

Enfin, il est possible que vouloir à tout prix supprimer les effets des particules virtuelles, comme en supersymétrie, n'est pas la bonne idée. Une nouvelle approche consiste à intégrer ces effets pour expliquer d'où vient la masse. L'idée est similaire à ce qui se passe quand les physiciens calculent la masse du proton. Cette particule n'est pas élémentaire. Il s'agit d'un assemblage de trois quarks, qui ont une masse minuscule, et de gluons, dont la masse est nulle. Or le proton est beaucoup plus lourd que la somme des quarks et des gluons dont il est composé. D'où vient cette masse ? Elle vient de l'énergie des champs associés à l'interaction forte qui assure la cohésion du proton. Notre compréhension de ces champs nous permet de prédire précisément la masse du proton.

D'ordinaire, nous pouvons calculer des masses à partir d'autres masses. Cependant, le modèle standard ne permet pas de prévoir la masse du boson de Higgs – nous devons la mesurer. Il semble étonnant que l'on puisse calculer la masse du proton, mais pas celle du boson de Higgs. À partir des travaux de William Bardeen, physicien au Fermilab, quelques théoriciens suggèrent que la masse du boson de Higgs est déterminée par un processus analogue à celui utilisé pour le proton, et qui est nommé transmutation dimensionnelle.

Une telle approche permet de conserver les effets utiles des particules virtuelles tout en évitant ceux qui sont désastreux. En revanche, elle nécessite d'abandonner certaines autres idées véhiculées par la supersymétrie, telle l'unification des lois de la physique à très haute énergie. Et le lien entre la physique quantique et la relativité générale, qui se dérobe à nous depuis si longtemps, en devient plus mystérieux encore. Toutefois, ce modèle a d'autres avantages, notamment celui de proposer un candidat à la matière noire. Sa masse découlerait de ses interactions avec la matière ordinaire, interactions qui seraient véhiculées par le boson de Higgs. Cette prédiction spectaculaire sera testée au LHC ainsi que dans des expériences souterraines de détection de matière noire.

La supersymétrie n'a pas dit son dernier mot. Plusieurs indices suggèrent qu'elle pourrait tout de même s'intégrer aux lois de la physique. Parmi les observations les plus récentes, on peut évoquer le rôle de la masse du boson de Higgs et son impact sur la stabilité de l'Univers.

La supersymétrie dans l'hélium 3

Récemment, Tarun Grover, de l'Université de Californie à Santa Barbara, et ses collègues ont montré que certains phénomènes dans le domaine de la matière condensée peuvent être théoriquement décrits par la supersymétrie. Ils ont analysé ce qui se passe dans de l'hélium 3 superfluide, à une température proche du zéro absolu. Les atomes (des fermions, leur spin ou moment cinétique intrinsèque étant demi-entier) s'associent par paires pour former des bosons (de spin entier), sauf sur les bords de l'enceinte. En présence d'un champ magnétique, les fermions des bords disparaissent. Lors de cette transition, le comportement des fermions et des bosons est analogue à celui de superpartenaires.

■ BIBLIOGRAPHIE

J. Ellis, Le boson de Higgs, et après ?, *Pour la Science*, n° 419, septembre 2012.

G. Ellis, Le multivers existe-t-il ?, *Pour la Science*, n° 412, février 2012.

G. Kane, Supersymétrie : les lois ultimes de la nature dévoilées, Le Pommier, 2003.

N. Arkani-Hamed et al., Les dimensions cachées de l'Univers, *Pour la Science*, n° 276, octobre 2000.

La découverte du boson de Higgs implique qu'il existe un champ associé à cette particule qui est présent partout dans l'Univers. L'interaction des particules avec ce champ leur confère leur masse. Cela signifie que le vide est en réalité un endroit où il se passe beaucoup de choses, où la combinaison du champ de Higgs et des particules virtuelles produit une dynamique complexe. Mais cette dynamique est-elle stable ? Si elle ne l'est que temporairement, on parle d'équilibre métastable ; le champ de Higgs pourrait alors subir une « transition de phase » et basculer dans une configuration plus stable. L'énergie associée au champ changerait de valeur ainsi que la masse de toutes les particules et la physique de l'Univers, qui d'une certaine façon repartirait de zéro. La supersymétrie permet de stabiliser le vide et d'empêcher de tels accidents.

Un futur incertain

En l'absence de supersymétrie, la stabilité du vide dépend beaucoup de la masse du boson de Higgs. Or la masse que l'on a mesurée correspond à une frontière, impliquant un vide durable, mais au bout du compte instable (voir l'encadré page ci-contre). Un boson de Higgs plus lourd impliquerait un univers stable, alors qu'un boson de Higgs plus léger conduirait à terme à la catastrophe. La nature essaie de nous dire quelque chose, mais nous ignorons quoi.

Les physiciens attendent donc l'issue de la prochaine campagne du LHC. Si des superpartenaires sont observés, les appréhensions actuelles des physiciens des particules céderont la place à une excitation incroyable d'avoir enfin ouvert une brèche vers le monde supersymétrique. Et ce sera le début d'une grande aventure intellectuelle.

Mais si l'on ne trouve pas ces superpartenaires, la physique des particules sera confrontée à une crise. Cette perspective inspire déjà une réflexion radicalement nouvelle sur les phénomènes qui sous-tendent la trame de l'Univers. Une meilleure compréhension des propriétés du boson de Higgs sera cruciale pour construire cette nouvelle voie. Et les signaux astrophysiques et cosmologiques de la matière noire pourraient nous baliser le chemin à suivre. ■



du

En Mésopotamie, l'écriture cunéiforme a été pratiquée pendant des millénaires. L'analyse des textes permet de reconstituer comment les scribes l'apprenaient. Elle indique aussi comment se prononçaient les langues transcrites en cunéiforme.

L'apprentissage cunéiforme

C'est à partir de 3300 avant notre ère environ que l'on a commencé à écrire sur l'argile en Mésopotamie. Cela durera quelque 3500 ans... Grâce à ce système d'écriture, des scribes rédigeaient missives et contrats, notaient les lois et les protocoles à suivre pendant les rituels, consignaient les observations astronomiques, le savoir médical, transmettaient des mythes et des œuvres littéraires...

À l'aide d'un stylet taillé dans le roseau, le calame, ils imprimaient sur des tablettes façonnées dans l'argile fraîche des signes en forme de coins, de clous verticaux ou horizontaux, ou de têtes-de-clou. Une fois inscrites, les tablettes d'argile étaient simplement mises à sécher au soleil. Cette façon de transmettre de l'information a beau sembler fragile, elle s'est révélée la plus durable de toutes celles que l'humanité a jamais employées!

1. CETTE LISTE DE NOMS de fonctions date de 3300 avant notre ère; découverte à Uruk, elle débute par les titres de hauts fonctionnaires de la ville, puis ceux en charge de la justice, de l'élevage et des terres agricoles.

L'ESSENTIEL

■ **À la fin du IV^e millénaire avant notre ère, apparaît dans les villes de basse Mésopotamie un système d'écriture à base de signes en forme de clous imprimés dans l'argile.**

■ **Le support argileux est si durable que les textes cunéiformes sont devenus la principale source d'information sur le Proche-Orient ancien.**

■ **La formation à l'écriture cunéiforme commençait par l'apprentissage du sumérien.**

■ **L'analyse linguistique reconstitue en partie la prononciation du sumérien et de l'akkadien.**

Sauf mention contraire, les photos appartiennent à Olat M. Tassmer / Musées de la ville de Berlin

La maîtrise de l'écriture cunéiforme et de toutes ses applications exigeait une longue formation. Comme nous allons le voir, l'étude des textes scolaires servant à l'apprentissage des scribes dévoile comment se déroulait leur formation; et l'analyse minutieuse de ces cas d'école nous indique même comment se prononçaient des langues disparues.

En effet, si l'écriture cunéiforme a été inventée en basse Mésopotamie, elle a servi à transcrire les langues de tout le Proche-Orient ancien. Parmi elles, il faut citer au moins le sumérien, une langue d'origine inconnue, l'akkadien, une langue sémitique comme l'hébreu et l'arabe, et le hittite, qui appartient à la branche anatolienne des langues indo-européennes.

Pendant la seconde moitié du II^e millénaire avant notre ère, l'écriture cunéiforme était le support privilégié des échanges diplomatiques dans tout le Proche-Orient, comme l'illustrent les archives en cunéiforme découvertes à Amarna, la capitale du pharaon Akhénaton (de 1355 à 1337 avant notre ère). Ces tablettes constituent la plus importante source dont nous disposons



2. CET ACTE ADMINISTRATIF, l'un des plus vieux du monde (3300 avant notre ère) provient d'Uruk. Quatre impressions coniques sont flanquées de trois signes non élucidés. En haut, il pourrait s'agir d'une jarre contenant un liquide ; en bas, d'un enclos à moutons.



3. CE FRAGMENT de la 22^e tablette de la liste lexicale suméro-akkadienne *urra-hubullu* contient des noms de pays, de cours d'eau et d'astres, ainsi que, sur la troisième colonne, de canaux, tel le « canal propre » ou encore le « canal sublime ». Rédigé dans le premier tiers du 1^{er} millénaire avant notre ère, il a été découvert au début du XX^e siècle dans les ruines d'Assur (Irak).

sur les relations politiques entre l'Égypte, les royaumes mésopotamiens et l'empire hittite (voir la figure 6).

Aujourd'hui, le corpus cunéiforme comprend des centaines de milliers de textes, et les archéologues ou les pillards (en Irak et depuis peu en Syrie aussi) en découvrent constamment. Or le corpus déjà existant n'a pas encore été étudié systématiquement, même dans les grandes lignes... Aussi la recherche en assyriologie, c'est-à-dire l'étude des langues et des cultures du Proche-Orient ancien, a-t-elle un bel avenir.

Nous devons l'importance de ce corpus aux avantages techniques de l'écriture cunéiforme. Son matériau de base est l'argile, que l'on trouve partout en Mésopotamie. Souvent de bonne qualité, elle est imputrescible et ne coûtait que la peine de l'extraire, alors que les supports organiques utilisés ailleurs, tels la peau animale (l'ancêtre du parchemin) ou encore les rouleaux de papyrus égyptiens, étaient onéreux, fragiles et peu durables. Les tablettes d'argile, une fois sèches, étaient au contraire très résistantes au temps.

Cette remarquable persistance produit souvent sur les assyriologues la curieuse impression de lire un texte qui vient d'être inscrit dans l'argile, alors que son auteur peut être mort depuis 5000 ans... Du reste, on appréciait dès l'Antiquité le fait que les

tablettes soient si durables : à ces époques où les temps d'innovation ne se mesuraient pas en années comme aujourd'hui, mais en siècles, on aimait pouvoir se référer au passé. Ainsi, il arrivait que l'on envoie chercher aux archives le texte d'un décret pris par un roi mort depuis longtemps afin de s'y référer. La conservation des richesses culturelles du passé avait aussi son incidence sur les œuvres littéraires : accumulé pendant des années, le matériau constituant les œuvres était retravaillé dans une forme et un style correspondant à l'esprit du temps.

POUR LES ANCIENS MÉSOPOTAMIENS, l'écriture cunéiforme représentait une force ordonnatrice du monde.

Cet intérêt pour le passé était partout présent : quand, lors de la rénovation d'un temple, d'un palais ou des murs d'une ville, les ouvriers tombaient sur des documents anciens, on les traitait avec le plus grand respect et on les faisait étudier par les érudits, pour les adopter éventuellement comme modèle. Afin de conserver l'esprit émanant des textes de leurs illustres prédécesseurs, les scribes ne reproduisaient pas seulement leur style archaïque, mais aussi leur façon d'inciser la pierre, le métal ou des briques d'argile ensuite glaçurées. Pour les anciens Mésopotamiens, l'écriture cunéiforme représentait une force ordonnatrice du monde.

De fait, il n'existe pratiquement aucun domaine d'activité humaine qui n'ait pas eu sous une forme ou une autre sa traduction en textes cunéiformes. La recherche actuelle sur les sociétés antiques du Proche-Orient peut donc se référer autant à des échanges épistolaires qu'à des documents administratifs, commerciaux, juridiques, scientifiques, littéraires, mythiques, etc. En témoignent le texte de la célèbre épopée de Gilgamesh (voir la figure 4), ces chansons d'amours, ces hymnes, ces recueils d'aphorismes, ces traités concernant les plantes, les minéraux, les animaux, cette liste de

noms de métiers (voir la figure 1), ces textes astronomiques ou portant sur cet art compliqué qu'était la divination en Mésopotamie. Le Code de Hammurabi (une stèle noire conservée au musée du Louvre), un recueil des lois d'un souverain de Babylone du XVIII^e siècle avant notre ère, est sans doute le texte juridique mésopotamien le plus remarquable.

Dans l'écriture cunéiforme, le signe le plus simple est un clou vertical 𐀀, que l'on nomme DISH (les assyriologues écrivent les noms des signes en majuscules et leur valeur syllabique en minuscules). Beaucoup de signes consistent en deux ou trois clous, certains horizontaux, certains en biais, et l'on rencontre couramment des assemblages de dix clous ou plus. Pendant toute la période où le cunéiforme était usité,