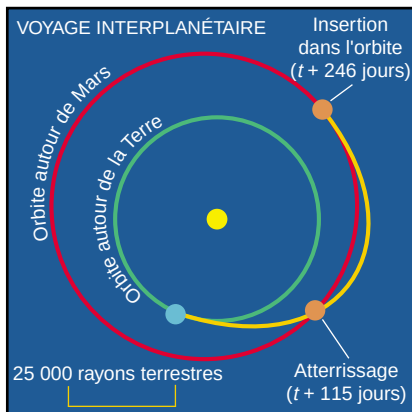
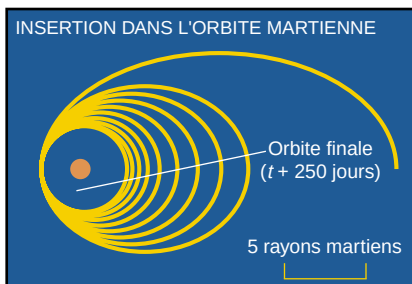


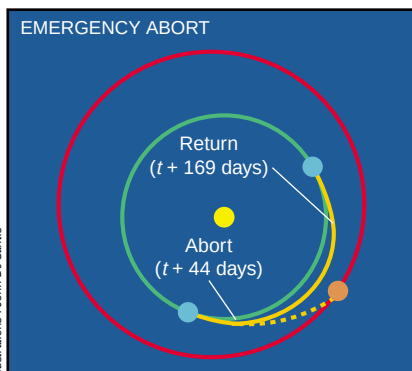
9. AU COMMENCEMENT DE SON VOYAGE vers Mars, un vaisseau doit acquérir de la vitesse pour s'arracher à l'attraction terrestre. Le moteur VASIMR a alors une poussée maximale et une impulsion spécifique de 3 000 secondes.



Contrairement aux fusées à propulsion chimique, une fusée équipée d'un moteur VASIMR peut changer de régime : elle atteint une impulsion spécifique de 30 000 secondes, 75 jours après le décollage, puis elle ralentit.



Après s'être rapproché de Mars pour larguer les astronautes, le vaisseau spatial rejoint progressivement une orbite autour de la planète rouge.



Une fusée équipée d'un moteur VASIMR aurait suffisamment d'autonomie pour revenir vers la Terre si un incident se produisait au début du voyage.

Pour réduire ce phénomène nuisible, nous étudions actuellement une technique de pompage radial des atomes neutres froids avant l'étagé de chauffage. Une fois pompés, les atomes froids sont réinjectés en aval du col de la tuyère, où l'énergie cinétique désordonnée des ions a déjà été transformée en une énergie cinétique directionnelle. L'échange de charge facilite le détachement du plasma de la tuyère.

Bien que les antennes hélicoïdales puissent ioniser presque tous les gaz, ceux qui sont constitués d'éléments légers, tels l'hydrogène ou l'hélium, sont plus intéressants. En effet, le chauffage ionique par résonance cyclotron est facilité dans les gaz légers dont les fréquences cyclotron, pour des champs magnétiques modérés (de l'ordre de un tesla), sont compatibles avec les techniques radio existantes pour les hautes fréquences. L'hydrogène étant l'élément le plus abondant de l'Univers, les vaisseaux spatiaux trouveront du carburant presque partout. La production de champs magnétiques intenses est une difficulté que nous cherchons à surmonter. Nous étudions de nouveaux supraconducteurs à haute température qui contiennent des oxydes de bismuth, de strontium, de calcium et de cuivre. Nous prévoyons d'utiliser de l'hydrogène à très basse température pour les refroidir.

Aujourd'hui, l'essentiel des recherches que nous menons sur VASIMR est concentré sur le VX-10. Ce prototype ou l'un des modèles dérivés sera bientôt testé dans l'espace. Un essai est prévu pour 2004 lorsqu'un vaisseau spatial doté d'un moteur de dix kilowatts fonctionnant à l'énergie solaire partira étudier les ceintures de radiation de la Terre (ceintures de van Allen).

Un système VASIMR sera aussi employé pour neutraliser la traînée atmosphérique de la station spatiale internationale. Les résultats récents et les progrès rapides dans la miniaturisation du matériel radio augurent bien du succès de ces premiers tests dans l'espace.

La véritable mise à l'épreuve de VASIMR se fera toutefois au cours du voyage vers Mars. Les études en cours prévoient un système VASIMR de 12 mégawatts. Le vaisseau qui accomplira cette mission suivra pendant quelque 30 jours une trajectoire de libération en spirale avant de commencer un voyage interplanétaire de 85 jours (deux fois plus rapide qu'avec une fusée à propulsion chimique). Pendant cette traversée, la fusée accélérera pendant une grande partie du voyage, puis ralentira à l'approche de Mars. Un module habité se détachera du vaisseau pour aller se poser sur Mars à l'aide de fusées chimiques, tandis que le vaisseau interplanétaire crociera non loin de la planète rouge, pendant quatre mois, suivant une trajectoire «économe». Afin de garantir la sécurité de l'équipage, il sera possible d'abandonner rapidement la mission en utilisant le mode «forte poussée du VASIMR. Le champ magnétique et l'hydrogène feraient écran aux rayonnements cosmiques, protégeant l'équipage.

La fusée VASIMR pourrait n'être que le précurseur des fusées dont certains d'entre nous rêvent : les moteurs à fusion nucléaire. Leurs puissances iraient de 10 à 100 gigawatts. Bien sûr, nous sommes loin de maîtriser la fusion nucléaire, mais les progrès sont constants. Sans doute les générations futures utiliseront-elles cette énergie pour voyager rapidement vers les planètes lointaines.

Franklin CHANG DÍAZ, docteur en physique des plasmas de l'Institut de technologie du Massachusetts, a participé à cinq missions spatiales, notamment au lancement de la sonde *Galileo* vers Jupiter et au dernier accostage entre la navette et la station spatiale russe *Mir*.

Gabriel GIANNINI, *Electrical Propulsion in Space*, in *Scientific American*, vol. 204, n° 3, pp. 57-65, mars 1961.

Ernst STUHLINGER, *Ion Propulsion for Space Flight*, McGraw-Hill, 1964.

F.R. CHANG DÍAZ et al., *The Develop-*

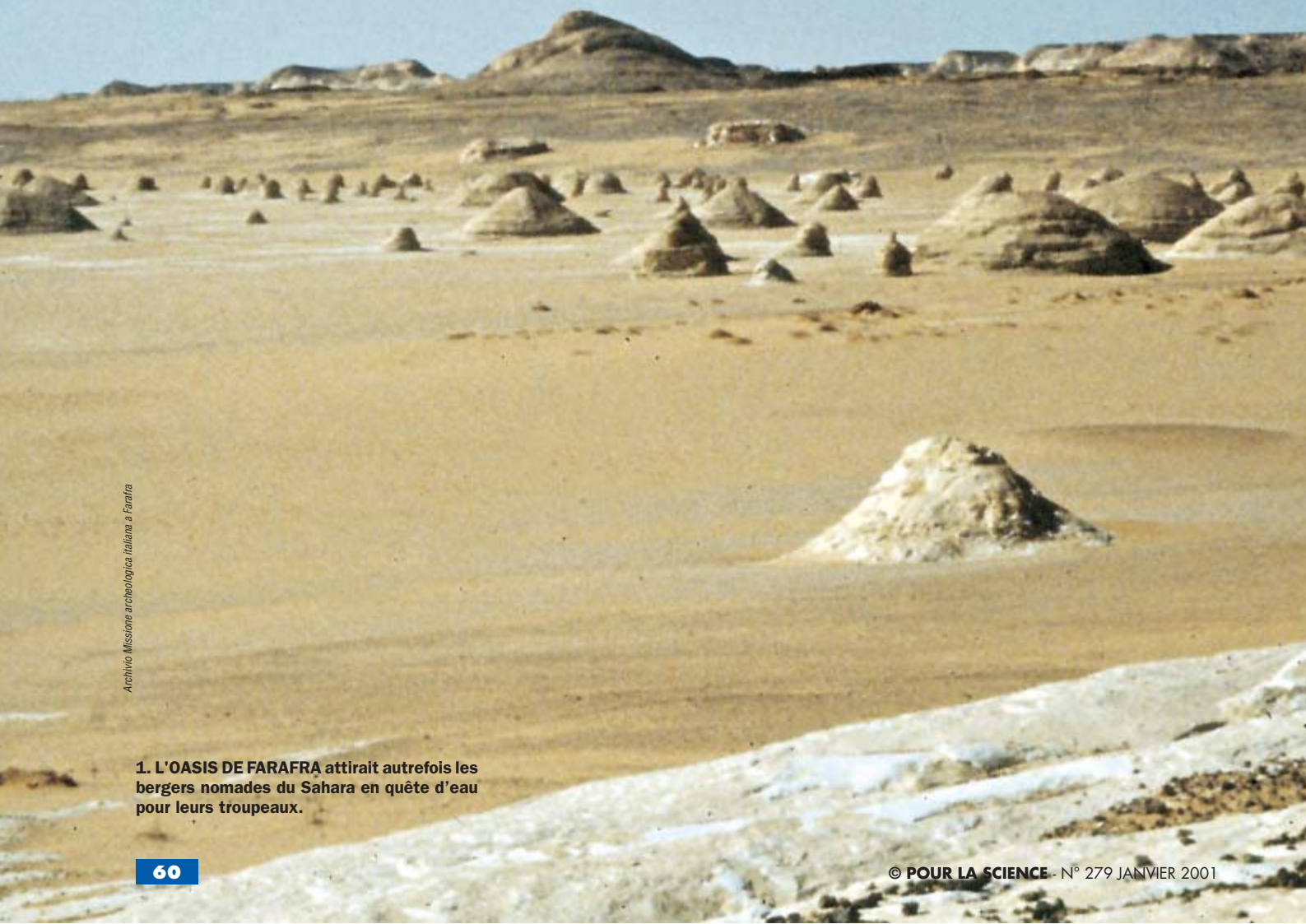
ment of the VASIMR Engine, in *Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*, papier 99-102, Turin, Italie, 13-17 septembre 1999. Texte disponible à l'adresse suivante : spaceflight.nasa.gov/mars/technology/propulsion/aspl

F.R. CHANG DÍAZ, J.P. SQUIRE, R.D. BENGTON, B.N. BREIZMAN, F.W. BAITY et M.D. CARTER, *The Physics and Engineering of the VASIMR Engine*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, papier 2000-3756, 17-19 juillet 2000.

Les premières sociétés d'Égypte

BARBARA BARICH • ENRICO BARICH

Les habitants d'un Sahara humide et verdoyant ont été les premiers agriculteurs. Quand la sécheresse les a chassés, ils ont migré vers le Nil, apportant leur savoir-faire à ce qui allait devenir la civilisation agricole égyptienne de la vallée du Nil.



Archivio Missione archeologica italiana a Fara Fara

1. L'OASIS DE FARAFRA attirait autrefois les bergers nomades du Sahara en quête d'eau pour leurs troupeaux.

Comment les premières sociétés d'Égypte se sont-elles formées? D'après les fouilles de la mission de l'Université de Rome dans l'oasis de Farafra, l'agriculture serait apparue au Sahara. Elle aurait entraîné la sédentarisation des populations qui la pratiquaient. Toutefois, avec l'aridité croissante, celles-ci auraient migré vers les oasis, qui seraient devenues des centres culturels à l'origine du développement de l'agriculture dans la vallée du Nil.

Il y a 30 ans, on considérait que la civilisation égyptienne était née de contacts avec le Proche-Orient. Cependant, dans les années 1970, des archéologues ont suggéré que les habitants des régions sahariennes, aujourd'hui désertiques, avaient contribué à l'apparition de l'agriculture dans la vallée du Nil. Les fouilles dans ces régions,

notamment lors de la construction du barrage d'Assouan entre 1965 et 1975, ont étayé cette hypothèse.

À partir des années 1980, une nouvelle approche archéologique est apparue : on a essayé de reconstituer l'environnement des populations étudiées afin de comprendre leur évolution. Les archéologues se sont intéressés au climat passé du Sahara et se sont aperçus que pendant l'Holocène (les 8 000 dernières années avant notre ère), des périodes humides avaient alterné avec des périodes de sécheresse. Ces changements ont transformé l'environnement des populations sahariennes et modifié les ressources en eau. Pour survivre, elles ont colonisé de nouvelles zones géographiques et adopté d'autres stratégies alimentaires, qui ont structuré leur économie et leur organisation sociale.

La reconstitution de l'environnement

Aujourd'hui, grâce à l'étude des pollens et des sédiments, la reconstitution du climat passé progresse, fournissant de nouveaux indices aux archéologues. Les épisodes humides les plus importants ont eu lieu entre -7 000 et -6 600 et entre -4 000 et -2 500. La comparaison de ces dates avec l'âge des vestiges sahariens, que nous avons datés au carbone 14 ou avec d'autres éléments radioactifs, montre que les variations climatiques ont coïncidé avec des innovations culturelles. En outre, les datations des vestiges confirment que ces innovations se sont propagées d'Ouest en Est.

Lors des fouilles qu'ils ont menées dans la vallée du Nil et en Nubie, les archéologues ont étudié comment les





2. DANS LES VESTIGES DE FOYERS de l'oasis de Farafrā, on a retrouvé des restes de grains de millet et de sorgho carbonisés, qui prouvent l'existence d'une forme d'agriculture, dès 5 000 avant notre ère.



3. À MESURE DE LA DÉSERTIFICATION du Sahara, les oasis, véritables réservoirs d'eau, commencent à accueillir des populations venues de l'Ouest. Elles deviennent des centres culturels importants.

sociétés sahariennes produisaient leur nourriture : ils ont recensé plusieurs types d'économie distincts entre la fin du Pléistocène (de -18 000 à -14 000) et le début de l'Holocène (vers -8 000). Pour comprendre comment ces économies ont émergé, le champ des fouilles a été élargi au Sahara entier, c'est-à-dire à la Libye, à l'Algérie, au Mali, au Niger, au Tchad et au Soudan. La majorité des vestiges laissés par l'homme datent de la fin du Pléistocène ou du début de l'Holocène, quand ce vaste territoire offrait un cadre de vie idéal, en termes de climat et d'environnement. L'eau y était abondante. Pour interpréter l'évolution des sociétés sahariennes, nous avons adopté le «modèle écologique», qui place le facteur environnemental au premier plan dans l'élaboration des identités culturelles. Ainsi, ces conditions climatiques clémentes seraient à l'origine de l'entrée des sociétés de toute la région dans une phase transitoire, qui a précédé l'apparition d'une économie de production. Pendant cette phase, les populations utilisaient des ressources alimentaires variées : elles pratiquaient aussi bien la chasse et la pêche que la cueillette.

La civilisation de l'eau

Ces études ont confirmé l'indépendance des centres culturels sahariens et de la vallée du Nil par rapport à ceux du Proche-Orient, qui sont plus anciens. Pendant l'Holocène, l'eau était abondante dans tout le Sahara. Les sociétés se sont organisées de façon à exploiter cette ressource au maximum. De -8 000 à -5 000, leur économie était surtout régie par la pêche. Puis, la chasse et la pêche sont devenues les deux activités principales. Elles ont conditionné la production d'outils en os et en roches microlithiques (des roches semi-cristallines dans lesquelles les petits cristaux sont noyés dans une masse vitreuse) pour fabriquer des harpons. L'habitat a progressé, automatisant la sédentarisation.

La céramique est apparue vers -8 000 sur le continent africain. Au Sahara, les plus anciennes pièces, retrouvées à Tagalagal, au Niger, et à Ti-n-Torha, en Libye, datent respectivement de -7 330 et -7 080 environ. Par la variété des sujets représentés, elles témoignent de la maîtrise d'exécution et de l'imagination des artisans qui les ont réalisées. Pourquoi les popu-

lations sahariennes ont-elles ressenti la nécessité de fabriquer des récipients en céramique? Répondaient-ils à une exigence fonctionnelle, liée à la transformation des habitudes alimentaires? Exprimaient-ils des traits culturels associés à cette nouvelle matière? Au début, l'utilisation de ces nouveaux récipients devait être réservée à certains usages. Leur fabrication elle-même devait être chargée d'une signification particulière. Dans des sociétés où la magie et la religion imprégnaient tous les aspects de la vie quotidienne, le plus commun des instruments pouvait avoir un sens qui allait bien au-delà de sa simple utilisation pratique. Au fil du temps, ces récipients ont servi à contenir des céréales sauvages et peut-être du poisson séché.

Pendant que les sociétés sahariennes se structuraient et se sédentarisèrent, que s'est-il passé dans la vallée du Nil? À la fin du Paléolithique (vers -13 000), les communautés qui vivaient entre la première et la deuxième cataracte (*voir la figure 3*) utilisaient déjà leur territoire de façon saisonnière et planifiée. Au début de la saison des pluies, en juin, elles se consacraient à la pêche sur le fleuve, qu'elles abandonnaient quand les terres étaient inondées, entre juillet et septembre, pour chasser de petits animaux jusqu'aux limites du désert. En automne et pendant la saison sèche, d'octobre à février, elles revenaient vers le fleuve pour cueillir des tubercules et diverses plantes sauvages sur les dunes qui avaient retenu l'humidité de l'été. En même temps, elles reprenaient leurs activités de chasse et de pêche dans les bassins permanents du Nil, en attendant le retour des pluies.

Au début de l'Holocène, cette utilisation des plantes comme ressource alimentaire, qui a joué un rôle déterminant dans la planification annuelle des stratégies alimentaires des anciennes populations de Kubbaniya et de Kom Ombo, disparaît complètement dans la vallée du Nil. Les inon-

4. LES VARIATIONS CLIMATIQUES semblent avoir été déterminantes dans l'évolution des sociétés sahariennes. Avec la sécheresse, l'eau se fait rare : les cours d'eau deviennent saisonniers, tel celui de Ouadi Auis, dans le massif de l'Acacus, en Libye (*en haut*). Resistent les sources des massif montagneux, telle celles de l'Aïr, au Niger (*au milieu*). Les habitants du Sahara ont aussi recours au forage de puits pour atteindre une nappe d'eau souterraine qui jaillit, telle celle de Aïn Galaka, au Tchad (*en bas*).



Gianfranco Catana



Massimo Baisrocchi



Massimo Baisrocchi

dations postglaciaires en sont probablement la cause.

En revanche, l'étude des sociétés du Sahara égyptien a révélé que, dans certains endroits, elles connaissaient et exploitaient diverses espèces botaniques de la famille du millet et du sorgho. Ces sociétés cultivaient les variétés sauvages de ces espèces. Même si elles ne les avaient pas encore domestiquées, elles savaient comment ces plantes se reproduisent et quand elles arrivent à maturité. Ces connaissances ont été nécessaires à l'établissement de l'économie de production qui a suivi. Nos fouilles confirment que les plantes constituaient une part importante du

régime alimentaire des populations sahariennes, notamment dans le désert occidental égyptien, mais aussi plus à l'Ouest, dans le Sahara libyen.

La migration des populations sahariennes

Les vestiges que nous avons retrouvés dans les oasis égyptiennes illustrent le lien qu'elles ont tissé entre le Sahara et la vallée du Nil. Contrairement à ce que l'on pensait, les populations sahariennes ont été les premières à atteindre cette vallée, avant celles du Proche-Orient. Elles se sont mélangées avec les populations des oasis, puis ont continué leur migration vers la vallée du Nil, où elles ont contribué à la naissance de l'agriculture à la fin du Néolithique et pendant la période pré-dynastique.

Dans la zone désertique, à mi-chemin entre le Sahara et la vallée du Nil, nous avons mis en évidence un processus de sédentarisation fondé sur une exploitation croissante des espèces botaniques cultivables. Des grains de sorgho carbonisés, retrouvés dans un village proche de Farafra, à l'intérieur d'un foyer, ont fourni la preuve de l'existence d'une forme d'agriculture.

Les chasseurs protocultivateurs des oasis, notamment celles de Dakhla et de Farafra, étaient en contact avec les habitants du Sahara occidental, car ils avaient une industrie lithique semblable. Ces contacts semblent avoir été nombreux au début de l'Holocène. En revanche, pendant la période de sécheresse entre -5 000 et -4 000, on constate un abandon des oasis : leurs habitants se seraient déplacés vers la vallée du Nil.

Les modèles d'habitat et les attitudes économiques se seraient transformés sous l'influence du climat. Au début de l'Holocène, les précipitations intermittentes et imprévisibles auraient entraîné une plus grande mobilité des populations, qui se déplaçaient afin d'assurer leur subsistance. À l'inverse, entre -6 600 et -5 000 ans, les pluies fréquentes et régulières tout au long de l'année, auraient favorisé une sédentarisation et la reprise des activités de chasse. Le pastoralisme nomade commence à s'imposer entre -5 000 et -4 000, avec l'instauration d'un climat plus aride, entrecoupé d'épisodes humides de 50 à 100 ans. Ces changements climatiques ont forcé les bergers à se déplacer, de la zone saharienne vers les limites méridionales du Sahel et vers la vallée du Nil, plus prospères. Le dessèchement progressif du Sahara marque le début de l'histoire des oasis. Celles-ci, véritables réservoirs d'eau, commencent alors à jouer le rôle de relais dans la traversée du désert et deviennent des centres culturels importants.

L'élevage extensif, où les troupeaux changent périodiquement de pâturage afin de laisser la terre se reposer, apparaît dans les régions sahariennes, où de nombreuses communautés le pratiquent encore aujourd'hui. À l'époque, ce pastoralisme, en particulier le pastoralisme nomade, pallie le manque d'eau. Des activités de sélection des espèces sont suivies, vers -4 000, des premières domestications, dans les massifs du Hoggar, Acacus et Tibesti.

Selon le «modèle écologique» que nous avons retenu, l'instabilité des ressources alimentaires a entraîné leur diversification pendant les phases initiales du passage à une économie de production. Les produits de la cueillette de plantes sauvages ont probablement été mélangés à ceux de l'agriculture. Dans le cas des populations du Sahara, la diminution du



Illustrations : Archivio Missione archeologica Italiana a Farafra

5. LA MAJORITÉ DES OBJETS manufacturés découverts à Ti-n-Torha, dans le massif de l'Acacus, en Libye, datent de 7 000 à 6 500 avant notre ère, quand les conditions climatiques étaient favorables à l'homme : on y a retrouvé ces fragments de céramique avec décoration imprimée et cette spatule en os poli. En haut à gauche, cet outil de pierre est une meule qui servait au travail des graminées. Elle témoigne de l'intégration des ressources végétales dans l'alimentation des populations sahariennes.

nombre d'espèces sauvages liée à l'aridité croissante a entraîné la domestication du bœuf, précieux pour le travail de la terre et l'agriculture. L'environnement a ainsi déterminé le type d'économie et, par conséquent, la culture de ces peuples.

L'apport du monde pastoral

La diffusion de l'art rupestre montre que la culture pastorale était dominante dans tout le Sahara. Dans les massifs montagneux, des groupes ont réalisé des peintures et des gravures. Ces œuvres marquent sans doute les lieux où ils accomplissaient périodiquement des cérémonies pour renforcer leurs liens sociaux ou en créer de nouveaux (lors des mariages et des alliances) avec des représentants d'autres groupes. De fait, un groupe pastoral isolé n'aurait pas survécu longtemps. Ces liens entre groupes expliqueraient les vastes étendues de territoire où l'on retrouve des styles semblables. Ce geste artistique traduirait la volonté de nouer et de renforcer des alliances. L'art rupestre refléterait des liens sociaux au sein des populations du Sahara.

Le plus souvent, les peintures représentent des troupeaux. Les animaux domestiques semblent être le bien le plus précieux d'un point de vue social, même avant qu'ils ne constituent une part importante de l'alimentation des populations sahariennes : ils servaient peut-être de monnaie d'échange dans les négociations sociales.

Entre -5 000 et -4 000, des tumulus funéraires découverts au Sahara, les alignements mégalithiques et les cercles calendaires de la région de Nabta Playas attestent une hiérarchisation des sociétés sahariennes pastorales. Notamment, les sépultures de bœufs témoignent de la valeur idéologique et du statut social liés à cette ressource.

Pendant les périodes de sécheresse entre -5 000 et -4 000, puis vers -2 500 et au-delà, les oasis attirent de plus en plus les groupes pastoraux à la recherche d'eau pour leurs troupeaux. Ces bergers se rendent aussi dans la vallée du Nil à partir des oasis, développant les échanges entre les deux zones géographiques. Dans un second temps, avec l'aridité croissante, une partie de la population des oasis se déplace vers la vallée du Nil.



Gianfranco Cabrini



Archivio Missione archeologica italiana a Fara

6. AVEC L'ARIDITÉ CROISSANTE du Sahara (voir la vue du versant oriental du massif de l'Aca-cus, en Libye, en haut), les plantes sauvages qui constituaient une ressource alimentaire deviennent rares. Les habitants du Sahara utilisent l'eau des oasis pour cultiver des espèces, tel le sorgho, et ils domestiquent les bovins. Ces derniers apparaissent dans l'art rupestre, notamment à Uan Amil (en bas).

On pensait que l'agriculture prospère de la vallée du Nil avait été importée du Proche-Orient. En fait, pendant la phase aride de la fin de l'Holocène, de plus en plus d'habitants du désert se déplacent vers les zones riches en eau et apportent avec eux leurs outils agricoles et leur connaissance des rythmes de croissance et de maturation des plantes. Ce n'est que plus tard que les espèces

végétales égyptiennes, plus pauvres que celles du Proche-Orient, cédèrent la place aux espèces importées de Palestine puis de Syrie, quand les premières communautés du Fayoum, de Mérimdé et de Badari font de l'agriculture leur principale ressource économique. Néanmoins, l'agriculture, fondement de l'organisation de l'État égyptien, est née dans le Sahara, alors fertile.

Barbara BARICH est professeur d'ethnographie préhistorique africaine à l'Université de Rome. Enrico BARICH s'occupe du Forum de l'archéologie et de l'héritage culturel africains.

Barbara BARICH, *People, Water and Grains : The Beginnings of Domestication in the Sahara and the Nile Valley*, l'Erma di Breschneider, Rome (à paraître).

Barbara BARICH, *Archaeology and Envi-*

ronment in the Lybian Sahara, bar, International Series 368, Oxford, 1987.

F. WENDORF, R. SCHILD et A.E. CLOSE, *The Prehistory of Wadi Kubbaniya*, SMU, Dallas, 1989.

F. KLEES et R. KUPER, *New Light on the Northeast African Past*, in *Africa Praehistorica* 5, Colonia, 1992.

U. SANSONI, *Le Più antiche pitture del Sahara*, Jaca Book, Milan, 1994.

