

Un Big Bang à l'envers

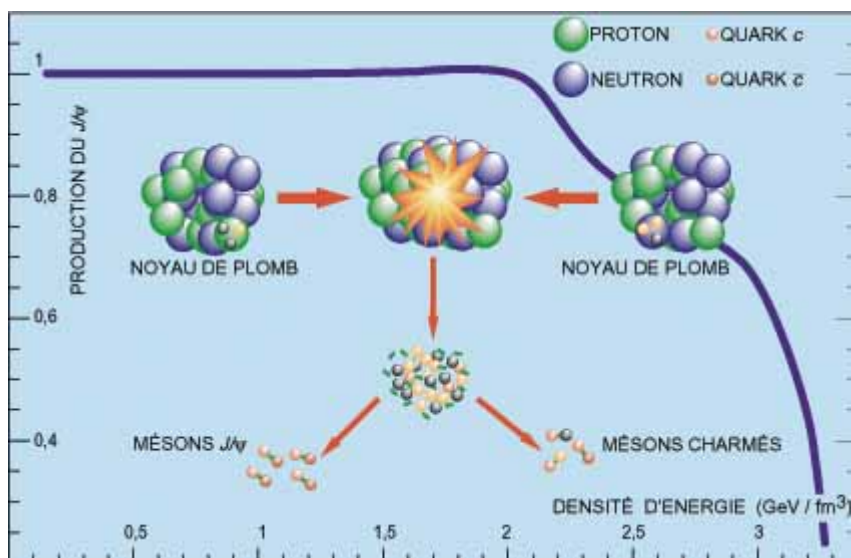
Le CERN annonce la mise en évidence du plasma quark-gluon.

Quelques microsecondes après le Big Bang, les quarks et les gluons se sont combinés pour constituer les particules «élémentaires», notamment les protons et les neutrons. Depuis, impossible de les isoler : les quarks restent désespérément confinés avec d'autres quarks dans les particules élémentaires. Impossible ? Pas tout à fait, car notre équipe vient de mettre en évidence un nouvel état de la matière, le plasma quark-gluon ou «quagma», prévu par la théorie il y a une vingtaine d'années.

Comme la matière ordinaire, le quagma est constitué de quarks et de gluons, mais ses constituants sont dans des conditions de température et de pression où sont annihilées les forces qui les lient par paires de quarks dans les mésons (π , K , etc.) ou par groupe de trois quarks dans les baryons (tels le neutron ou le proton). De façon imagée, quarks et gluons sont à ce point serrés qu'ils perdent leur sentiment d'appartenance aux mésons et aux baryons : ils deviennent des objets autonomes. La création et la détection de ce Big Bang à l'envers sont difficiles : un quagma formé en laboratoire ne survit que 10^{-23} seconde. Après quoi, quarks et gluons se réassocient avec leurs voisins.

L'année 1986 marque un tournant dans la quête du quagma. Le CERN, à Genève, met à la disposition des physiciens des faisceaux d'ions oxygène de 200 gigaélectronvolts par nucléon, une énergie bien supérieure à celles que l'on obtenait auparavant. Désormais, l'étude des collisions de noyaux lourds à haute énergie est possible et la voie vers le quagma est ouverte.

Quelques mois plus tôt, deux théoriciens, H. Satz et T. Matsui, avaient prédit que la formation du quagma s'accompagnerait d'une forte diminution de la production du méson J/ψ , un état où le quark «charmé» c , et son antiquark, le $\bar{c}$, sont regroupés. Ces deux quarks sont créés, en faible proportion, aux tout premiers instants de la collision. Quand, par la suite, ces quarks sont immergés dans le quagma, ils y évoluent librement et se perdent de vue ; lors du reconfinement ultérieur, ils sont bien trop éloignés et, du fait de leur rareté dans le milieu, ils ne trouvent plus leur conjoint pour former un méson J/ψ . Ces quarks abandonnés se regroupent alors avec d'autres



Lorsque l'on projette l'un contre l'autre deux noyaux lourds, du plomb par exemple, leurs protons et neutrons se séparent en leurs constituants les plus intimes : les quarks et les gluons. Pour des densités d'énergie de la collision très élevées, certains de ces quarks, dits charmés, se recombinaient moins souvent, de sorte que la production du méson J/ψ , une combinaison de deux quarks charmés, décroît anormalement (courbe bleue). Cette décroissance est le signe de la création d'un nouvel état de la matière : le plasma quark-gluon.

quarks de leur entourage immédiat, plus légers et plus abondants : ils formeront d'autres mésons, voire des baryons.

Dès que cette prédiction est publiée, en 1986, les physiciens saisissent au vol cette possibilité de diagnostic du déconfinement des quarks en réaménageant l'expérience NA38 au CERN. Commence alors une longue série de mesures de la production du méson J/ψ dans les interactions entre noyaux d'oxygène et noyaux d'uranium, puis, plus tard, entre les noyaux de soufre et d'uranium.

Encore fallait-il déterminer le taux de production «normal» du méson J/ψ , ce qui est réalisé dans une expérience où l'on bombarde divers noyaux avec des protons. Les résultats de cette expérience montrent que, à mesure que l'énergie mise en jeu dans la collision augmente, la production de méson J/ψ décroît régulièrement. Cette décroissance traduit la destruction normale que subit le J/ψ lors de ses interactions avec les protons et neutrons impliqués dans la collision des deux noyaux. Connue de longue date dans le cas de protons incidents, cette «suppression normale» se trouve également vérifiée pour les collisions qui résultent du choc de noyaux d'oxygène et de soufre. Restait à détecter une éventuelle «suppression anormale», révélatrice de la formation d'un quagma dans des collisions de plus haute énergie.

En 1994, le CERN réussit à accélérer des noyaux de plomb à 158 gigaélectronvolts par nucléon : l'expérience NA38, transformée, prend le nom de NA50. En 1996, les premiers résultats montrent que pour les interactions plomb-plomb «périphériques», où les noyaux

se frôlent à peine dans la collision, la production de J/ψ reste normale. En revanche, pour les interactions les plus violentes, où les deux noyaux qui interagissent se cognent frontalement, la production de mésons J/ψ n'atteint que la moitié de la valeur attendue. De nouvelles mesures, l'année suivante, confirment avec une bien meilleure précision cette suppression anormale du J/ψ . En outre, elles révèlent que le régime anormal apparaît soudainement, pour des densités d'énergie supérieures à un seuil de deux gigaélectronvolts par femtomètre cube (un femtomètre, ou fermi, est égal 10^{-15} mètre, la taille typique d'un nucléon).

Les mesures les plus récentes, déduites des données collectées à la fin de 1998, établissent, sans ambiguïté, que la suppression anormale s'accroît nettement pour les interactions les plus frontales, dès que la densité d'énergie dépasse 2,8 gigaélectronvolts par femtomètre cube.

Ainsi, après plusieurs séries de mesures longues et difficiles, les éléments d'une conclusion claire ont émergé. On a d'abord mesuré la production de J/ψ pour des densités voisines de celle de la matière froide ordinaire, un élément de référence indispensable. On a ensuite établi l'apparition soudaine d'écarts importants par rapport à cette référence. Cet écart révèle un nouveau mécanisme de déconfinement. Les futures expériences, notamment au collisionneur de Brookhaven cette année, puis au CERN, à partir de 2005, étudieront en détail les propriétés de ce rétro-Big Bang miniature.

Louis KLUBERG, Expérience NA50

La naissance de l'État égyptien



Musée de Turin

BÉATRIX MIDANT-REYNES

En un millénaire, de -4000 à -3000 avant notre ère, l'Égypte est passée de plusieurs cultures d'agriculteurs-pasteurs à un État unifié, stable et fortement hiérarchisé, l'État des pharaons.

L'étude de la civilisation égyptienne a longtemps été exclusivement celle de la civilisation pharaonique, une société fastueuse, hiérarchisée, où le pouvoir est aux mains d'une minorité représentée par un seul homme : le pharaon, symbole du roi-dieu, garant de l'ordre cosmique, qui veille au bon fonctionnement de l'ordre social. Pourtant, cette civilisation, dont on fixe aujourd'hui l'origine autour de 3 200 avant notre ère, n'est pas apparue *ex nihilo*. Nous savons aujourd'hui qu'en Égypte la transition (tardive) d'une société nomade à une organisation sociale fondée sur l'agriculture et le stockage des denrées s'est accompagnée d'une forte hiérarchisation sociale.

Les premières études sur la préhistoire de l'Égypte datent de la fin du XIX^e siècle, époque où l'archéologue britannique, Flinders Petrie a mis au jour, dans le secteur de Nagada, en Haute-Égypte, un ensemble de plusieurs milliers de tombes attestant l'existence de coutumes funéraires encore mal connues, où les défunts sont recroquevillés sur le côté et entourés de vestiges de poterie spécifiques.

Ainsi, il existait une Égypte organisée avant les pharaons dont Flinders Petrie a identifié les premières structures, mais dont il n'a pu, faute de datation absolue (la datation au carbone 14 n'avait pas encore été inventée), assurer la chronologie. L'idée, révolutionnaire, était de penser que l'État égyptien était né d'une évolution interne et non d'un apport oriental : à l'époque, l'Orient se dressait tel un phare de la civilisation, et il était tentant, sinon logique, d'en faire dériver une explosion civilisatrice qui avait, pensait-on, fait surgir la civilisation des pharaons. Si l'on admettait que des cultures anciennes s'étaient développées dans la vallée du Nil, l'élément civilisateur avait été apporté par une ethnie nouvelle, venue de l'Est.

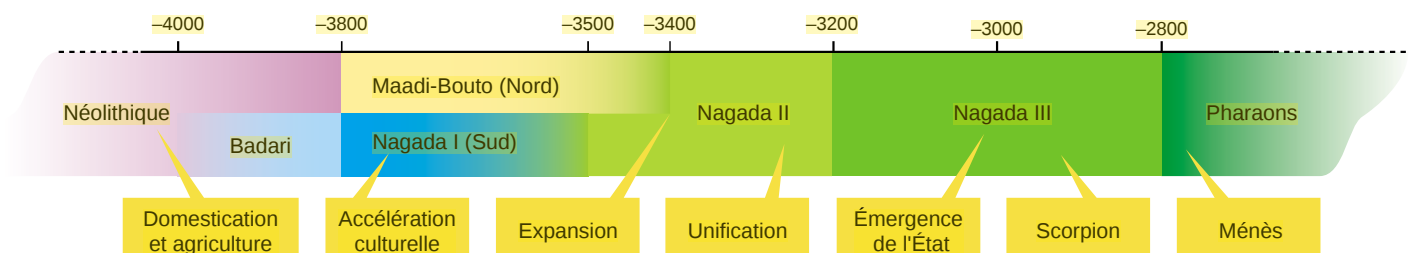
Dans les années 1960, certains égyptologues, intéressés par les civilisations sahariennes prospectées par les préhistoriens, ont attiré l'attention sur les possibles contributions des habitants de ces régions aujourd'hui désertiques à la genèse de la civilisation égyptienne. Les travaux pionniers de Jean Leclant et du général

1. POTERIE DE L'ÉPOQUE NAGADA I (3800-3400 avant notre ère), représentant un chasseur au milieu d'animaux (ci-dessus).

Paul Huard sur les gravures rupestres entre Nil et Sahara montrent l'existence d'un fonds paléo-africain commun aux deux régions.

Dans les années 1970, la préhistoire égyptienne est revenue sur le devant de la scène archéologique quand de nouvelles recherches, liées au sauvetage des monuments de Nubie (situés à la frontière de l'Égypte et du Soudan actuels) ont été entreprises par l'UNESCO. Les fouilles dans la vallée du Nil, mais également dans le désert occidental et dans ses oasis, ont mis en évidence un passé encore plus ancien : ce passé se traduit par des témoignages de l'adaptation des derniers hommes du Paléolithique à l'hydrologie particulière du Nil, vers 20 000 ans avant notre ère, des restes de cultures du VI^e millénaire avant notre ère et des preuves de l'apparition tardive d'une économie de production au cours du V^e millénaire.

Par ailleurs, la reprise des fouilles sur les grands sites mis au jour au



2. EN UN MILLÉNAIRE, les différentes cultures égyptiennes anciennes ont adopté l'agriculture, se sont unies et enfin ont constitué un État stable et hiérarchisé que les pharaons allaient diriger pendant les trois millénaires suivants, jusqu'à l'invasion romaine, en 30 avant notre ère.

temps de Flinders Petrie, tels Hiérakonpolis ou Abydos, et la découverte de nouveaux sites, tels Minshat Abou Omar dans la région orientale du delta du Nil, ou Adaïma, en Haute-Égypte, ont mis au jour des vestiges riches d'enseignement sur la préhistoire égyptienne. Aussi de multiples questions se sont posées. Comment la hiérarchie de l'époque pharaonique s'est-elle constituée? Comment un état unifié a-t-il émergé? Comment l'Égypte est-elle passée de la préhistoire à l'histoire?

Les méthodes d'étude

On utilise aujourd'hui, pour répondre à ces questions, des méthodes développées en France sous l'impulsion

d'André Leroi-Gourhan dans les années 1960.

La première de ces méthodes replace les vestiges dans un contexte global de «système technique» : par exemple, l'étude d'un ensemble d'objets (poteries, outils de pierre, etc.) reconstitue leur histoire depuis le prélèvement de la matière qui a servi à les façonner jusqu'à leur abandon, en intégrant, à chaque phase de la séquence d'utilisation, le maximum d'éléments pertinents dans le choix de l'instrument, le contrôle de sa fabrication et ses conditions d'emploi.

Cet examen s'inscrit dans le concept de «chaîne opératoire» : le premier maillon d'interactions s'emboîte dans un deuxième, constitué par les diverses autres techniques développées par le

groupe, puis dans un troisième, formé par les autres composantes de l'organisation sociale. Les ethnologues définissent des «modèles» de groupes humains et le type de vestiges que peuvent produire ces groupes ; sur ces bases, l'archéologue analyse et interprète les restes mis au jour au cours des fouilles. Ainsi, l'évocation de «clans», de «chefferies», de «royauté» se réfère à des modèles élaborés par les ethnologues, que l'archéologue intègre pour interpréter ses données.

La sédentarisation modifie l'organisation sociale

Armés de tels outils conceptuels, nous pouvons aller à la rencontre de la naissance de l'État égyptien. Cette naissance



3. PALETTE, DITE AUX TAUREAUX : le roi, sous la forme d'un taureau, renverse un ennemi. Sur la face de gauche, des hampes terminées par des mains, tiennent une corde sans doute fixée à un ou plusieurs ennemis (cette partie a disparu). Sur la face de droite, la même image du roi domine deux enceintes fortifiées (celle du bas n'est que partielle). Cette tablette, datée de 3200 avant notre ère, environ, conservée au musée du Louvre, illustre le thème de la violence et de la victoire du roi. Ce sont les signes d'un pouvoir central fort.