gastineau & Théo Vischel ...	139
Impacts de la variabilité climatique sur la démographie des rennes en Laponie suédoise : de l'intérêt du calendrier pastoral Romain Courault, Marianne Cohen, Sonia Saïd & Josyane Ronchail	155

Modélisation de l'impact du changement climatique sur trois aires de distribution végétales dans le Mercantour Matthieu Vignal & Julien Andrieu.....	195
---	-----

TROISIÈME PARTIE
LONGUE DURÉE QUATERNAIRE

Occupations humaines et dynamiques environnementales du Paléolithique à l'âge du bronze, secteur d'Adam, sultanat d'Oman. Conséquences régionales de la variation du signal hydroclimatique sur le long terme Tara Beuzen-Waller, Guillaume Gernez, Jessica Giraud, Stéphane Desruelles, Anaïs Marrast, Stéphanie Bonilauri, Marion Lemée, Amir Beshkani, Julien Guery, Raphaël Hautefort & Éric Fouache	225
Conclusion Laurence Eymard.....	271

APPENDICE

Changement climatique et ressource en eau en Himalaya. Enquêtes auprès de villageois dans quatre unités géographiques du bassin de la Koshi, Népal Olivia Aubriot, Joëlle Smadja, Ornella Puschiasis, Thierry Duplan, Juliette Grimaldi, Mickaël Hugonnet & Pauline Buchheit	273
Rôle du climat et de l'agriculture dans l'étiologie de la maladie de Kawasaki Joseph Boyard-Micheau, Xavier Rodó, Roger Curcoll, Joan Ballester & Josep Anton Morgui.....	274
Changement climatique et occupation humaine en Arabie du Sud au cours du Quaternaire récent Anne-Marie Lézine.....	275
Reconstitution des interactions entre l'évolution climatique et l'anthropisation de la vallée d'Ambato (nord-ouest de l'Argentine) depuis 2000 ans Bernarda Marconetto.....	276
L'impact des crises hydroclimatiques passées sur la gestion de l'eau en zones urbaines : le cas de Marseille aux XVIII ^e et XIX ^e siècles Nicolas Maughan.....	277
L'observatoire lyonnais du climat : premiers retours sur une approche pluridisciplinaire d'adaptation au changement climatique Dominique Soto, Florent Renard, Emmanuel Thimonier-Rouzet, Frédéric Kuznik, Luce Ponsar, Corinne Hooge, Lionel Soulhac, Christina Aschan-Leygonie, Alain Brisson, Ph. Mary & D. Saulnier	278