

que les laves finissaient de s'écouler et que la pression diminuait sous la montagne. Nos interférogrammes montrent que le sommet de l'Etna est descendu de deux centimètres par mois pendant les sept derniers mois de l'éruption. La zone de déformation s'étendait assez loin du volcan lui-même : la chambre magmatique souterraine serait beaucoup plus profonde que ne le pensaient les géologues. Ces derniers avaient installé leurs instruments de mesure sur une zone plus petite que celle observée par le satellite : ils n'observaient les phénomènes que près du sommet.

Bien que l'Etna soit situé dans l'une des zones les mieux surveillées au monde par les géologues, l'interférométrie radar a précisé son comportement. On pourrait ainsi étudier les quelques centaines de volcans actifs de la Terre, en utilisant les satellites radar aujourd'hui en orbite. L'interférométrie radar ne remplacera pas les mesures sur le terrain, mais elle pourrait alerter les géologues en révélant les volcans qui se réveillent lentement, lorsqu'ils commencent à gonfler et deviennent dangereux. Elle permettrait aussi de surveiller des volcans d'accès difficile.

L'accumulation des interférogrammes a montré que les évolutions rapides de l'atmosphère et de l'ionosphère contribuent aux franges d'interférences en accélérant et en retardant les ondes radar. Les modifications des propriétés électriques du sol, conséquences de variations de l'humidité par exemple, peuvent aussi modifier les franges d'interférences, même quand le sol ne bouge pas, ce qui complique l'interprétation des résultats de l'interférométrie radar. Nous savons aujourd'hui distinguer leurs contributions de celle des déplacements effectifs du sol, en analysant plusieurs interférogrammes. Nous

envisageons aussi d'étudier ces phénomènes par interférométrie radar.

Quel est l'avenir de l'interférométrie des images radar ? Les quatre satellites radar qui sont aujourd'hui en orbite survolent presque toute la surface du Globe. L'Europe, le Japon et le Canada prévoient de lancer bientôt d'autres satellites, de sorte que nous ne manquerons pas de données radar. Des campagnes de relevés faites à l'aide de satellites capables de répéter presque exactement leur trajectoire, et dont les caractéristiques techniques seraient adaptées à l'interférométrie, simplifieraient beaucoup l'exploitation des données interférométriques pour le calcul des mouvements du sol. De tels satellites serviraient aussi aux relevés topographiques si certaines orbites étaient volontairement décalées pour créer un effet stéréoscopique. La NASA prévoit de mettre en œuvre cette propriété de l'interférométrie en lançant une mission spécifique sur la Navette spatiale vers l'an 2000. La quasi-totalité de la topographie de la planète serait alors connue avec précision.

Les expériences initiales sur le tremblement de terre de Landers et sur l'Etna avaient pour but de valider la technique. Elles ont toutefois apporté des connaissances nouvelles. Les expériences que nous-mêmes et d'autres équipes avons réalisées depuis apportent des informations d'intérêt scientifique, industriel ou juridique plus spécifiques. Par interférométrie des images radar, nous détectons l'affaissement du sol créé par des exploitations minières ou géothermiques profondes, ainsi que les réajustements silencieux des zones sismiques plusieurs mois après un grand tremblement de terre. Cette technique tiendra une place importante et durable parmi les outils d'observation de la Terre.

Didier MASSONNET est responsable adjoint de la division de traitement d'image du Centre national d'études spatiales.

A.K. GABRIEL, R.M. GOLDSTEIN et H.A. ZEBKER, *Mapping Small Elevation Changes over Large Areas: Differential Radar Interferometry*, in *Journal of Geophysical Research: Solid Earth and Planets*, vol. 94, n° B7, pp. 9183-9191, 10 juillet 1989.

Sar Geocoding: Data and Systems, sous la direction de G. Schreier, Wichmann, 1993.

D. MASSONNET et al., *The Displacement Field of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry*, in *Nature*, vol. 364, pp. 138-142, 8 juillet 1993.

D. EVANS, E. STOFEN, T. JONES et L. GODWIN, *La Terre vue du ciel*, in *Pour la Science*, février 1995.

D. MASSONNET, P. BRIOLE et A. ARNAUD, *Deflation of Mount Etna Monitored by Spaceborne Radar Interferometry*, in *Nature*, vol. 375, pp. 567-570, 15 juin 1995.

L'émergence précoce du Néolithique au Sahara

GINETTE AUMASSIP

Il y a plus de 9 500 ans, dans le Sahara, des hommes prennent conscience qu'ils peuvent agir sur leur environnement. Ils fabriquent de la poterie, développent l'agriculture et l'élevage, et peignent leurs activités sur les roches.

Les préhistoriens ont longtemps pensé que le Croissant fertile, qui s'étend de la Méditerranée au Golfe persique, avait été le seul lieu d'émergence du Néolithique. Dans cette région, l'homme invente l'agriculture au cours du VIII^e millénaire avant J.-C. Il sème des graminées, pratique l'élevage et fabrique des poteries. Au Paléolithique, l'homme vivait de chasse et de cueillette. Au Néolithique, de prédateur, il devient producteur.

Ce nouveau mode de vie diffuse. Vers l'Ouest, une voie terrestre achemine le Néolithique jusque dans le Bassin parisien, en passant par le Nord des Balkans et par le bassin du Danube. Plus rapide, une voie maritime qui traverse l'Adriatique atteint la Méditerranée occidentale au VI^e millénaire avant J.-C. Franchissant le détroit de Gibraltar, le Néolithique se développe sur une étroite frange du littoral méditerranéen de l'Afrique, sans dépasser Oran à l'Est.

Ailleurs dans le Maghreb règnent des cultures dont les outils et les armes sont plus complexes qu'au Paléolithique : ils sont notamment formés de l'assemblage de petites pierres taillées. La mieux connue de ces cultures, le Capsien, s'étend sur les Hautes Plaines constantinoise et tunisienne. Dans les régions méridionales subsistent des cultures paléolithiques.

Selon ce scénario, le reste de l'Afrique ne découvre le Néolithique qu'à partir du IV^e millénaire avant J.-C. Les techniques et le mode de vie caractéristiques de cette période semblent importés de la vallée du Nil,

où on en trouve des traces à partir du VI^e millénaire. Les modalités de cette importation sont toutefois imprécises : contact, invasion... on ne sait.

Ce déroulement est contredit pour la première fois en 1965, lorsque Jean-Pierre Maître découvre dans l'Ahaggar, vaste massif montagneux du Sahara central, des fragments de poterie de plus de 9 000 ans. Les fouilles menées depuis sur de nombreux sites confirment cette ancienneté : dès le VIII^e millénaire avant J.-C., la poterie est répandue sur une grande partie du Sahara central. Ces vestiges sont les plus anciennes traces de l'agriculture dans la région.

Ces découvertes ont conduit les préhistoriens à préciser les caractéristiques essentielles du Néolithique : plutôt qu'une révolution technique ou économique, c'est la période où les hommes prennent conscience de leur pouvoir sur le milieu. Ce changement de pensée est perceptible par une nouvelle maîtrise technique, par l'invention de la poterie et par la place prépondérante de l'homme dans l'art rupestre. Dans le Sahara, les preuves directes d'activités pastorales ne sont abondantes qu'après 5 500 avant J.-C., mais nous savons que les populations sahariennes, sédentaires ou nomades, ont cultivé la terre et ont pratiqué l'élevage à partir du VIII^e millénaire avant J.-C. Cette culture s'est développée pendant cinq millénaires, avant de disparaître à cause de l'aridité qui règne encore aujourd'hui dans cette région.

Qu'est-ce que le Néolithique ?

Comment définir le Néolithique ? Pour les préhistoriens, ce fut d'abord « l'âge de la pierre polie ». Des haches ou des herminettes, sortes de houes, produites par polissage de pierres dures, suffisaient à distinguer le Néolithique du Paléolithique, « âge de la pierre taillée ». Ces outils correspondaient à de nouvelles pratiques : travail du bois et défrichage pour les haches, travail de la terre pour les herminettes. En Afrique, où la pierre polie est rare et où des haches et des herminettes polies sont réutilisées jusqu'à l'époque actuelle, leur présence n'est toutefois pas significative.

Le Néolithique fut ensuite « le moment de la sédentarisation ». Cette idée reposait sur deux postulats. D'une part, les chasseurs-cueilleurs du Paléolithique auraient erré sans cesse à la recherche de leur nourriture. D'autre part, l'homme ne développerait l'agriculture qu'en vivant en permanence sur le même lieu, ce dont témoigneraient des constructions en matériaux non périssables. Au Proche-Orient, où un tel habitat construit « en dur » existe depuis plus de 10 000 ans, on supposait que la sédentarité, épuisant les ressources du milieu, avait engendré un besoin de production, donc l'agriculture.

Sédentarité et pratique de l'agriculture ne sont toutefois pas synonymes. En zone aride, des populations nomades actuelles ensemencent les terres inondables et n'y reviennent qu'au moment de la récolte. Au



1. UNE CULTURE NÉOLITHIQUE s'est développée dans le Sahara central à partir de 7 600 avant J.-C. (les points rouges indiquent les principaux sites). Elle a diffusé en Afrique (flèches rouges) et aurait influencé les cultures de la vallée du Nil. Le Néolithique du Proche-Orient, apparu indépendamment à la même époque dans le Croissant fertile (pointillés roses), a diffusé à travers l'Europe, jusqu'au Nord de l'Afrique (flèches roses). Les dates portées sur

la carte (en années avant J.-C.) correspondent à l'apparition de la poterie. Au Sahara central, celle-ci est la principale marque de l'activité agricole du Néolithique. Des peintures rupestres indiquent aussi l'émergence de l'agriculture, même si les végétaux sont rarement figurés. À Ti n Teferiest, dans le Tassili n Ajjer, une scène peinte entre 10 000 et 5 000 avant J.-C. évoque le repiquage d'une plante (en haut).



M. Anib

2. LES OUTILS DU NÉOLITHIQUE ANCIEN, dans le Sahara central, au VIII^e millénaire avant J.-C., sont taillés dans des roches difficiles à travailler, quartz ou roches éruptives. Leurs dimensions sont petites. Des pièces soigneusement façonnées, racloirs (*en haut, à gauche*) ou têtes de flèches (*en bas, au milieu*), voisinent avec des objets moins travaillés, portant de simples retouches. Celles-ci suffisent toutefois à rendre les outils efficaces.



M. Anib

3. CE MORCEAU DE SAC qui contenait des graines de micocoulier, à Ti n Hanakaten, dans le Tassili n Ajjer, est daté de 6 800 avant J.-C. C'est l'un des plus anciens témoignages au monde de l'art du vannier. Un tissage très serré lui donne l'aspect d'une tapisserie au petit point. Une telle maîtrise technique prouve une longue pratique : l'homme préhistorique a fabriqué très tôt des vanneries.

En outre, dans divers abris du Sahara central, dont nous savons par d'autres indices qu'ils furent habités par des pasteurs vers 5 000 avant J.-C., nous n'avons retrouvé que des restes osseux d'animaux sauvages, mouflons, gazelles, antilopes. Ces populations n'auraient, tels les pasteurs peuls actuels, consommé habituellement que le lait et le sang. L'abattage et la consommation de chair étaient pratiqués dans des lieux sacrés, lors de cérémonies rituelles.

L'homme commence à maîtriser la nature

Depuis quelques années, sous l'impulsion de Fabrizio Mori, de l'Université de Rome, pour l'Afrique, et de Jacques Cauvin, du CNRS, pour le Proche-Orient, une définition plus fondamentale du Néolithique est esquissée. C'est surtout l'avènement d'un nouveau mode de pensée, dont l'apparition n'est pas réductible à celle d'un objet ni d'une technique : l'homme prend conscience qu'il peut modifier son environnement. Cette attitude est identifiable de diverses manières : par un système de production, par la culture matérielle ou par les expressions symboliques.

Un tel changement est perceptible dans le Sahara à partir du VIII^e millénaire. La diversification des outils et l'apparition de techniques nouvelles ne sont pas que des adaptations fonctionnelles à des variations de l'environnement : elles témoignent d'un comportement nouveau.

Certains outils, tels les racloirs, sont plus nombreux. D'autres, telles les têtes de flèche, apparaissent. En outre, la conception même de l'outil change. Pendant le Paléolithique, les outils reproduisent un modèle. Au Néolithique, leur aspect est plus varié, comme s'il n'y avait plus de modèle et qu'une reproduction approximative suffisait. Le travail de la pierre, souvent limité à quelques retouches, semble sommaire. Ces retouches suffisent toutefois à rendre l'outil efficace : la perte de savoir-faire observée dans de nombreuses cultures néolithiques n'est qu'apparente. D'ailleurs, auprès de ces objets sommaires, on trouve des pièces soigneusement façonnées, même dans des matériaux aussi difficiles à tailler que des roches granitiques. Les ouvriers sont à la fois très habiles et désinvoltes.

Dans le Sahara central, où le Néolithique est le plus ancien, la culture

Proche-Orient même, nous savons aujourd'hui que les premiers habitats permanents sont antérieurs à l'agriculture, de plus de 1 000 ans.

«L'âge de la production» serait-il un meilleur intitulé pour le Néolithique ? On le distinguerait ainsi de la vie prédatrice des chasseurs-cueilleurs. Si l'on suivait cette définition, des preuves directes d'une emprise de l'homme sur la nature caractériseraient ce changement.

Cette définition économique n'est pas plus satisfaisante. Au tout début du Néolithique, comment juger si des animaux ou des plantes sont sauvages ou domestiques ? On ne sait pas en combien de temps leur domestication produit des caractères tranchés. En Afrique, particulièrement au Sahara, les restes osseux, et toute matière organique, sont rapidement détruits par l'acidité du sol et par l'érosion éolienne. Les pollens aussi sont mal conservés, et le vent les transporte sur de grandes distances.